



Dedicated to the 103rd Anniversary of the National leader of Azerbaijan, Heydar Aliyev

X INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OF

YOUNG RESEARCHERS

Proceedings

BEU
BAKU ENGINEERING UNIVERSITY

Academy of the State Customs Committee Republic of Azerbaijan

22-23, May 2026, Baku, Azerbaijan
https://beu.edu.az/iyrc/home; www.beu.edu.az

İSSN: 3134-8858

BEU
BAKU ENGINEERING UNIVERSITY

Academy of the
State Customs Committee
Republic of Azerbaijan



Dedicated to the 103rd Anniversary of the National leader of Azerbaijan, Heydar Aliyev

X INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OF YOUNG RESEARCHERS

22-23, May 2026, Baku, Azerbaijan

Proceedings

- BOOK -

22-23 May 2026
Baku, Azerbaijan

CONFERENCE COMMITTEES

CONFERENCE CHAIRS

Co-Chair:

Yagub Piriyev
Baku Engineering University

Gulu Novruzov
Academy of the State Customs Committee of the Republic of Azerbaijan

PROGRAM COMMITTEE

Prof. Hamzaga Orujov, *Baku Engineering University*
Prof. Abbas Seyidov, *Baku Engineering University*
Prof. Jamila Namazova, *Academy of the State Customs Committee*
Prof. Vagif Gasimov, *Baku Engineering University*
Prof. Sabir Orujov, *Baku Engineering University*
Prof. Shikar Gasimov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Asif Guliyev, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Atrabe Gul, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Bayram Huseynzade, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Mikayil Zeynalov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Nasimi Kamalov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Parviz Mammadov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Seyran Gayibov, *Baku Engineering University*

ORGANIZING COMMITTEE

Deputy Chairman:

Prof. Agasi Melikov
Baku Engineering University

Executive Secretary:

Assoc. Prof. Mayis Azizov
Baku Engineering University

Prof. Adil Abdullayev, *Azerbaijan University of Architecture and Construction*
Prof. Aydin Alakbarov, *Azerbaijan State Pedagogical University*
Prof. Damat Bagirov, *Baku Engineering University*
Prof. Eldar Masimov, *Baku State University*
Prof. Elman Guliyev, *Azerbaijan State Pedagogical University*
Prof. Islam Islamov, *Baku Engineering University*
Prof. Huseyn Ibrahimov, *Institute of Physics*
Prof. Jahangir Huseynov, *Azerbaijan State Pedagogical University*
Prof. Khalil Ismayilov, *Baku Engineering University*
Prof. Mahir Bashirov, *Baku Engineering University*
Prof. Minakhanim Nuriyeva, *Azerbaijan State Pedagogical University*
Prof. Namig Ahmadov, *Baku State University*
Prof. Namig Shikhaliyev, *Baku Engineering University*
Prof. Niftali Gojayev, *Baku State University*
Prof. Pirali Aliyev, *Baku Slavic University*
Prof. Ramiz Humbatov, *Baku Engineering University*
Prof. Shahin Khalilli, *Azerbaijan University of Languages*
Prof. Sajida Abdulvahabova, *Baku State University*
Prof. Saleh Mammadov, *Baku Engineering University*
Prof. Tarana Hajiyeva, *Baku Engineering University*
Prof. Vagif Nasirov, *Azerbaijan State Pedagogical University*
Dr. Tech. Sc. Ahmad Mammadov, *Hidrolog LLC*
D.Sc. Ravan Rahimov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Afar Alifov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Aghamir Asgerov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Aghanemat Aghayev, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Akif Bakhshiyev, *Azerbaijan Technical University*
Assoc. Prof. Anar Rza, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Arzu Mammadova, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Azer Ahmadov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Bakhtiyar Namazov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Elchin Suleymanov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Elchin Sultanov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Elmar Imanov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Emin Aghayev, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Elsever Ibadov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Farida Nurmammadova, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Fikrat Israfilov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Gachay Najafov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Gafar Ojagli, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Gulnara Jabrayilova, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Hazi Eynalov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Humbat Aliyev, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Humeyra Mustafayeva, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Huseyn Mirzayev, *Karabakh University*

Assoc. Prof. Isa Gasimov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Islam Huseynov, *Academy of the State Customs Committee*
Assoc. Prof. Jabir Mammadov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Jalaladdin Valiyev, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Jale Zeynalli, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Khagan Balayev, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Khanlar Heydarov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Lala Hajiyeva, *Baku State University*
Assoc. Prof. Mubariz Yolchiyev, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Mutallim Sharifli, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Najaf Orujov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Namig Abbasov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Narmina Aliyeva, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Nurlana Huseynova, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Osman Mirzayev, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Parviz Hasanov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Rabil Mehtiyev, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Rakib Efendiyev, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Ramis Mammadov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Rasim Abutalibov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Rashail Ismayilov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Razim Bayramli, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Sadraddin Huseyn, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Sevinj Aliyeva, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Shahriyar Mukhtarov, *Vistula University, Poland*
Assoc. Prof. Shamsi Nasirov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Ulker Abdurahmanova, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Ulker Agayeva, *Baku State University*
Assoc. Prof. Vagif Mammadov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Vagif Shiraliyev, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Vidadi Bagiyev, *Baku State University*
Assoc. Prof. Yasin Khalilov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Yusif Suleymanov, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Zabita Teymurlu, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Ziyafat Huseynova, *Baku Engineering University*
Assoc. Prof. Zaur Ahmadov, *Baku Engineering University*
PhD. Arzuman Huseynov, *Baku Engineering University*
PhD. Asif Ganbayev, *Academy of the State Customs Committee*
PhD. Elvin Alirzayev, *Academy of the State Customs Committee*
PhD. Elshad Yunusov, *Baku Engineering University*
PhD. Gahir Mikayilov, *Baku Engineering University*
PhD. Gulara Guliyeva, *Baku Engineering University*
PhD. Gunay Valiyeva, *Baku Engineering University*
PhD. Hakim Azizov, *Academy of the State Customs Committee*
PhD. Hazi Gasimov, *Baku Engineering University*
PhD. Huseyn Khalilov, *Baku Engineering University*
Phd. Ibrahim Rzayev, *Baku Engineering University*
Phd. Intigam Bashirov, *Baku Engineering University*
PhD. Jeyhun Valiyev, *Baku Engineering University*
PhD. Natig Abdullaev, *Baku Engineering University*
PhD. Nizami Mammadzade, *Baku Engineering University*
PhD. Nigar Orujova, *Baku Engineering University*
PhD. Nusret Guliyev, *Baku Engineering University*
PhD. Nurlana Akhundova, *Baku Engineering University*
PhD. Rahman Guliyev, *Baku Engineering University*
PhD. Roya Nazarova, *Baku Engineering University*
PhD. Sahib Mammadov, *Baku Engineering University*
PhD. Sevil Imanova, *Baku Engineering University*
PhD. Sevda Huseynova, *Baku Engineering University*
PhD. Shamshad Alizadeh, *Baku Engineering University*
PhD. Tamara Atakishieva, *Baku Engineering University*
PhD. Tunzale Mammadzade, *Baku Engineering University*
PhD. Zamina Akhundova, *Baku Engineering University*
PhD. Zamina Ziyayeva, *Karabakh University*

LOCAL COMMITTEE

Technical Support Group

Chairman:
Mayis Azizov
Baku Engineering University

Vice Chairman:
Shafag Alizada
Baku Engineering University

Assoc. Prof. Kamala Aliyeva, Baku Engineering University
Assoc. Prof. Vugar Muradov, Baku Engineering University
Assoc. Prof. Vurgun Gahramanov, Baku Engineering University
PhD. Afag Rzayeva, Baku Engineering University
PhD. Elnur Najiyev, Baku Engineering University
Aysel Manafova, Baku Engineering University
Durnisa Safarova, Baku Engineering University
Elnura Shukur, Baku Engineering University
Elvin Alakbarov, Baku Engineering University
Farzana Samadzadeh, Baku Engineering University
Gunay Ahmadli, Baku Engineering University
Ilknur Tanriverdi, Baku Engineering University
Khumar Ahmadova, Baku Engineering University
Leyla Samadzada, Baku Engineering University
Mursal Nasirov, Baku Engineering University
Samira Verdiyeva, Baku Engineering University
Simuzar Shirinova, Baku Engineering University
Shahin Orujov, Baku Engineering University
Ulviyya Hasanova, Baku Engineering University
Yasar Ahmadov, Baku Engineering University
Zumrud Bagırlı, Baku Engineering University

DESIGN

İlham ALIYEV

All rights reserved.
Copyright © Baku Engineering University, 2026

Address: Khirdalan city, Hasan Aliyev Street 120, AZ0102, Absheron - Baku / Azerbaijan
Tel: (+99412) 349 99 66/67, Fax: (+99412) 349 99 90
e-mail: info@beu.edu.az, elmishobe@beu.edu.az
www.beu.edu.az, www.yric.az

TABLE OF CONTENTS

MÜHƏNDİSLİK ELMLƏRİ **1**

RİYAZİYYAT VƏ KOMPÜTER ELMLƏRİ **725**

İNFORMASİYA TEXNOLOGİYALARI, Aİ (SÜNİ İNTELLEKT) VƏ KİBERTƏHLÜKƏSİZLİK ELMLƏRİ **747**

MEMARLIQ VƏ İNŞAAT **1179**

İQTİSADİYYAT **1403**

MALİYYƏ MÜHASİBAT **1503**

DÖVLƏT BƏLƏDİYYƏSİ VƏ İDARƏETMƏ **1559**

BİZNESİN İDARƏEDİLMƏSİ **1635**

XARİCİ TİCARƏT VƏ GÖMRÜK XİDMƏTİ **1743**

HÜQUQ **1769**

FİLOLOGİYA **1799**

PEDAQOQİKA VƏ METODİKA **1911**

BEU
BAKU ENGINEERING UNIVERSITY

Academy of the
State Customs Committee
Republic of Azerbaijan



MÜHƏNDİSLİK ELMLƏRİ

AZƏRBAYCANDA KÜLƏK ENERJİSİ POTENSİALI: TEXNIKI, İQTİSADİ VƏ SİYASİ ASPEKTLƏR ÜZRƏ KOMPLEKS TƏHLİL

Ələkbər Heydərov
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
E-mail: elekberhydrv@gmail.com

Xülasə: Bu məqalə Azərbaycanın külək enerjisi potensialını texniki, iqtisadi, hüquqi və siyasi aspektlər üzrə kompleks şəkildə təhlil edir. Ölkənin ümumi texniki külək enerjisi potensialının quruda 3.000 MVt, Xəzər dənizindəki offshore sahəsində isə 157 GVt olduğu qiymətləndirilir. Mövcud vəziyyətin, beynəlxalq tərəfdaşlıqların, tənzimləyici çərçivənin və iqtisadi göstəricilərin təhlili əsasında Azərbaycanın iqlim hədəflərinə nail olmasında külək enerjisinin strateji əhəmiyyəti vurğulanır. Eyni zamanda, şəbəkə inteqrasiyası, maliyyələşdirmə və insan kapitalı sahəsindəki əsas problemlər müzakirə edilir.
Açar sözlər: külək enerjisi, bərpa olunan enerji, Azərbaycan, offshore wind, enerji potensialı, LCOE, yaşıl enerji.

Giriş. Bərpa olunan enerji mənbələrinə keçid XXI əsrin ən mühüm geosiyasi və iqtisadi məsələlərindən birinə çevrilmişdir. Azərbaycan bu kontekstdə xüsusi əhəmiyyət kəsb edir: bir tərəfdən ənənəvi karbohidrogen ixracatçısı olaraq qlobal enerji sistemindəki rolunu qoruyur, digər tərəfdən isə iqlim öhdəliklərinə uyğun olaraq enerji strukturunu əsaslı şəkildə dəyişdirmək kursunu götürmüşdür. Azərbaycan 2024-cü ildə COP29 iqlim sammitinə ev sahibliyi etmiş, bununla da beynəlxalq arenada iqlim diplomatiyasının fəal iştirakçısına çevrilmişdir.

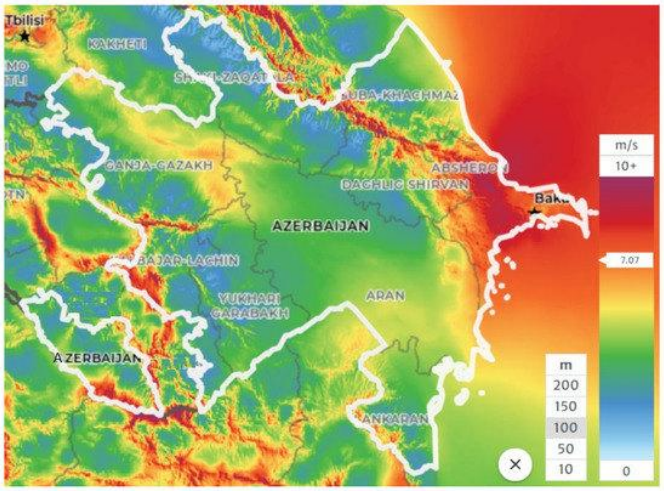
Külək enerjisi Azərbaycanın bərpa olunan enerji portfelinin əsas komponenti hesab edilir. Ölkənin coğrafi mövqeyi - Xəzər dənizinin qərb sahili, Abşeron yarımadası və dağlıq ərazilər - yüksək keyfiyyətli külək resurslarının formalaşmasına şərait yaradır. Bu məqalənin məqsədi həmin resursların texniki potensialını, mövcud istifadə səviyyəsini, hüquqi-iqtisadi mühiti və inkişaf perspektivlərini sistem halında təhlil etməkdir.

Azərbaycandakı küləyin fiziki xarakteristikaları. Azərbaycanda orta illik külək sürəti istifadə olunan məlumat mənbəyindən asılı olaraq dəyişir: meteoroloji stansiyaların ölçmələri 3,6 m/s, uzunmüddətli peyk verilənlər bazaları isə 4,41 m/s orta göstərici müəyyən etmişdir. Abşeron yarımadasında bu rəqəmlər xeyli yüksəkdir — ərazi üzrə orta illik külək sürəti 5-6 m/s, Xəzər sahil zonasında isə 6-7,5 m/s arasında qeydə alınmışdır.

Yerdən 100 metr yüksəklikdə aparılan ölçmələr daha yüksək potensialı ortaya qoyur: Bakı üzrə 8,01 m/s, Sumqayıt üzrə 7,749 m/s, Gobustan üzrə isə 6,399 m/s. Ölkədə ən yüksək orta külək sürəti Pirallahı adasında - 9,67 m/s qeydə alınmışdır. Naxçıvan Muxtar Respublikasının ən küləkli 10% ərazisindəki dağlıq zonalarda külək sürəti orta hesabla 9,47 m/s-ə çatır.

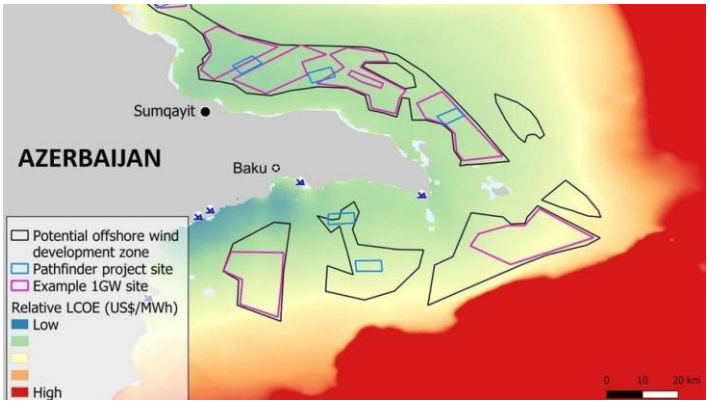
Xəzri və gilavar küləkləri. Abşeron yarımadasının iqlimini müəyyən edən iki dominant külək sistemi mövcuddur. Xəzri şimaldan, şimal-qərbdən və şimal-şərqdən əsən soyuq, quru külək olmaqla, bölgənin enerji potensialına ən böyük töhfəni verir. Bu küləyin maksimal qüvvəsi ilin ən soyuq aylarında 35-40 m/s-ə (144 km/saat) çatır. Gilavar isə termodynamik baxımdan Xəzrinin əksidir: cənubdan, cənub-qərbdən və cənub-şərqdən əsən isti, rütubətli külək olub orta illik sürəti ~7 m/s-dir. Hər iki külək sistemi birlikdə regionda il boyu əlverişli külək rejimi formalaşdırır.

Mövsümi paylanma. Külək intensivliyi fəsillər üzrə xarakterik dəyişkənlik göstərir. Qış aylarında (dekabr-fevral) Abşeron yarımadası boyunca 50 metr yüksəklikdə orta külək sürəti tez-tez 6,5 m/s-i keçir; həddindən artıq küləkli günlər (>15 m/s) də bu dövrə xasdır. Yaz və payızda külək profili daha sabit olur: orta sürət 5,0-5,8 m/s arasında qalır. Yay aylarında isə ölkənin daxili rayonlarında külək sürəti 4,0-4,5 m/s-ə düşür. Qışın yüksək intensivliyi ilə yayın azalmış potensialı arasındakı bu kontrast enerji sisteminin planlaşdırılmasında nəzərə alınmalıdır.



Şəkil 1. Azərbaycanın külək enerjisi potensialının coğrafi paylanması xəritəsi
(Mənbə: Global Wind Atlas)

Texniki potensial. Beynəlxalq Bərpa Olunan Enerji Agentliyinin (IRENA) Bərpa Olunan Enerji Hazırlıq Qiymətləndirməsinə görə Azərbaycanda iqtisadi cəhətdən məqsədəuyğun onshore külək enerjisi potensialı 3.000 MVt (3 GVt) olaraq müəyyən edilmişdir. Bu rəqəm mövcud texnoloji imkanları, infrastruktur məhdudiyyətlərini və torpaqdan istifadə mülahizələrini nəzərə alır. Bütün bərpa olunan enerji növlərini əhatə edən ümumi iqtisadi potensial isə 27.000 MVt (27 GVt)-ə çatır; başqa hesablamalarda bu rəqəm texniki potensial üzrə 135 GVt olaraq qiymətləndirilir. Azərbaycana aid Xəzər dənizi sektorunun offshore külək enerjisi potensialı qurudakı resursları çox-çox üstələyir. Dünya Bankı Qrupu ESMAP proqramının qiymətləndirməsinə görə bu potensial 157 GVt-dir: 35 GVt dayaz sularda (sabit lövbərli turbinlər üçün uyğun), 122 GVt isə dərin hövzələrdə (üzən turbinlər texnologiyasını tələb edən) yerləşir. Dünya Bankı və Beynəlxalq Maliyyə Korporasiyasının (IFC) dəstəyi ilə hazırlanmış 2022-ci il "Azərbaycan Offshore Külək Yol Xəritəsi" iki inkişaf ssenarisi təqdim edir: aşağı ssenari üzrə 2040-cı ilə qədər 1,5 GVt, yüksək ssenari üzrə isə 7,2 GVt offshore külək gücü quraşdırıla bilər. İkinci halda külək enerjisi ölkənin ümumi elektrik təchizatının 37%-ni ödəyə bilər.



Şəkil 2. Xəzər dənizinin Azərbaycan sektorunda potensial dəniz külək enerjisi inkişaf zonaları
(Mənbə: Dünya Bankı / IFC)

Mövcud vəziyyət və layihələr. 2021-2023-cü il məlumatlarına görə Azərbaycanda quraşdırılmış külək enerjisi gücü 64-66 MVt həcmindəydi - bu, texniki potensialın cəmi 2,2%-nə bərabər idi. Lakin sektorda sürətli keyfiyyət sıçrayışı baş vermişdir: Enerji Nazirliyinin 2026-cı il mart hesabatına görə hal-hazırda ölkədə 303,5 MVt ümumi gücə malik 6 külək elektrik stansiyası istismar edilir.

Böyük miqyaslı layihələrin həyata keçirilməsini bir sıra aparıcı beynəlxalq şirkətlər öz üzərinə götürmüşdür: Səudiyyə Ərəbistanının ACWA Power şirkəti 240 MVt-lıq Xızı-Abşeron külək elektrik stansiyasını inşa edir; BƏƏ-nin Masdar şirkəti SOCAR Green ilə birlikdə 240 MVt-lıq Abşeron-Qaradağ onshore külək fermini inkişaf etdirir; Fransanın TotalEnergies şirkəti Naxçıvan Muxtar Respublikasında 250 MVt onshore külək stansiyasının qiymətləndirilməsi və tikintisinə dair müqavilələr imzalamışdır. Bundan əlavə, Avstraliyanın Fortescue Future Industries şirkəti Azərbaycanda külək, günəş və yaşıl hidrogen layihələri üzrə 12 GVt-ə qədər potensialı araşdırmaq üçün çərçivə sazişi bağlamışdır.

"Yaşıl Enerji Zonası" konsepsiyası çərçivəsində azad edilmiş ərazilər (Qarabağ, Şərqi Zəngəzur) və Naxçıvan bərpa olunan enerji mərkəzlərinə çevrilir. Kəlbəcər rayonunda 240 MVt-lıq külək layihəsi nəzərdə tutulmuş, azad edilmiş ərazilərdə artıq 53,6 MVt gücündə 11 kiçik külək elektrik stansiyası istismara verilmiş, 7 stansiya (70,5 MVt) inşa edilir, daha 9 stansiya (76,8 MVt) üçün tikinti elan olunmuşdur.

Hüquqi və siyasi çərçivə. Azərbaycanda bərpa olunan enerji sektorunun əsas hüquqi bazasını 2021-ci ildə qəbul edilmiş "Elektrik Enerjisinin İstehsalında Bərpa Olunan Enerji Mənbələrindən İstifadə Haqqında Qanun" təşkil edir. Bu qanun hüquqi-təşkilati çərçivəni müəyyən edir, tender və rəqabət mexanizmlərini tətbiq edir, özəl investisiyaların cəlb edilməsi üçün stimullar yaradır. Sahəni tənzimləyən digər qanunlar arasında Enerji Resurslarından Səmərəli İstifadə və Enerji Səmərəliliyi Haqqında Qanun (2021), Dövlət-Özəl Tərəfdaşlıq Haqqında Qanun (2022), Elektroenergetika Haqqında Qanun (2023) və Ətraf Mühitə Təsirin Qiymətləndirilməsi Haqqında Qanun (2018) yer alır.

Sektorun inkişafını əlaqələndirmək məqsədilə 2020-ci ilin sentyabrında Enerji Nazirliyi yanında Azərbaycan Bərpa Olunan Enerji Agentliyi (AREA) yaradılmışdır. AREA külək enerjisi sahəsinin tənzimləyici orqanı kimi texniki-iqtisadi əsaslandırmaların aparılması, tender proseslərinin idarə edilməsi, xarici investorlar üçün prosedurların sadələşdirilməsi funksiyalarını həyata keçirir. Agentlik 2024-cü ildə Xəzərdə offshore külək enerjisinin inkişafı sahəsində əməkdaşlıq üçün WindEurope ilə Anlaşma Memorandumu imzalamışdır.

İnvestorlar üçün güzəştlər paketi xüsusilə cəlbedicidir: 30 ilə qədər müddəti olan DÖT/EASİ müqavilələri üzrə korporativ gəlir vergisindən, əmlak vergisindən və torpaq vergisindən tam azadolma; avadanlıq idxalında ƏDV və gömrük rüsumlarından azadolma; mənfəət vergisini 50% azaldan, əmlak, torpaq, ƏDV və gömrük rüsumlarından tam azad edən 7 illik İnvestisiya Sertifikatı. 150 kVt-a qədər elektrik istehsal edən fiziki və hüquqi şəxslər gəlir vergisindən azad edilir, artıq enerjini isə topdansatış tarifi ilə şəbəkəyə ötürə bilərlər.

İqtisadi göstəricilər. Azərbaycanda yeni onshore külək layihələrinin Enerji Səviyyəsinə Gətirilmiş Dəyəri (LCOE) hazırda MVt·saat başına 32–34-dollar arasında qiymətləndirilir. Bu rəqəmlər real layihə tenderlərindəki feed-in tariflərindən əldə edilmişdir: ACWA Power-in Xızı-Abşeron layihəsinin tarifi 0,055 AZN/kVt·saat (~32 $/MVt·saat), Masdar-ın Abşeron-Qaradağ layihəsinin isə ~34 $/MVt·saat-dir.

Bu göstəricilər qlobal miqyasda yüksək rəqabət qabiliyyətlidir - IRENA-nın 2022-ci il hesabatında qlobal onshore külək enerjisinin ağırlıqlı ortalaması 33 $/MVt·saat olaraq göstərilir. Azərbaycanın aşağı LCOE-sinə əsas töhfəni bir neçə amil verir: 45%-i keçən güc əmsalı, 6 MVt+ turbinlər, mövcud sənaye qovşaqlarına yaxın əlverişli logistika və çoxlu tərəfdaş kreditorların strukturlaşdırdığı maliyyə modelləri. Ən aşağı karbon azaltma dəyəri isə CO_2-ekvivalenti üzrə 121,4 AZN/ton olaraq hesablanmışdır.

Xarici investisiya axınları sektorun cazibədarlığını sübut edir. Ölkənin ilk iki böyük bərpa olunan enerji layihəsinə - Xızı-Abşeron külək stansiyasına (286-300 milyon dollar) və Qaradağ günəş elektrik stansiyasına (262 milyon dollar) - cəmi 500 milyon dollardan çox vəsait yönəldilmişdir. 2026-cı ilin yanvarında Prezident İlham Əliyev bərpa olunan enerji inşaatına o günədək 100 milyon dollar aktiv məbləğin xərcləndiyi qeyd etmiş, layihə portfelindəki daha böyük investisiyaların isə artıq təmin edildiyini bildirmişdir.

Müqayisəli təhlil və beynəlxalq öhdəliklər. Regionun aparıcı ölkəsi olan Türkiyə texniki onshore külək potensialının 48 GVt, offshore potensialının isə 75 GVt olduğu yetkin bir bazara sahibdir. 2026-cı ilin əvvəlinə quraşdırılmış gücü 16 GVt-ə yaxınlaşan Türkiyə, 2025-ci ildə 2.140 MVt yeni güc əlavə edərək Avropa bazarında Almaniyadan sonra ikinci yerə yüksəlmişdir. Ölkə həmçinin ildə 2,2 milyard avrolluq külək avadanlığı ixrac edərək güclü sənaye bazası formalaşdırmışdır.

İran isə bölgənin ən yüksək keyfiyyətli külək resurslarından birinə malik olmasına baxmayaraq, onun reallaşdırılmasında ciddi geridə qalır. Ölkənin nəzəri potensialı 100 GVt-i keçir: Sistan hövzəsindəki "120 Günlük Küləyin" maksimal sürəti 20 m/s-i üstələyir, Mil Nader layihəsinin güc əmsalı isə dünya rekordu

yaxın 85%-ə çatmışdır. Bununla belə, quraşdırılmış gücü 2025-ci ilin əvvəlində cəmi 430-550 MVt-dir. Beynəlxalq sanksiyalar, 24%-i keçən borclanma dəyəri, dövlət yanacaq subsidiyaları və köhnəlmiş şəbəkə infrastrukturu inkişafa ciddi mane olur.

Azərbaycan bu müqayisədə rəqib rolunda deyil, regional yaşıl enerji ixracatçısı rolunda çıxış edir. Ölkə 135 GVt qurudakı və 157 GVt offshore texniki potensialını Zəngəzur Enerji Koridoru və Qara Dəniz Yaşıl Enerji Koridoru vasitəsilə Gürcüstan, Türkiyə üzərindən Avropaya ötürməyi hədəfləyir. Gürcüstan hazırda elektrik enerjisinin xalis idxalçısına çevrilmiş olsa da, mövcud transmissiya infrastrukturu bu koridorun strateji əhəmiyyətini artırır.



Şəkil 3. Azərbaycanın yaşıl enerjisini Avropaya daşıyacaq strateji marşrut – Qara Dəniz Sualtı Kabel layihəsi (Azərbaycan - Gürcüstan - Rumıniya - Macarıstan)

Beynəlxalq iqlim öhdəlikləri baxımından Azərbaycan Paris Sazişinə qoşularaq 2030-cu ilə qədər 1990-cı il səviyyəsinə nisbətən istilik qazlarının emissiyasını 35%, 2050-ci ilə qədər isə 40% azaltmağı öhdəsinə götürmüşdür. COP29 zamanı ölkə 2030-cu ilə qədər bərpa olunan enerji gücünü üçqat artırmaq üzrə Qlobal Vədi dəstəkləmiş, həmçinin 2035-ci ilə qədər qlobal iqlim maliyyəsi üçün ildə 1,3 trilyon dollar mobilizasiyasını nəzərdə tutan Bakı Maliyyə Hədəfinin elanına öncülük etmişdir.

Problemlər və perspektivlər. Böyük miqyaslı külək enerjisinin mövcud şəbəkəyə inteqrasiyası bir sıra texniki problemlər yaradır. Birincisi, küləyin dəyişkənliyi və proqnozlaşdırılmazlığı şəbəkə operatorlarının real vaxt rejiminde enerji balansını saxlamasını çətinləşdirir. İkincisi, Sovet dövrünə aid köhnəlmiş mərkəzləşdirilmiş transmissiya xətləri və yarımstansiyaları bölünmüş bərpa olunan enerji yükünü daşımaq üçün əsaslı modernləşdirmə tələb edir. Üçüncüsü, ənənəvi istilik stansiyalarından fərqli olaraq külək turbinləri elektron çeviricilər vasitəsilə şəbəkəyə bağlı olduğundan təbii inersiya təmin etmir; bu isə tezlik sapmaları, gərginlik dəyişkənliyi və harmonik distorsiyalar baxımından əlavə risk yaradır. Reaktiv güc dəstəyi və aşağı gərginlikdə işə dözümlülük (LVRT) tələblərinin yerinə yetirilməsi vacibdir.

Maliyyə sahəsindəki əsas maneə kimi süni şəkildə aşağı tutulan elektrik və qaz tariflərini göstərmək olar - bu tariflər bərpa olunan enerji layihələrinin gəlirliliyini azaldır. Daxili maliyyə bazarında likvidliyin məhdudluğu, tarixi olaraq 14-30% həddini keçən kredit faiz dərəcələri və yüksək girov tələbləri ilkin investisiyaların ödənilməsini çətinləşdirir. Tənzimləyici qeyri-müəyyənlik, uzun müddət standartlaşdırılmamış enerji alım-satış müqavilələrinin (EASİ) olmaması və şaquli inteqrasiya edilmiş dövlət şirkəti Azərenerjinin bazardakı dominant mövqeyi xırda özəl investorların sektora girişini əhəmiyyətli dərəcədə məhdudlaşdırır.

Külək enerjisi sahəsindəki ixtisaslı mütəxəssis çatışmazlığı real problemdir. Müasir külək turbinlərinin texniki xidməti, idarəetməsi və təmiri üçün lazımi bilik bazasına malik kadrların sayı məhduddur; bərpa olunan enerji

siyasəti, texniki qiymətləndirmə və layihə inkişafı sahəsindəki peşəkar potensial həm dövlət, həm də özəl sektorda hələ formalaşma mərhələsindədir. Bu boşluğu aradan qaldırmaq üçün ixtisaslaşmış tədqiqat proqramları, mühəndislik kurikulumları və Gobustan Eksperimental Poliqonu kimi praktiki təlim mərkəzlərinin yaradılması addımları atılmışdır.

Nəticə. Azərbaycan istilik qazlarının emissiyasını azaltmaq, elektroenergetika sistemini şaxələndirmək və regional yaşıl enerji ixracatçısına çevrilmək baxımından münbit külək enerjisi potensialına malikdir. Onshore üzrə 3 GVt iqtisadi, offshore üzrə 157 GVt texniki potensial, 303,5 MVt-lıq mövcud quraşdırılmış güc, ACWA Power, Masdar və TotalEnergies kimi şirkətlər tərəfindən yürüdülən GW miqyaslı layihə portfeli, əhatəli hüquqi çərçivə və rəqabətəli LCOE (32-34 $/MVt·saat) — bütün bu amillər birlikdə Azərbaycanı regionda külək enerjisi sahəsinin ən perspektivli oyunçularından birinə çevirir.

Eyni zamanda, köhnəlmiş şəbəkə infrastrukturu, maliyyə bazarının məhdudiyyətləri, yanacaq subsidiyaları və ixtisaslı kadr çatışmazlığı bu transformasiyanın gerçəkləşməsi önündəki əsas maneələr olaraq qalır. Həmin problemlərin aradan qaldırılması üçün şəbəkənin modernləşdirilməsinə davamlı dövlət investisiyaları, enerji tarif islahatları, KOBİ-lər üçün maliyyə alətlərinin inkişafı və ali təhsil müəssisələri ilə sənaye arasında tərəfdaşlığın gücləndirilməsi vacibdir. Bu addımlar atıldıqda, Azərbaycan 2030-cu il bərpa olunan enerji hədəflərini yerinə yetirməklə yanaşı, Avropanın enerji təhlükəsizliyinə töhfə verən regional yaşıl enerji qovşağına çevrilə bilər.

Ədəbiyyat

1. IRENA (2023). Renewables Readiness Assessment: Azerbaijan. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
2. World Bank / ESMAP (2022). Offshore Wind Roadmap for Azerbaijan. World Bank Group, Washington D.C.
3. IFC / World Bank (2022). Azerbaijan Offshore Wind Roadmap: Geospatial Mapping and Economic Assessment. International Finance Corporation.
4. Ministry of Energy of Azerbaijan Republic (2026, March). Report on Installed Renewable Energy Capacity. Baku.
5. AREA — Azerbaijan Renewable Energy Agency (2024). Annual Activity Report. Ministry of Energy, Baku.
6. Wind Europe & AREA (2024). Memorandum of Understanding on Offshore Wind Development in the Caspian Sea.
7. IRENA (2022). Renewable Power Generation Costs in 2022. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
8. Republic of Azerbaijan (2021). Law on the Use of Renewable Energy Sources in the Production of Electricity. Official Gazette, Baku.
9. UNFCCC (2021). Azerbaijan Nationally Determined Contribution (NDC) Update. COP26 Submission.
10. COP29 Presidency (2024). Baku Finance Goal and COP29 Declaration on Green Energy Corridors. Baku.

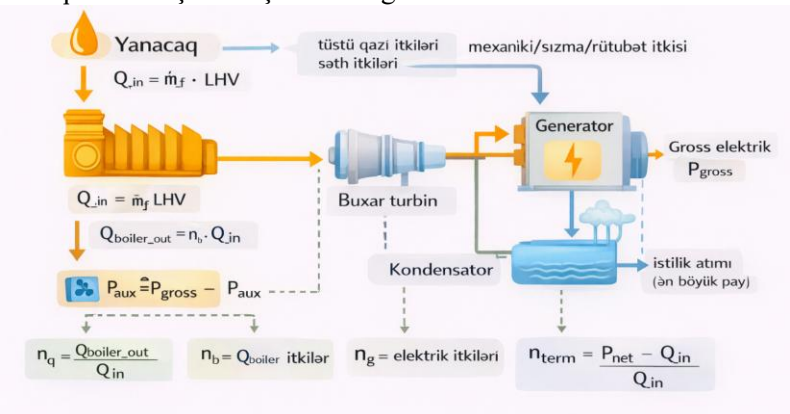
İES-DƏ ENERJİ SƏMƏRƏLİLİYİNİN ARTIRILMASI ÜZRƏ MODEL VƏ HESABLAMA ANALİZİ

Məftun Əliyev
Nakhchivan State University
E-mail: meftunaliyev@ndu.edu.az

Sevinc Novruzova
Nakhchivan State University
E-mail: sevincnovruzova@ndu.edu.az

Xülasə: Bu tədqiqat modelləşdirmə və hesablama təhlili vasitəsilə istilik elektrik stansiyalarında (İES) enerji səmərəliliyinin artırılması metodlarını araşdırır. Tədqiqatın əsas məqsədi elektrik enerjisi istehsalı zamanı enerji itkilərini azalda və yanacaq istehlakını optimallaşdıra bilən texniki tədbirləri qiymətləndirməkdir. Tədqiqatda istilik dərəcəsi, ümumi səmərəlilik və köməkçi enerji istehlakı kimi əsas göstəricilər baza parametrləri kimi qəbul edilir və müxtəlif modernləşdirmə ssenarilərinin təsirləri təhlil edilir. Təklif olunan model əməliyyat optimallaşdırması və avadanlıqların modernləşdirilməsi tədbirlərinin müqayisəli qiymətləndirilməsinə imkan verir. Nəticələr göstərir ki, yanma proseslərindəki təkmilləşdirmələr, kondensator vakuumunun optimallaşdırılması və daxili enerji istehlakının azaldılması stansiyanın səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artıra və yanacaq istifadəsini azalda bilər. Nəticələr göstərir ki, elektrik stansiyasının işinin optimallaşdırılması həm iqtisadi, həm də ekoloji faydalara töhfə verir.
Açar sözlər: istilik elektrik stansiyası, enerji səmərəliliyi, istilik dərəcəsi, enerji modelləşdirməsi, yanacaq istehlakı.

İES-də enerji səmərəliliyinin artırılması üzrə model və hesablama analizi qurarkən məqsəd real istismar göstəricilərini bir "baza ssenarisi" kimi qəbul edib, daha sonra modernləşdirmə və optimallaşdırma tədbirlərinin hər birinin bu göstəricilərə təsirini sayısal olaraq qiymətləndirməkdir. Bu yanaşma həm texniki qərarvermə üçün əsaslandırma yaradır, həm də iqtisadi-ekoloji nəticələrin müqayisəli təhlilinə imkan verir (Yusibov, Abbasov, Musayev, Orucova; 2014). Beynəlxalq praktikada belə hesablamalar əsasən istilik sərfi və faydalı iş əmsalı kimi göstəricilər üzərində qurulur; çünki istilik sərfinin azalması birbaşa yanacaq sərfinin azalması və istehsal xərclərinin aşağı düşməsi ilə nəticələnir. Digər tərəfdən, ISO 50001 çərçivəsində "enerji bazası" və "enerji performans göstəriciləri"-nin seçilməsi bu modelləşdirmənin idarəetmə baxımından sistemləşdirilməsinə şərait yaradır (International Organization for Standardization, 2018).
Modelin qurulması üçün ilkin olaraq İES-in enerji çevrilmə zənciri və ölçülə bilən əsas parametrlər müəyyən edilir: yanacağın aşağı istilik dəyəri (LHV), yanacaq kütlə sərfi, qazan çıxış buxar parametrləri, turbinin daxili səmərəlilik göstəriciləri, kondensator təzyiqi (vakuumu) və soyutma rejimi, generator və transformator itkiləri, daxili ehtiyaclar (Стерман, Лавыгин, Тишин; 2008). Bu parametrlərin bir hissəsi birbaşa ölçülür, bir hissəsi isə performans test metodları ilə dəqiqləşdirilir. Performans testlərinin standartlaşdırılması modernləşdirmədən əvvəl və sonra nəticələrin müqayisə oluna bilən olmasını təmin edir. Aşağıdakı şəkil 1-də sxemi bazis enerji balansının qurulma məntiqini sadələşdirilmiş formada göstərir.



Şəkil 1. İES üçün bazis enerji balansı və göstəricilərin hesablanma sxemi

Bu sxem üzrə əsas enerji göstəriciləri aşağıdakı kimi müəyyən edilir. Net elektrik çıxışı:

$P_{net} = P_{gross} - P_{aux}$, (1)

burada P_{gross} – generatorun istehsal etdiyi ümumi elektrik gücü; P_{aux} – stansiyanın daxili ehtiyacları (nasoslar, ventilyatorlar, nasos stansiyaları, idarəetmə sistemləri və s.) üçün sərf olunan elektrik gücü; P_{net} – elektrik şəbəkəsinə verilən xalis gücdür.

İstilik sərfi (heat rate) – elektrik enerjisinin vahidinə düşən istilik girişi:

$HR = \frac{Q_{in}}{E_{net}} \left(\frac{kC}{\text{kVt} \cdot \text{saat}}\right)$, (2)

burada E_{net} - net elektrik enerjisi (kVt ·saat), Q_{in} isə yanacaqdan daxil olan istilik enerjisidir (kC).

Elektrik üzrə ümumi faydalı iş əmsalı (net):

$\eta_{net} = \frac{(E_{net} \cdot 3600)}{Q_{in}}$. (3)

(3600 – $1\ \text{kVt} \cdot \text{saat} = 3600\ kC$ çevirmə əmsalıdır) (Yusibov, Abbasov, Musayev, Orucova; 2014). Praktiki olaraq HR nə qədər kiçikdirsə, η_{net} bir o qədər böyük olur; yəni $HR \downarrow \rightarrow \eta_{net} \uparrow$.

Hesablama analizi üçün nümayiş xarakterli bir baza ssenarisi seçək: 300 MVt gücə malik kondensasiyalı buxar turbinli İES tam yüklənməyə yaxın rejimdə işləyir. Elektrik sektorunda geniş istifadə olunan yanaşmaya uyğun olaraq bazis göstəricini heat rate götürək. Tutaq ki, bazis istismar məlumatlarında net heat rate HR_0 = 10 000 kJ/kWh qəbul olunur. Bu halda net səmərəlilik:

$\eta^0 = \frac{3600}{10\,000} = 0.36\ (\approx\ 36\%)$. (4)

Əgər stansiyanın net elektrik gücü P_{net}= 300 MVt olarsa, 1 saatda net enerji E_{net}= 300 000 kVt ·saat təşkil edir. Saatlıq istilik girişi:

$Q_{in} = HR^0 \cdot E_{net} = 10\,000 \cdot 300\,000 = 3\,000\,000\,000 \frac{kC}{saat} = 3\,000\,000 \frac{MC}{saat}$. (5)

Yanacağın aşağı istilik dəyərini LHV = 24 MC/kg götürdükdə, saatlıq yanacaq sərfi:

$\dot{m}_f = \frac{Q_{in}}{LHV} = \frac{3\,000\,000}{24} = 125\,000 \frac{kg}{saat} = 125 \frac{t}{saat}$. (6)

Bu sadə hesablamalar göstərir ki, HR-də kiçik faizlə azalma belə böyük güclü stansiyada yanacaq sərfinə ciddi təsir edir; bu da modernləşdirmə tədbirlərinin iqtisadi dəyərini əsaslandırmağa imkan verir (Məmmədov, 2016). Baza ssenarisindən sonra modernləşdirmə və optimallaşdırma tədbirləri "ssenari analizi" kimi qurulur. Burada məqsəd hər tədbir üçün HR-də gözlənilən nisbi azalma fərziyyəsi qəbul edib, yanacaq qənaətini, əlavə enerji istehsalını və mümkün emissiya azalmasını hesablamaqdır. Beynəlxalq hesabatlarda və istismar analizlərində tədbirlər çox vaxt "operational improvements", "equipment retrofit" və "deep retrofit/repowering" kimi qruplaşdırılır. Aşağıdakı ssenarilər həmin məntiqə uyğun qurulur və hər ssenaridə dəyişən əsas parametr HR və/ya P_{aux} hesab olunur.

Ssenari A – yanma optimallaşdırması və qazan istilik mübadiləsinin yaxşılaşdırılması. Yanma prosesində hava-yanacaq nisbətinin dəqiqləşdirilməsi, yandırıcıların sazlanması, tüstü qazı temperaturunun azaldılması və istilik mübadilə səthlərinin çirklənmədən qorunması qazan səmərəliliyinə birbaşa təsir edir (Yusibov, Abbasov, Musayev, Orucova; 2014). Bu tədbirlər adətən "aşağı xərc – yüksək effekt" qrupunda qiymətləndirilir və HR-də 1–3% yaxşılaşma potensialı verə bilir. Modelləşdirmədə $\Delta HR_A = -2\%$ qəbul etsək:

$HR_A = 9800 \frac{kC}{\text{kVt} \cdot \text{saat}}, \eta_A = \frac{3600}{9800} = 36.73\%$. (7)

1 saat üçün Q_{in}: Q_{in}, A = 9800 · 300 000 = 2 940 000 000 kC = 2 940 000 MC. Yanacaq sərfi: $\dot{m}_f$, A = 2 940 000/24 = 122 500 kg/saat.

Qənaət: 125 000 − 122 500 = 2 500 kg/saat = 2.5 t/saat. Bu rəqəm 24 saatda 60 ton, ay miqyasında isə böyük həcm deməkdir; buna görə əməliyyat optimallaşdırmasının ilk mərhələdə prioritetləşdirilməsi praktikada geniş tətbiq olunur.

Ssenari B – kondensator vakuumunun yaxşılaşdırılması və soyutma sisteminin optimallaşdırılması. Kondensator təzyiqinin yüksəlməsi turbinin genişlənmə dərəcəsini azaldır, net gücü aşağı salır və HR-i pisləşdirir; buna görə kondensator borularının təmizliyi, hava sızmalarının azaldılması və soyutma rejiminin düzgün qurulması səmərəliliyə əhəmiyyətli təsir göstərir (Стерман, Лавыгин, Тишин; 2008). Modelləşdirmədə bu tədbirin HR-də $\Delta HR_B = -1.5\%$ effekt verdiyini qəbul edək:

$HR_B = 9850 \frac{kC}{kVt \cdot saat}, \eta_B \approx 36.55\%$. (8)

Yanacaq qənaəti 1 saatda təxminən: 125 000 − (9850·300 000 / (24·1000)) ≈ 1.9 t/saat. Bu tip tədbirlər çox vaxt avadanlıq yenilənməsi tələb etmədən, texniki xidmət və rejim nəzarəti ilə əldə olunduğu üçün "ən əlçatan" modernləşdirmə tədbirlərindən sayılır (Стерман, Лавыгин, Тишин; 2008).

Ssenari C – daxili ehtiyacların azaldılması. Daxili ehtiyacların payı artdıqca net çıxış azalır və eyni yanacaq girişində net səmərəlilik pisləşir (Məmmədov, 2016). Tutaq ki, bazada daxili ehtiyaclar P_{aux}, 0 = 24 MVt (gross 324 MVt → net 300 MVt) təşkil edir. Modernləşdirmə ilə daxili ehtiyaclar 2 MVt azaldılır: P_{aux}, C = 22 MVt, deməli net güc P_{net}, C = 302 MVt olur (Məmmədov, 2016). Bu yanaşmada HR-ni net enerjiyə görə yenidən hesablayırıq: 1 saatda E_{net}, C = 302 000 $kVt \cdot saat$ Əgər Q_{in} bazadakı kimi 3 000 000 MC/saat saxlanırsa,

$HR_C = \frac{\left(3\,000\,000\ MC \cdot 1000 \frac{kC}{MC}\right)}{302\,000\ kVt \cdot saat} \approx 9934 \frac{kC}{kVt \cdot saat}$, (9)

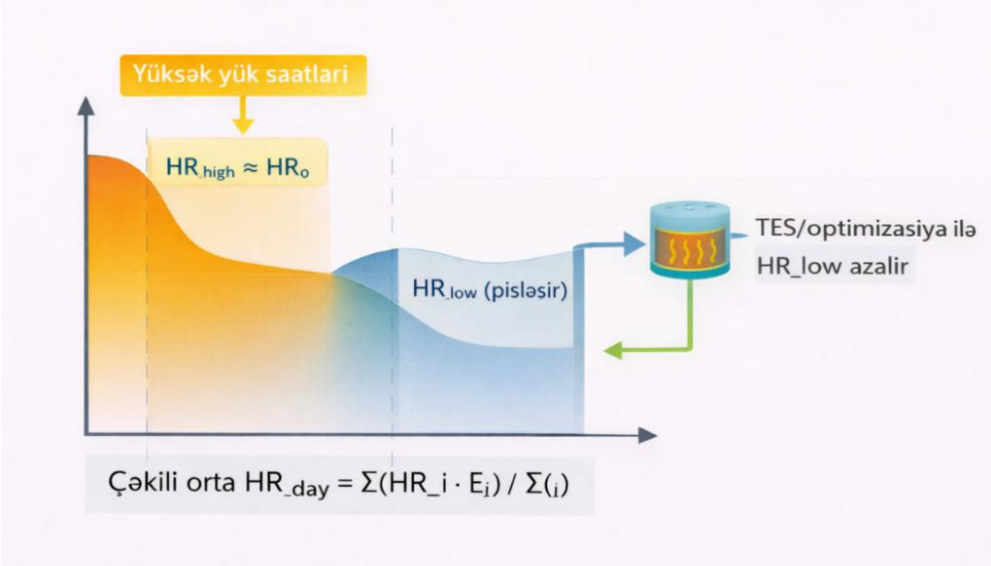
yəni net HR təxminən 0.66% yaxşılaşır. Bu, "enerjini daha çox istehsal etmək" deyil, "istehsal edilən enerjidən daha azını özünə sərf etmək" prinsipi ilə net səmərəliliyin artırılmasıdır (Məmmədov, 2016).

Ssenari D – turbin axın hissəsinin modernləşdirilməsi və mərhələdaxili itkilərin azaldılması. Turbin daxili səmərəliliyi qanad profillərinin vəziyyəti, sızmalar, rütubətlənmə və aerodinamik itkilərdən ciddi asılıdır; axın hissəsinin bərpası və optimallaşdırılması HR-də orta səviyyəli yaxşılaşma verə bilər (Стерман, Лавыгин, Тишин; 2008). Modelləşdirmədə $\Delta HR_D = -3\%$ qəbul edək:

$HR_D = 9700 \frac{kC}{kVt \cdot saat}, \eta_D \approx 37.11\%$. (10)

Yanacaq qənaəti: (10 000−9700)/10 000 = 3% → 125 t/saat · 3% = 3.75 t/saat. Bu tədbir artıq avadanlıq müdaxiləsi tələb etdiyindən investisiya səviyyəsi daha yüksəkdir, lakin uzunmüddətli istismarda böyük yanacaq qənaəti yarada bilər (Стерман, Лавыгин, Тишин; 2008).

Ssenari E – istilik enerjisinin saxlanması (TES) və ya power-to-heat (P2H) inteqrasiyası ilə çeviklik və əməliyyat səmərəliliyi. TES inteqrasiyası birbaşa "termik dövr səmərəliliyi"ni artırmaqdan əlavə, stansiyanın qeyri-optimal rejimlərdə işləməsindən doğan itkiləri azaltmağa yönəlir (Miao, Liu, Zhang, Zhao, Yan; 2023). Yəni təsir mexanizmi daha çox "rejim sabitliyi" və "optimal yüklənmədə işləmə payının artması" üzərindən formalaşır. Miao və b. kömür stansiyasının power-to-heat əsaslı istilik saxlama sistemi ilə inteqrasiyasını enerji-eksergi-iqtisadi aspektdə qiymətləndirərək çeviklik və səmərəlilik arasında kompromisin modelləşdirilməsini göstərirlər (Miao, Liu, Zhang, Zhao, Yan; 2023). Roldán Serrano və b. rock-bed TES retrofiti ilə istilik bərpası və istismar rejiminin yumşaldılması imkanlarını təhlil edirlər (Roldán Serrano, Knobloch, Giuliano, Engelbrecht, Hirsch; 2023). Sadələşdirilmiş modelləşdirmədə TES-in əsas təsiri kimi aşağı yüklərdə HR-in pisləşməsinin bir hissəsinin kompensasiya edildiyi qəbul olunur. Məsələn, stansiya gün ərzində 6 saat 60% yüklə işləyirsə və bu rejimdə HR 10 800 *kC/* $kVt \cdot saat$-a qalxırsa, TES/optimizasiya sayəsində həmin saatlarda HR 10 500 *kC/* $kVt \cdot saat$ -ə endirilə bilər. Bu cür "yük-rejim əsaslı" model İES-lərin real istismar şərtlərinə daha uyğundur və praktiki qərarvermədə faydalıdır (Miao, Liu, Zhang, Zhao, Yan; 2023). Bunun üçün göstəricilər saatlıq yük qrafikinə görə çəkilənir və "günlük orta HR" hesablanır. Aşağıda şəkil 2-də bu məntiqi göstərən qısa sxem verilir.



Şəkil 2. Yük qrafiki əsaslı səmərəlilik modeli (TES/optimizasiya təsiri ilə)

Bu modelin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, modernləşdirmə tədbirlərinin bir hissəsi tam yüklənmədə deyil, məhz qeyri-optimal rejimlərdə daha çox fayda verir və bunu orta göstəricilərdə əks etdirmək mümkündür (Miao, Liu, Zhang, Zhao, Yan; 2023). Bu yanaşma ISO 50001-in EnPI və baseline konsepsiyası ilə də uzlaşır: bazis dövrdə enerji performansı "yük, hava temperaturu, soyutma suyu temperaturu" kimi amillərə görə normallaşdırılır, sonra tədbirin təsiri həmin normallaşdırma fonunda qiymətləndirilir (International Organization for Standardization, 2018).
Yuxarıdakı ssenariləri müqayisəli göstərmək üçün sadə yekun cədvəl təqdim olunur.

Cədvəl 1. Baza və ssenarilər üzrə HR və yanacaq sərfi müqayisəsi (300 MVt net, LHV=24 MJ/kg)

Variant		HR (kC/ **kVt · saat**)	η_{net} (%)	Yanacaq sərfi (t/saat)	Qənaət (t/saat)
Baza (0)		10 000	36.00	125.00	–
A: Yanma/qazan optim.		9 800	36.73	122.50	2.50
B: Kondensator/soyutma		9 850	36.55	123.13	1.87
C: Daxili ehtiyac−2 MVt		~9 934	~36.24	~124.18	~0.82
D: Turbin retrofit		9 700	37.11	121.25	3.75

Bu cədvəl 1-də diqqət çəkən məqam odur ki, səmərəlilik artımı tədbirləri müxtəlif mexanizmlərlə işləyir: A və B əsasən istilik itkilərini azaltmaqla Q_{in}-i aşağı salır; C net çıxışı artıraraq HR-i yaxşılaşdırır; D isə çevrilmənin daxili itkilərini azaldaraq eyni elektrik üçün daha az istilik girişi tələb edir (Стерман, Лавыгин, Тишин; 2008). Real layihələndirmədə bu tədbirlər bir paket kimi birləşdirilə bilər və bu zaman təsirlər tam toplanmasa da, ümumi nəticə daha böyük olur. Məsələn, yanma optimallaşdırması + kondensator yaxşılaşdırması birlikdə tətbiq olunduqda HR-də 3–4% səviyyəsində ümumi yaxşılaşma mümkün ola bilər; bu da stansiyanın illik yanacaq xərclərinə ciddi təsir edir.
Modelin elmi əsaslandırılmasında yalnız enerji analizi deyil, eksergi analizi də mühüm rol oynayır. Eksergi yanaşması enerji axınlarının keyfiyyətini (faydalı iş potensialını) qiymətləndirir və itkilərin harada "geri dönməz" şəkildə formalaşdığını daha dəqiq göstərir. Məsələn, kondensatorla atılan istilik enerji balansında ən böyük pay olsa da, onun eksergi dəyəri daha aşağı ola bilər; buna görə modernləşdirmə prioriteti seçilərkən

enerji payı ilə yanaşı eksergi məhvetmə (exergy destruction) göstəricilərinin də təhlili qərarverməni gücləndirir (Mahamud, Khan, Rasul, Leinster; 2013). Bu yanaşma xüsusən ORC və TES kimi texnologiyaların seçimi zamanı əhəmiyyətlidir, çünki həmin texnologiyalar məhz "aşağı/orta temperatur səviyyəsində qalan potensialı" reallaşdırmağa yönəlir (Katulić, Čehil, Schneider; 2018).

Praktiki tətbiq üçün modelin son mərhələsində iqtisadi qiymətləndirmə blokunun əlavə edilməsi məqsədəuyğundur. Yanacaq qənaəti (t/saat) qiymət göstəricisi (AZN/t və ya USD/t) ilə vurularaq saatlıq qənaət, sonra illik iş saatı ilə vurularaq illik qənaət hesablanır. Bununla paralel olaraq, emissiya faktorları (məsələn, CO_2/t yanacaq) tətbiq edilərək ekoloji nəticələr də qiymətləndirilə bilər. IEA hesabatlarında modernləşdirmə tədbirlərinin emissiya azalmasına təsiri yanacaq sərfinin azalması ilə birbaşa əlaqələndirilir və bu yanaşma layihə əsaslandırılmasında geniş istifadə olunur. Dünya Bankı qiymətləndirmələrində isə modernləşdirmə tədbirlərinin iqtisadi səmərəsi yalnız yanacaq qənaəti ilə deyil, etibarlılıq və istismar risklərinin azalması ilə birlikdə nəzərdən keçirilir. Bu isə onu göstərir ki, modelin tətbiqi yalnız "HR nə qədər azaldı" sualı ilə məhdudlaşmamalı, həm də "stansiyanın istismar dayanıqlığı və çevikliyi necə dəyişdi" sualını da əhatə etməlidir (Miao, Liu, Zhang, Zhao, Yan; 2023).

Göstəricilərin idarəedilməsi baxımından modelin "enerji performans paneli" kimi qurulması da praktik üstünlük yaradır: hər gün/ay üzrə HR, η_{net}, P_{aux} payı, kondensator vakuumu, tüstü qazı O_2/CO, qazan çıxış temperaturu kimi indikatorlar izlənir, sapmalar aşkar edilərək düzəldici tədbirlər görülür. Bu sistemli yanaşma ISO 50001-in "planla–icra et–yoxla–təkmilləşdir" dövrü ilə uzlaşır və enerji səmərəliliyinin davamlı saxlanmasına xidmət edir (International Organization for Standardization, 2018). Beləliklə, təqdim olunan model İES-lərdə enerji səmərəliliyinin artırılması tədbirlərinin həm texniki, həm də idarəetmə baxımından əsaslandırılması üçün tətbiq yönümlü hesablamalar aparmağa imkan verir; tədbirlərin seçimi isə stansiyanın real ölçmə məlumatları əsasında dəqiqləşdirilməlidir.

Ədəbiyyat

1. International Organization for Standardization (ISO). ISO 50001: Energy management systems – Requirements with guidance for use (ISO 50001:2018).
2. Katulić, S.; Čehil, M.; Schneider, D.R. Thermodynamic efficiency improvement of combined cycle power plant's bottom cycle based on organic working fluids. Energy, 2018, 147, 36–50. DOI: 10.1016/j.energy.2018.01.033.
3. Mahamud, R.; Khan, M.M.K.; Rasul, M.G.; Leinster, M.G. Exergy Analysis and Efficiency Improvement of a Coal Fired Thermal Power Plant in Queensland. In: Thermal Power Plants – Advanced Applications. InTech, 2013, pp. 3–28. DOI: 10.5772/55574.
4. Məmmədov, S.Z. Elektrik enerjisinin istehsalı: dərslik. Gəncə, 2016.
5. Miao, L.; Liu, M.; Zhang, K.; Zhao, Y.; Yan, J. Energy, exergy, and economic analyses on coal-fired power plants integrated with the power-to-heat thermal energy storage system. Energy, 2023, 284, 129236. DOI: 10.1016/j.energy.2023.129236.
6. Roldán Serrano, M.I.; Knobloch, K.; Giuliano, S.; Engelbrecht, K.; Hirsch, T. Retrofit of a coal-fired power plant with a rock bed thermal energy storage. Journal of Energy Storage, 2023. DOI: 10.1016/j.est.2023.109238.
7. Yusibov, F.M.; Abbasov, Q.İ.; Musayev, T.N.; Orucova, N.Q. İstilik texnikası və energetik qurğular: dərslik. Gəncə: ADAU nəşriyyatı, 2014. 434 s.
8. Стерман, Л.С.; Лавыгин, В.М.; Тишин, С.Г. Тепловые и атомные электрические станции: учебник. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 463 с.

RABİTƏ SİSTEMLƏRİNDƏ RƏQƏMSAL FIR SÜZGƏCLƏRİN LAYİHƏLƏNDİRİLMƏSİ ÜSULLARININ TƏHLİLİ

Nihad Mirzəzadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
E-mail: nmirzezade2@std.beu.edu.az

Xülasə: Məqalədə müasir rabitə sistemlərinin mərkəzi elementlərindən biri olan sonlu impuls cavablı rəqəmsal FIR süzgəclərin layihələndirilməsi metodologiyaları təhlil edilir. FIR süzgəcləri mütləq sabitlik və dəqiq xətti faza xüsusiyyətlərinə malik olduqları üçün rəqəmsal siqnal emalı sahəsində geniş tətbiq tapırlar. Tədqiqat çərçivəsində pəncərələmə, tezlik seçmə və Parks–McClellan kimi klassik metodlarla yanaşı, avadanlıq resurslarına qənaət edən və hesablama sürətini artıran müasir yanaşmalar araşdırılır. Xüsusi diqqət vurma əməliyyatlarının mürəkkəbliyini azaltmağa imkan verən Kanonik Simvolik Rəqəmsal təmsili, vurmasız dizaynlar və Paylanmış Arifmetika texnikalarına yetirilir. Bundan əlavə, Diferensial Təkamül, Genetik Alqoritm və Zərrəciklər Sürücü Optimallaşdırması kimi təkamül alqoritmlərinin süzgəc əmsallarının diskret fəzada tapılmasında effektivliyi müqayisəli şəkildə təqdim olunur. Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, 5G və proqram təminatı ilə idarə olunan radio sistemlərinin yüksək sürət və aşağı enerji sərfiyyatı tələblərini qarşılamaq üçün yenidən konfiqurasiya edilə bilən vurmasız strukturlar əlverişli həll yoludur. Bu metodlar həm aparat sahəsinə qənaət etməyə, həm də keçid zolağının kəskinliyini və spektral təmizliyi qorumağa imkan verir.
Açar sözlər: FIR süzgəc, rəqəmsal siqnal emalı, vurmasız dizayn, CSD kodlaşdırma, təkamül alqoritmləri, FPGA, 5G rabitə sistemləri.

Giriş. Müasir rəqəmsal rabitə sistemlərində siqnalların emalı, kanal tutumunun optimallaşdırılması və maneələrin kənarlaşdırılması üçün sonlu impuls cavablı FIR süzgəclər həlledici rol oynayır. FIR süzgəcləri impuls cavabının sonlu zaman kəsiyində sıfıra enməsi və daxili rəy mexanizminə malik olmaması ilə xarakterizə olunur. Bu struktur xüsusiyyəti süzgəclərin hər zaman mütləq şəkildə sabit qalmasını və bütün tezlik diapazonunda dəqiq xətti faza cavabı verməsini təmin edir ki, bu da yüksək sürətli rəqəmsal modulyasiya zamanı faza təhriflərinin qarşısını almaq üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Rabitə texnologiyalarının inkişafı, xüsusilə 5G standartları və proqram təminatı ilə idarə olunan radio sistemləri, süzgəclərin çevikliyi və enerji səmərəliliyi qarşısında yeni tələblər qoyur. FIR süzgəcləri spektral formalaşdırma, kanal ekvalizasiyası və uyğunlaşdırılmış süzgəcləmə kimi mühüm vəzifələri yerinə yetirir. Lakin yüksək dərəcəli FIR süzgəclərinin aparat səviyyəsində reallaşdırılması çox sayda vurma-toplama əməliyyatı tələb etdiyi üçün böyük silisium sahəsi və yüksək enerji sərfiyyatı ilə nəticələnir.

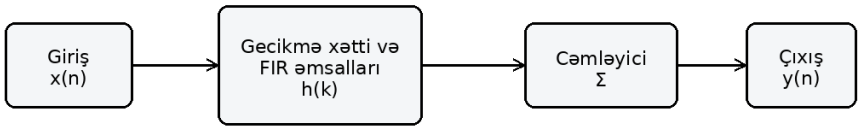
Bu problemləri həll etmək məqsədilə tədqiqatçılar əmsalların Kanonik Simvolik Rəqəmsal təmsili və ya İkinin Qüvvətlərinin Cəmi formatında kodlaşdırılmasına əsaslanan vurmasız arxitekturalara üstünlük verirlər. Məqalənin məqsədi rabitə sistemləri üçün FIR süzgəclərin layihələndirilməsində tətbiq olunan klassik, avadanlıq effektivliyi yaradan və təkamül optimallaşdırmasına əsaslanan üsulları müqayisəli şəkildə təhlil etmək, müasir rabitə standartları üçün daha səmərəli yanaşmaları müəyyənləşdirməkdir.

Tədqiqat. Rəqəmsal rabitə sistemlərində FIR süzgəclər impuls cavabı sonlu zaman kəsiyində sıfıra enən diskret-zamanlı sistemlərdir. Bu süzgəclər daxili rəy mexanizminə malik olmadıqları üçün qeyri-rekursiv struktura malikdirlər və hər zaman mütləq şəkildə sabitdirlər. FIR süzgəclərinin ən mühüm texniki üstünlüyü onların dəqiq xətti faza xüsusiyyətinə malik olmasıdır ki, bu da yüksək sürətli rəqəmsal modulyasiya zamanı faza təhriflərinin qarşısını almaq üçün həlledicidir.

Rabitə texnologiyalarında FIR süzgəcləri siqnalın spektral formalaşdırılması funksiyasını yerinə yetirərək arzuolunmaz tezlik komponentlərini bloklayır və qonşu kanal müdaxiləsini azaldır. Xüsusilə simsiz ötürücülərdə süzgəclər siqnalın yalnız müvafiq tənzimləyici normalarla müəyyən edilmiş tezlik diapazonunda ötürülməsini təmin edir. Süzgəcin performansı keçid zolağındakı dalğalanmalar, dayandırma zolağındakı zəifləmə və keçid zolağının kəskinliyi ilə xarakterizə olunur.

$y(n) = \sum_{k=0}^{N} b_k \, x(n-k).$

Bu tənlik süzgəcin giriş nümunələri ilə əmsallar arasındakı riyazi asılılığı və çıxış siqnalının formalaşma prinsipini təsvir edir.



Şəkil 1. Sonlu impuls cavablı FIR süzgəcin ümumi blok diaqramı

FIR süzgəclər üçün layihələndirmə prosesi istənilən tezlik xarakteristikasını real hesablama resursları daxilində təmsil edən N+1 sayda əmsalın tapılmasına yönəlmişdir. Klassik yanaşmalar zaman və tezlik domenlərində fərqli meyarları, məsələn xətanın minimuma endirilməsini və ya dalğalanmaların bərabər paylanmasını əsas götürür.

Pəncərələmə metodu. Bu üsul ən geniş istifadə olunan və ən sadə metodlardan biridir. Proses ideal süzgəcin, adətən düzbucaqlı xarakteristikaya malik sinc funksiyasının, sonsuz impuls cavabını sonlu zaman kəsiyində kəsmək prinsipinə əsaslanır. Bu məqsədlə Hamming, Blackman, Hanning və ya Kaiser kimi pəncərə funksiyalarından istifadə olunur. Metodun əsas çatışmazlığı impuls cavabının kəsilməsi nəticəsində yaranan Gibbs fenomenidir. Bu hal keçid zolağında dalğalanmalara və yan ləçəklərin səviyyəsinin artmasına səbəb olur ki, bu da qonşu kanal müdaxiləsini gücləndirir. Lakin Kaiser pəncərəsi kimi parametrik ailələr zaman və tezlik domeni parametrləri arasında daha çevik uyğunluq yaratmağa imkan verir.

Tezlik seçmə metodu. Bu yanaşmada süzgəcin arzu olunan tezlik cavabı diskret nöqtələrdə seçilir və Tərs Diskret Furye Çevrilməsi vasitəsilə impuls cavabı əmsalları müəyyən edilir. Bu metod dar zolaqlı süzgəclərin layihələndirilməsi üçün əlverişli hesab olunur. Lakin seçmə nöqtələri arasındakı tezlik cavabı üzərində nəzarət zəif olur. Xətanı azaltmaq üçün bəzi keçid nümunələri optimallaşdırıla bilər, amma bu da hesablama mürəkkəbliyini artırır.

Parks–McClellan alqoritmi. Çebışev approksimasiyasına və Remez mübadilə alqoritminə əsaslanan bu üsul keçid və dayandırma zolaqlarında maksimal xətanı minimuma endirir. Bu metod equiripple, yəni bərabər dalğalanmalı xarakteristika yaradaraq verilmiş süzgəc dərəcəsi üçün daha kəskin keçid zolağı formalaşdırır. Pəncərələmə metoduna nisbətən daha mürəkkəb riyazi iterasiyalar tələb etsə də, yüksək spektral dəqiqlik tələb olunan sistemlərdə daha uyğun həll hesab olunur.

Ən kiçik kvadratik xətalar metodu (MSE). Digər klassik yanaşmalardan biri real süzgəc xarakteristikası ilə ideal xarakteristika arasındakı orta kvadratik fərqin inteqralını minimuma endirməkdir. Bu metodda süzgəcin müxtəlif tezlik diapazonlarına, məsələn keçid və ya dayandırma zolaqlarına, fərqli çəki əmsalları W(f) tətbiq edilə bilər. Bunun sayəsində müəyyən zonaların əhəmiyyəti artırılmış olur. Süzgəcin impuls cavabının tezlik domenindəki təmsili aşağıdakı Furye sırası tənliyi ilə ifadə olunur:

$H(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)e^{-j\omega n}$

Bu tənlik süzgəcin giriş siqnalının müxtəlif tezlik komponentlərinə necə təsir etdiyini göstərir. Eyni zamanda, bit səhv dərəcəsinin minimuma endirilməsi üçün əmsalların hansı istiqamətdə tənzimlənməli olduğunu anlamağa imkan verir. Klassik metodlardan hansının seçilməsi isə birbaşa sistemin hesablama gücü və spektral təmizlik tələblərindən asılıdır.

Rəqəmsal rabitə sistemlərində sonlu impuls cavablı (FIR) süzgəclərin layihələndirilmə keyfiyyəti siqnalın spektral təmizliyinə və ötürülmə səmərəliliyinə birbaşa təsir göstərir. Pəncərələmə zamanı impuls cavabının kəsilməsi spektral sızma və yan ləçəklərin səviyyəsinin artmasına səbəb olur. Bu hal qonşu kanal müdaxiləsini gücləndirir və rabitə keyfiyyətini aşağı salır. Xüsusilə multidaşıyıcılı sistemlərdə bu təsir daha aydın hiss olunur. Süzgəcin dərəcəsi artdıqca tezlik ayırdetmə qabiliyyəti yaxşılaşır. Lakin bunun müqabilində gözləmə müddəti və hesablama gecikməsi də artır. Buna görə layihələndirmə zamanı bu amillər arasında düzgün tarazlıq qurulmalıdır. Xüsusilə 5G ssenarilərində qısa burst tipli rabitə üçün kəsilmə tezliyinin idarə olunması və süzgəc uzunluğunun optimallaşdırılması spektral effektivlik baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Praktikada 5G, FBMC və GFDM kimi müasir modulyasiya texnologiyalarında spektral effektivliyi artırmaq və bit səhv dərəcəsini minimuma endirmək üçün xüsusi FIR süzgəclərdən istifadə olunur. Müasir rabitə standartlarının sürətli inkişafı proqram təminatı ilə idarə olunan radio və çoxstandartlı iş rejimlərinə uyğunlaşa bilən süzgəc arxitekturalarına tələbatı daha da artırmışdır. Belə sistemlərdə yenidən konfiqurasiya edilə bilən FIR strukturları əmsalların bit dəqiqliyini və tap sayını tətbiqin tələbinə uyğun dəyişməyə imkan verir. Məsələn, bir CDMA qəbuledicisində ikili PN koduna uyğunlaşdırılmış süzgəc üçün 1 bitlik dəqiqlik kifayət etdiyi halda, spektral formalaşdırma üçün 16 bitə qədər dəqiqlik tələb oluna bilər.ASIC dizaynlarında rəqəm-əsaslı rekonfiqurasiya olunan strukturlar yüksək səmərəlilik nümayiş etdirir. Məsələn, 0.35-μm CMOS texnologiyasında belə bir quruluş 86 MHz sürətində cəmi 16.5 mW enerji sərfiyyatı ilə işləyə bilir. Bu tip dizaynlar süzgəc konfiqurasiyasından asılı olmayan kritik yol təmin etməklə yanaşı, silisium sahəsinə və enerji sərfiyyatına da ciddi qənaət etməyə imkan verir.

FPGA platformalarında isə Paylanmış Arifmetika metodu vurma bloklarına ehtiyacı aradan qaldıraraq yüksək ötürücülük qabiliyyəti yaradır. Bu texnika bit-ardıcıl prinsip əsasında işləyir və vurma-toplama əməliyyatlarını axtarış cədvəlləri vasitəsilə yerinə yetirir. LUT-ların ölçüsü süzgəc dərəcəsi ilə eksponensial artdığı üçün yaddaş resurslarına qənaət məqsədilə onların bölünməsi üsulundan istifadə olunur. Təkmilləşdirilmiş DA strukturları Carry Look-Ahead əsaslı toplayıcı ağacından istifadə etməklə mövcud quruluşlarla müqayisədə 42% daha az xana və 40% daha az LUT flip-flop cütlüyü tələb edir. Bu isə yüksək aparat səmərəliliyi yaradır. Belə süzgəclər siqnalın ötürmə mühitinə uyğunlaşdırılması, maneələrin aradan qaldırılması və kanal ekvalizasiyası kimi prosesləri təmin etdiyinə görə rəqəmsal siqnal emalında mühüm yer tutur.

FIR süzgəclərin layihələndirilməsində ənənəvi Parks–McClellan və ya pəncərələmə metodları kəsilməz əmsallar fəzasında səmərəli işləsə də, əmsalların kvantlanması və onların diskret fəzada, məsələn SPT və ya CSD formatında optimallaşdırılması zamanı müəyyən çətinliklər ortaya çıxır. Obyektiv funksiyanın çoxmodallı, qeyri-xətti və diferensiallanmayan xarakteri klassik üsulların bəzən lokal minimumlarda qalmasına səbəb olur. Məhz buna görə bu tip problemlərin həllində təbiətdən ilhamlanan stoxastik optimallaşdırma alqoritmlərindən geniş istifadə edilir.

Genetik Alqoritmlər (GA). Bioloji təkamül və təbii seçmə prinsiplərinə əsaslanan bu yanaşma krossinqover, mutasiya və seleksiya mexanizmləri üzərindən işləyir. Onun əsas üstünlüyü həll fəzasını eyni vaxtda geniş şəkildə araşdıra bilməsidir. GA xüsusilə SPT formatında əmsalların müəyyən edilməsində faydalıdır, çünki diskret axtarış fəzasında mürəkkəb məhdudiyyətləri nəzərə almaq imkanına malikdir. Bununla belə, idarəetmə parametrləri düzgün seçilmədikdə konvergensiya zəifləyə və alqoritm daha əlverişsiz həllərdə qala bilər.

Diferensial Təkamül (DE). DE populyasiya əsaslı stoxastik optimallaşdırma üsuludur və sürətli konvergensiyası, dayanıqlılığı, həmçinin az sayda idarəetmə parametri ilə seçilir. Bu alqoritm mövcud populyasiya vektorlarının fərqinə əsaslanaraq yeni mutant vektorlar yaradır və axtarış fəzasını həm lokal, həm də qlobal səviyyədə araşdırır. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, DE ilə layihələndirilmiş süzgəclər dayandırma zolağı zəifləməsi və keçid zolağı dalğalanmalarının azaldılması baxımından PSO və bəzi klassik üsullarla müqayisədə daha əlverişli nəticələr verə bilir. Xüsusilə yüksək tezlikli FIR süzgəclərinin optimallaşdırılmasında DE-nin müxtəlif mutasiya strategiyaları ideal tezlik cavabına daha yaxın əmsalların tapılmasına imkan yaradır.

Zərrəciklər Sürücü Optimallaşdırması (PSO). Quş sürülərinin sosial davranışından ilhamlanan bu metod süzgəc əmsallarını çoxölçülü fəzada hərəkət edən "zərrəciklər" kimi qəbul edir. Alqoritm hər bir zərrəciyin şəxsi təcrübəsi və sürünün ümumi ən yaxşı mövqeyi əsasında əmsalları yeniləyir. PSO diferensiallanmayan obyektiv funksiyalarla işləmək baxımından kifayət qədər çevikdir və süzgəcin keçid zolağındakı nümunə dəyərlərini optimallaşdırmaqla dayandırma zolağında daha uyğun zəifləmə əldə etmək üçün istifadə oluna bilər. Optimallaşdırma prosesində real tezlik cavabı ilə hədəf xarakteristika arasındakı yaxınlığı qiymətləndirmək üçün aşağıdakı xəta funksiyasından istifadə olunur:

$$\mathbf{E(x) = \sum_{k=0}^{M} |H_i d_j(\omega_k) - H(x, \omega_k)|}$$

Burada $\mathbf{H_i d_j(\omega_k)}$ ideal amplitud-tezlik xarakteristikasını, $\mathbf{H(x, \omega_k)}$ isə optimallaşdırılmış əmsallar əsasında hesablanmış real cavabı göstərir. **M** seçmə nöqtələrinin sayını ifadə edir. Bu xətanın minimuma endirilməsi süzgəcin bit-səhv dərəcəsinin yaxşılaşdırılmasına və spektral təmizliyin qorunmasına xidmət edir. Buna görə

bu tənlik süzgəcin layihələndirmə keyfiyyətini kəmiyyətcə qiymətləndirmək üçün əsas meyarlardan biri hesab olunur.

Rəqəmsal rabitə sistemlərində sonlu impuls cavablı (FIR) süzgəclərin layihələndirilmə keyfiyyəti siqnalın spektral təmizliyinə və ötürülmə səmərəliliyinə birbaşa təsir göstərir. Pəncərələmə zamanı impuls cavabının kəsilməsi spektral sızma və yan ləçəklərin səviyyəsinin artmasına səbəb olur. Yüksək yan ləçəklər qonşu kanal müdaxiləsini gücləndirir və nəticədə rabitə keyfiyyətini zəiflədir. Bu hal xüsusilə multidaşıyıcılı sistemlərdə daha qabarıq şəkildə özünü göstərir. Süzgəcin dərəcəsi artdıqca tezlik ayırdetmə qabiliyyəti yüksəlir, lakin bunun müqabilində gözləmə müddəti və hesablama gecikməsi də artır. Buna görə layihələndirmə zamanı bu iki amil arasında tarazlıq qorunmalıdır. Xüsusilə 5G ssenarilərində qısa paketli rabitə üçün kəsilmə tezliyinin idarə olunması və süzgəc uzunluğunun optimallaşdırılması spektral effektivlik baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Praktikada 5G, FBMC və GFDM kimi müasir modulyasiya texnologiyalarında spektral effektivliyi artırmaq və bit səhv dərəcəsini minimuma endirmək üçün xüsusi FIR süzgəclərdən istifadə olunur. Müasir rabitə standartlarının sürətli inkişafı proqram təminatı ilə idarə olunan radio və çoxstandartlı iş rejimlərinə uyğunlaşa bilən süzgəc arxitekturalarına tələbatı daha da artırmışdır. Belə sistemlərdə yenidən konfiqurasiya edilə bilən FIR strukturları əmsalların bit dəqiqliyini və tap sayını tətbiqin tələbinə uyğun dəyişməyə imkan verir. Məsələn, CDMA qəbuledicisində ikili PN koduna uyğunlaşdırılmış süzgəc üçün 1 bitlik dəqiqlik kifayət edə bildiyi halda, spektral formalaşdırma üçün 16 bitə qədər dəqiqlik tələb oluna bilər.

ASIC dizaynlarında rəqəm-əsaslı rekonfiqurasiya olunan strukturlar yüksək səmərəlilik nümayiş etdirir. Məsələn, 0.35-μm CMOS texnologiyasında belə bir quruluş 86 MHz sürətində cəmi 16.5 mW enerji sərfiyyatı ilə işləyə bilir. Bu tip dizaynlar süzgəc konfiqurasiyasından asılı olmayan kritik yol təmin etməklə yanaşı, silisium sahəsinə və enerji sərfiyyatına da ciddi qənaət etməyə imkan verir.FPGA platformalarında isə Paylanmış Arifmetika metodu vurma bloklarına ehtiyacı aradan qaldıraraq yüksək ötürücülük qabiliyyəti yaradır. Bu texnika bit-ardıcıl işləyir və vurma-toplama əməliyyatlarını axtarış cədvəlləri vasitəsilə yerinə yetirir. LUT-ların ölçüsü süzgəc dərəcəsi ilə eksponensial artdığı üçün yaddaş resurslarına qənaət məqsədilə onların bölünməsi üsulundan istifadə olunur. Təkmilləşdirilmiş DA strukturları Carry Look-Ahead əsaslı toplayıcı ağacından istifadə etməklə mövcud quruluşlarla müqayisədə 42% daha az xana və 40% daha az LUT flip-flop cütlüyü tələb edir. Bu isə yüksək aparat səmərəliliyi formalaşdırır.

Belə süzgəclər siqnalın ötürmə mühitinə uyğunlaşdırılması, maneələrin aradan qaldırılması və kanal ekvalizasiyası kimi prosesləri təmin etdiyinə görə rəqəmsal siqnal emalında mühüm yer tutur.

FIR süzgəc layihələndirmə üsullarının təhlili göstərir ki, metod seçimi sistemin hesablama gücü, spektral dəqiqlik və aparat resursları arasındakı qarşılıqlı güzəştlərdən (trade-off) birbaşa asılıdır. Pəncərələmə metodu ən aşağı hesablama mürəkkəbliyinə malik olduğu üçün resursları məhdud olan sadə tətbiqlər və real zamanlı siqnal emalı üçün əlverişlidir; lakin bu metodda kəsilmə tezliyi və zolaq dalğalanmaları üzərində dəqiq nəzarətin olmaması, həmçinin yan ləçəklərin səviyyəsinin yüksək olması qonşu kanal müdaxiləsinə (ACI) səbəb ola bilər. Parks–McClellan alqoritmi isə Remez mübadilə alqoritmindən istifadə edərək minimax xəta kriteriyasına əsaslanır və verilmiş süzgəc dərəcəsi üçün ən kəskin keçid zolağını təmin edir. Baxmayaraq ki, bu alqoritm mürəkkəb riyazi iterasiyalar tələb edir, o, yüksək dəqiqlikli spektral formalaşdırma tələb olunan sistemlərdə ən optimal həll hesab olunur.

Aparat effektivliyi nöqteyi-nəzərindən, süzgəcin strukturu (birbaşa və ya transpozisiya) kritik yolun uzunluğuna və enerji sərfiyyatına fundamental təsir göstərir. Transpozisiya forması birbaşa forma ilə müqayisədə daha qısa kritik yola malikdir və yüksək sürətli əməliyyatlar üçün daha uyğundur, lakin daha böyük giriş tutumuna malik ola bilər. Vurmasız dizaynlar, xüsusilə Kanonik Simvolik Rəqəmsal (CSD) kodlaşdırma və SPT təmsili, sıfırdan fərqli rəqəmlərin sayını minimuma endirərək silisium sahəsində 40%-ə qədər, enerji sərfiyyatında isə ciddi qənaət əldə etməyə imkan verir. FPGA platformalarında Paylanmış Arifmetika (DA) metodu vurma bloklarını axtarış cədvəlləri (LUT) ilə əvəz edərək aparat səmərəliliyini artırır; təkmilləşdirilmiş DA strukturları ənənəvi MAC blokları ilə müqayisədə 42% daha az xana və 40% daha az LUT flip-flop cütlüyü tələb edir.

Praktik rabitə sistemlərində, xüsusilə 5G və multidaşıyıcılı modulyasiya texnologiyalarında, süzgəclərin proqram təminatı ilə idarə olunan radio (SDR) tələblərinə uyğun olaraq yenidən konfiqurasiya edilə bilməsi mühüm şərtdir. Diferensial Təkamül (DE) və Zərrəciklər Sürücü Optimallaşdırması (PSO) kimi təkamül

alqoritmləri diskret əmsallar fəzasında qlobal minimumu tapmaqda klassik metodlardan daha üstündür və bit səhv dərəcəsinin (BER) minimuma endirilməsində yüksək stabillik nümayiş etdirir. Nəticə etibarilə, sadə tətbiqlər üçün pəncərələmə, spektral təmizlik və kəskin keçid üçün Parks–McClellan, aparat resurslarına maksimum qənaət və çeviklik üçün isə CSD əsaslı vurmasız dizaynlar və bölüşdürülmüş LUT-lara malik DA metodu daha səmərəli yanaşmalar kimi qəbul edilməlidir.

Nəticə. Rəqəmsal rabitə sistemlərində sonlu impuls cavablı (FIR) süzgəclərin tətbiqi, onların daxili rəy mexanizminin olmaması sayəsində təmin edilən mütləq sabitlik və bütün tezlik diapazonunda qorunan dəqiq xətti faza xarakteristikası baxımından kritik əhəmiyyət daşıyır. Aparılan təhlillər və müqayisəli araşdırmalar göstərir ki, rəqəmsal süzgəc dizaynında optimal metodun seçilməsi birbaşa hesablama mürəkkəbliyi, silisium sahəsi və enerji səmərəliliyi arasındakı qarşılıqlı güzəştlərdən (trade-off) asılıdır. Klassik Parks–McClellan alqoritmi spektral dəqiqlik və kəskin keçid zolağı təmin etmək baxımından ən səmərəli metod olsa da, mürəkkəb riyazi iterasiyalar tələb etdiyi üçün aparat reallaşdırılması zamanı yüksək resurs sərfi ilə nəticələnir.

Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, vurmasız (multiplierless) arxitekturaların, xüsusilə Kanonik Simvolik Rəqəmsal (CSD) kodlaşdırmanın və Paylanmış Arifmetika (DA) metodunun tətbiqi rəqəmsal modulyasiya qurğularında enerji sərfiyyatına ciddi qənaət etməyə imkan verir. CSD təmsili əmsallardakı sıfırdan fərqli rəqəmlərin sayını minimuma endirərək qismən məhsulların miqdarını, DA strukturları isə vurma əməliyyatını axtarış cədvəlləri (LUT) ilə əvəz edərək aparat yükünü əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. 5G və proqram təminatı ilə idarə olunan radio (SDR) kimi müasir rabitə standartları süzgəclərin müxtəlif modulyasiya sxemlərinə çevik uyğunlaşmasını tələb edir ki, bu da rəqəm-əsaslı (digit-based) yenidən konfiqurasiya edilə bilən strukturların tətbiqini zəruri edir. Belə strukturlar 86 MHz sürətində cəmi 16.5 mW enerji sərfiyyatı ilə işləyərək yüksək səmərəlilik nümayiş etdirir.

Bundan əlavə, təbiətdən ilhamlanan təkamül alqoritmlərinin, xüsusilə Diferensial Təkamülün (DE) süzgəc əmsallarının diskret axtarış fəzasında tapılmasında klassik Parks-McClellan və PSO metodlarından daha üstün olduğu, bit-səhv dərəcəsini (BER) minimuma endirmək və dayandırma zolağındakı dalğalanmaları stabilləşdirmək baxımından daha əlverişli nəticələr verdiyi təsdiq edilmişdir. Nəticə etibarilə, rəqəmsal süzgəclərin layihələndirilməsində hibrid optimallaşdırma alqoritmlərinin və ultra-aşağı enerjili ASIC strukturlarının inkişaf etdirilməsi rəqəmsal rabitənin ümumi effektivliyini və spektral təmizliyini daha da yüksəltmək potensialına malikdir. Gələcək tədqiqatların məhz bu hibrid yanaşmaların avtomatlaşdırılmış layihələndirmə sistemlərinə inteqrasiyası üzərində cəmləşməsi perspektivli hesab olunur.

Ədəbiyyat

1. Aksoy, L., Flores, P., & Monteiro, J. (2014). A Tutorial on Multiplierless Design of FIR Filters: Algorithms and Architectures. Circuits, Systems, and Signal Processing, 33(6), 1689–1719. https://doi.org/10.1007/s00034-013-9727-8

2. Amin, S. (2018). FIR Digital Filter with Various Optimization Techniques. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR), 5(10), 339–364.

3. Chen, K. H., & Chiueh, T. D. (2006). A Low-Power Digit-Based Reconfigurable FIR Filter. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 53(8), 617–621. https://doi.org/10.1109/TCSII.2006.875314

4. Hossain, K., Ahmed, R., Haque, M. A., & Rahman, M. T. (2021). A Review of Digital FIR Filter Design in Communication Systems. International Journal of Science and Research (IJSR), 10(2), 126–145.

5. Jiang, L., Zhang, H., Cheng, S., Lv, H., & Li, P. (2020). An Overview of FIR Filter Design in Future Multicarrier Communication Systems. Electronics, 9(4), 599. https://doi.org/10.3390/electronics9040599

6. Kaur, P., & Singh, B. (2016). Differential Evolution Method for the Optimal Design of Digital High Pass FIR Filter. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 4(15), 311–338.

7. Kim, H. (1996). Canonical Signed Digit Study. Part II: FIR Digital Filter Simulation Results. NASA Technical Memorandum 107335, 1–46.

8. Kumm, M., Volkova, A., & Filip, S. I. (2018). Design of Optimal Multiplierless FIR Filters. arXiv preprint, arXiv:1810.05031, 1–12.

9. Naik, N. S., & Gupta, K. (2015). An Efficient Reconfigurable FIR Digital Filter Using Modified Distribute Arithmetic Technique. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 5(6), 152–156.
10. Storn, R., & Price, K. (1997). Differential Evolution: A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces. Journal of Global Optimization, 11(4), 341–359. https://doi.org/10.1023/A:1008202821328

ADAPTIVE TRAFFIC MANAGEMENT IN 5G NETWORKS THROUGH THE INTEGRATION OF MEC AND SDN TECHNOLOGIES

Narmin Mursalova
Baku Engineering University
E-mail: nmurselova2@std.beu.edu.az

Abstract: This article investigates adaptive traffic management models in 5G networks by integrating Mobile Edge Computing (MEC) and Software-Defined Networking (SDN) technologies. The work addresses the critical need for ultra-low latency and efficient resource utilization in applications such as Tactile Internet, VR, Industrial IoT, and massive IoT, where traditional cloud architectures fail due to latency and overload issues. The proposed solutions include an intelligent core architecture, the REx platform for automated application placement and migration using a genetic algorithm, dynamic EPC reconfiguration algorithms, and a specialized MEC offloading model for video hosting services. Key results demonstrate a 30% reduction in service failure probability under high session load, up to 27% decrease in transport network load, and up to 99.9% peak load reduction on video hosting channels/servers. The developed methods and platform provide practical recommendations for planning service-oriented 5G networks with integrated edge computing.
Keywords: 5G Networks, Mobile Edge Computing (MEC), Software-Defined Networking (SDN), Intelligent core, Adaptive Traffic Management.

Introduction. The rapid evolution of fifth-generation (5G) networks demands flexible architectures capable of delivering ultra-low latency and high reliability for emerging services such as Tactile Internet, interactive gaming, virtual reality, Industrial IoT, and massive-scale Internet of Things (IoT) applications. Traditional centralized cloud computing cannot satisfy these stringent requirements due to fundamental physical limitations (e.g., speed of light) and the risk of core network overload caused by enormous data volumes generated by IoT devices. The concept of Mobile Edge Computing (MEC), standardized by ETSI, enables local processing close to the end-user, rapid network reconfiguration, and optimal resource placement, while Software-Defined Networking (SDN) provides programmable, centralized control over traffic and infrastructure [2]. Their integration forms the foundation for service-based architecture (SBA) and intelligent core principles, making MEC a critical enabler for the smooth transition from 4G to 5G with minimal additional investment [2].

Although extensive research exists on 5G networks, edge computing, and traffic offloading algorithms, the design of network structures optimized for ultra-low latency applications, seamless application migration without service interruption, traffic-forecast-based migration mechanisms, and fully intelligent core implementation still remain open challenges [1].

The purpose of this article is to present effective methods and models for constructing prospective 5G networks that satisfy the requirements of the intelligent core concept and service-based architecture through synergistic

use of MEC and SDN technologies. To achieve this, the work analyzes service architecture demands and key application scenarios, develops a network construction method based on MEC, proposes traffic offloading techniques, creates SDN-based intelligent core mechanisms, and introduces a centralized platform (REx) for managing edge nodes and application placement/migration [1].

The article is structured as follows: it first examines the features of distributed computing in 5G, then presents methods for building next-generation networks with an intelligent core, describes the intelligent edge management system, and finally develops a specialized mathematical model for MEC application offloading in video hosting services. The obtained results provide practical recommendations for planning and deploying service-oriented 5G networks with integrated edge computing capabilities.

Research method. To solve the formulated problem of adaptive traffic management in 5G networks, the study employed a comprehensive set of methods: analytical modeling, mathematical statistics, probability theory, optimization techniques, empirical modeling, testbed (real/natural) experiments, and simulation modeling [1]. Analytical and mathematical models were constructed for SDN-based networks accounting for memory nodes in routing rules, traffic behavior in MEC systems, intelligent core architectures tolerant to application migration, and a specialized model for MEC application offloading tailored to video hosting services. Simulation experiments were performed using the Matlab and Wolfram Mathematica software packages to conduct numerical analysis, evaluate simplified scenarios, and assess system performance under different load conditions [1].

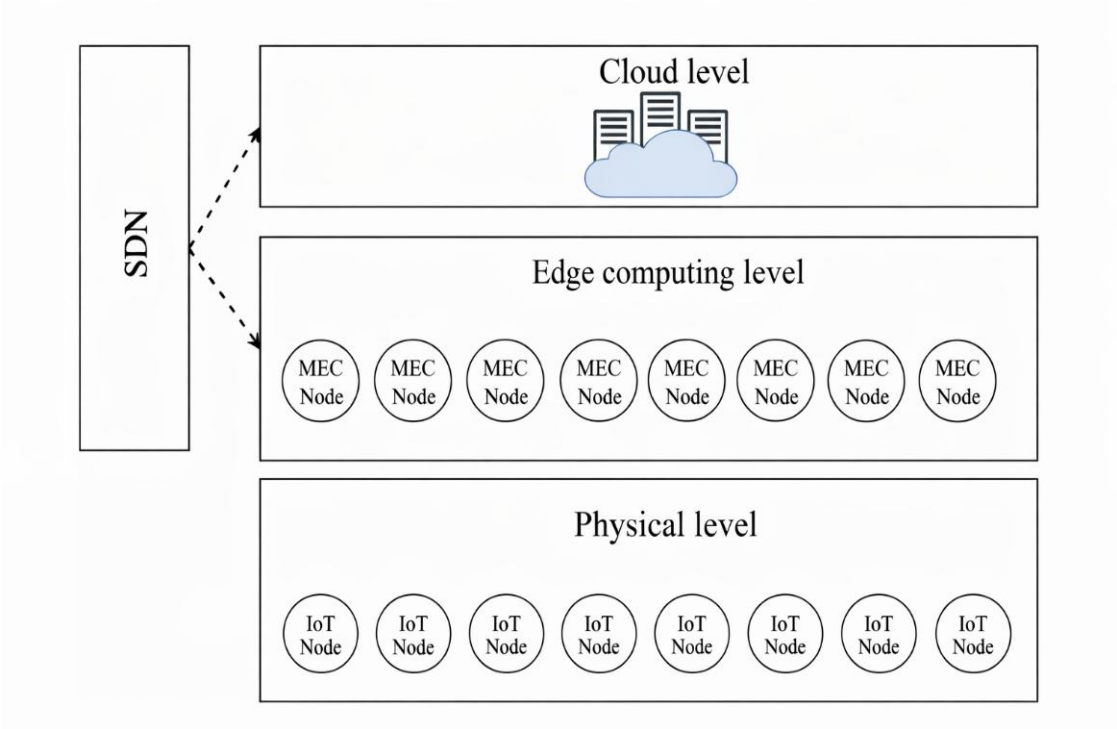


Figure 1. Three-level interaction scheme for SDN

Real-world validation was carried out through physical testbed experiments on a model 5G network. This included deployment and testing of the REx platform (Resource Exchange platform) with its genetic algorithm for automatic application distribution and migration across MEC nodes, dynamic EPC reconfiguration algorithms based on SDN/NFV, integrated MEC segment deployment in 5G architecture, and practical offloading of applications (including migration without service interruption and traffic-forecast-based mechanisms). Experiments measured key metrics such as session handling under high loads (e.g., 14,000 sessions), transport network channel utilization, end-to-end delay, service failure probability, and peak-load impact on video hosting servers/channels.

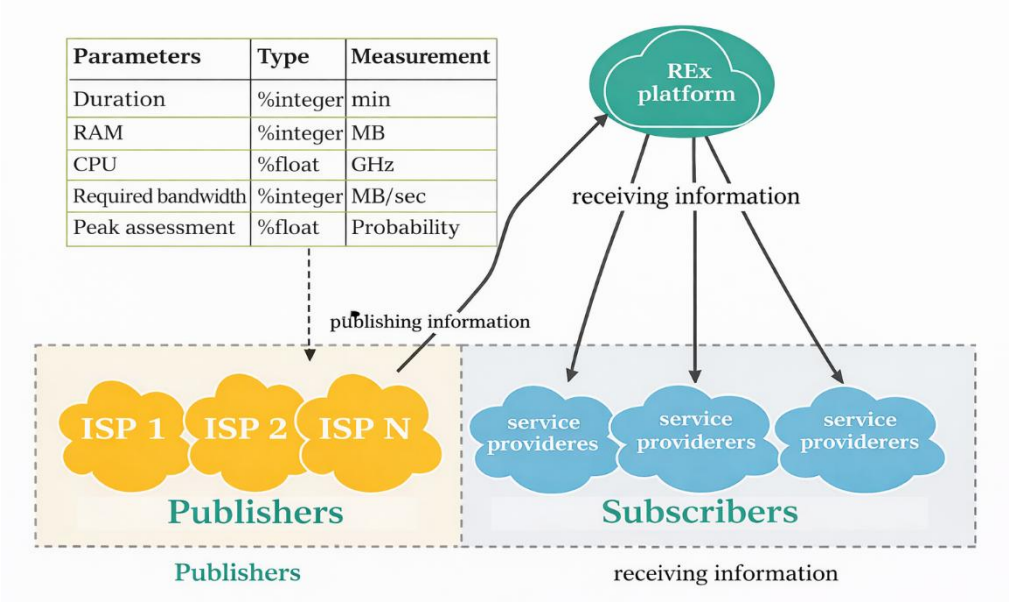


Figure 2. Interaction REx platform elements

The REx platform can operate in two different modes: on-demand placement and automatic mode [1]. Regarding the on-demand placement mode, the service provider independently selects the MEC host where the application will be placed. In this case, the REx platform only provides information about available MEC hosts (their location, current load, available resources, etc.) and does not make decisions on placement. The service provider makes the final decision based on its own criteria and preferences.

In the automatic mode, the REx platform independently selects the optimal MEC host for placing the application using a genetic algorithm. The choice is made based on multiple criteria: minimizing latency, maximizing resource utilization efficiency, minimizing hosting cost, and ensuring load balancing across MEC nodes.

The transition between modes is carried out by the service provider through the REx client interface. In both modes, the REx platform monitors the state of the application after placement and can initiate migration if necessary (for example, due to increased load on the MEC host or deterioration of QoS parameters).

The obtained experimental results — including quantitative reductions in failure probability, network load, and server/channel utilization — were derived directly from measurements on the testbed setups and comparative analysis in simulation environments, confirming the behavior of the proposed models and algorithms under realistic 5G conditions.

The network operator is the owner of the network infrastructure where MEC hosts are located. The service provider is the operator that provides digital services, represented in the form of cloud computing. The REx platform provider is the operator that provides the services of the REx platform. The REx platform facilitates the exchange of digital services between the service provider and the network operator [1].

MEC is a computing system with Docker software installed at the network edge for hosting digital services.

The REx architecture consists of the REx client and the REx server (Figure 3):

1. The REx server is installed in the data center of the REx platform provider.

2. The REx client is installed in the infrastructure of the network operator and the service provider: a. It connects via a standard API to the OSS/BSS of the network operator. b. It connects via a standard API to the service provider's management system.

The cloud service provider supplies the service as well as the space in which the service can be placed and delivered. The telecommunications network operator serves as the backbone of the system and consists of a set of various telecommunications nodes on which MEC nodes can be installed. In this work, for the purposes of

simulation modeling, the network operator's network is divided into seven zones, each equipped with its own MEC node.

Finally, the independent REx platform ensures data exchange between the service provider and the network operator. These data can be divided into three different types:

- the cost of hosting the service in the edge cloud,
- the time required to place the service in the edge cloud,
- the resources occupied by the service in one edge cloud module, such as RAM, CPU, bandwidth, and storage (ROM).

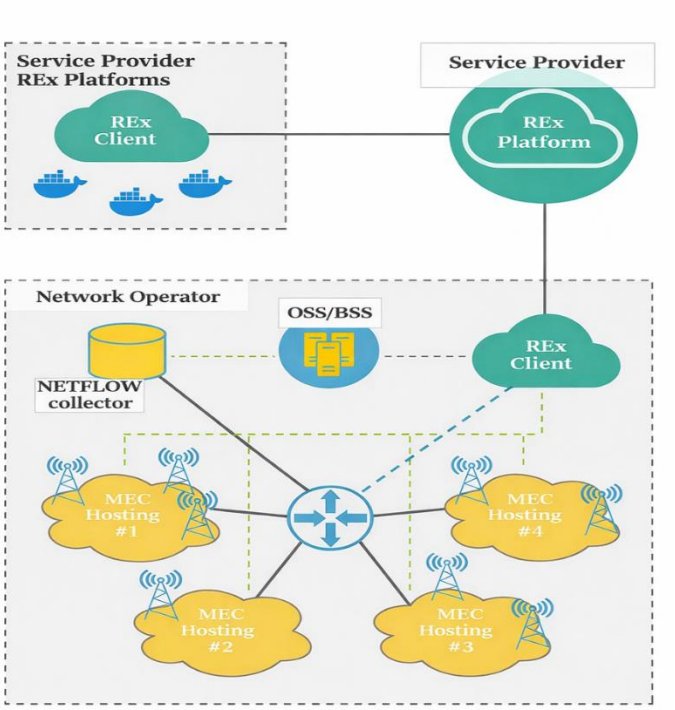


Figure 3. Schematic diagram of a network with an integrated REx platform

Conclusion. In this work, models and methods for adaptive traffic management in fifth-generation networks were developed and investigated based on the integration of MEC and SDN technologies. The obtained results ensure compliance with the requirements of the intelligent core concept and service-based architecture.

The developed method for building next-generation networks based on the intelligent core reduces the overall probability of service failure by 30% under a load of 14,000 sessions. The intelligent system for managing edge computing in fifth-generation networks provides optimal offloading of services to edge devices, which reduces the load on transport network channels by 27% in the example considered in the work. The model and method for offloading MEC applications for video hosting services achieve a reduction of up to 99.9% in the load on the communication channel and video hosting server for each individual application during peak load [1].

A model was developed that meets the requirements of the service-based network architecture and differs from known solutions by the presence of integrated edge computing nodes. An autonomous application migration mechanism was created that ensures low session loss and error probability and operates without interruption of service. A migration method was developed that uses traffic forecasting for its operation. A method for selecting a 5G/SDN network architecture with an edge computing system was proposed that minimizes the average end-to-end delay across the entire network [1].

References

1. A. A. Khakimov, "Razrabotka i issledovanie modeley adaptivnogo upravleniya trafikom v setyakh pyatogo pokoleniya" [Development and investigation of models for adaptive traffic management in fifth-generation networks], Candidate of Technical Sciences dissertation, Saint Petersburg State University of Telecommunications named after prof. M. A. Bonch-Bruevich, Saint Petersburg, Russia, 2022.
2. ETSI, "MEC in 5G networks," ETSI White Paper No. 28, 2018. [Online].
3. A. S. A. Muthanna et al., Various works on MEC, SDN, and 5G integration.
4. A. E. Kucherjavy, E. A. Kucherjavy, R. V. Kirichka et al., Contributions to ultra-low latency networks.
5. Recommendation Y.3300 Framework of Software-defined networking. ITU-T, Geneva. – June 2014.
6. Babayev, S. et al. (2024, November 21–22). Prospects for the application of nanotechnology in the military sector. In Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference (Vol. 3, pp. 14–15). Baku–Kharkiv–Bielsko-Biala.

EDGE COMPUTING FOR LOW-LATENCY APPLICATIONS IN 5G NETWORKS

Narmin Mursalova
Baku Engineering University
E-mail: nmurselova2@std.beu.edu.az

Abstract: The rapid development of fifth-generation (5G) communication networks require new approaches to data processing and traffic management. Many modern applications, such as the Tactile Internet, Internet of Things (IoT), virtual reality, and industrial automation, demand extremely low latency and high reliability. Traditional cloud computing architectures are often unable to meet these requirements due to delays caused by centralized data processing. Mobile Edge Computing (MEC) has emerged as a key technology for addressing these challenges. By deploying computational resources closer to end users at the edge of the network, MEC reduces transmission delays and improves overall network performance. Edge computing also allows more efficient traffic distribution and reduces the load on the core network infrastructure. This article examines the role of edge computing in supporting low-latency applications in 5G networks. The study analyzes the architecture of Mobile Edge Computing, its integration with 5G network infrastructure, and its importance for modern communication services. The results demonstrate that the use of edge computing significantly improves service quality, reduces network latency, and enables the implementation of advanced real-time applications in next-generation mobile networks.
Keywords: 5G networks, Mobile Edge Computing, Edge computing architecture, Low-latency communication, Internet of Things, Tactile Internet, Real-time services, Network infrastructure.

Introduction. The rapid development of telecommunication technologies has led to the emergence of fifth-generation (5G) networks, which provide significantly improved data transmission speed, reliability, and service flexibility. One of the main requirements of 5G systems is the ability to support applications that demand extremely low latency and high processing efficiency.

Modern services such as the Tactile Internet, virtual reality, interactive gaming, and the Industrial Internet of Things require very fast data processing and response times. In traditional cloud architectures, data is transmitted to distant data centers for processing, which introduces delays and reduces service quality.

To address this issue, the concept of Mobile Edge Computing (MEC) has been proposed. Edge computing enables processing of data closer to the end users by placing computing resources at the edge of the network.

This allows faster data processing and reduces the load on the central cloud infrastructure. According to the dissertation, the use of edge computing is essential for ensuring the efficient operation of 5G networks and supporting modern real-time services.

Research method. The research methodology used in this study is based on theoretical analysis, mathematical modeling, and simulation of 5G communication networks with integrated edge computing technologies. The objective of the research is to analyze how Mobile Edge Computing (MEC) can reduce latency and improve the performance of modern 5G network applications.

The Multi-access Edge Computing (MEC) architecture, standardized by the European Telecommunications Standards Institute, enables cloud computing capabilities at the edge of mobile networks.

At the top layer of the architecture, the Operations Support System (OSS) plays a central role in managing and orchestrating network services. It interacts with other components through standardized interfaces such as Mm1 and Mm8, enabling coordination with the MEC orchestration system.

The Mobile Edge Orchestrator (MEO) is responsible for the overall orchestration of MEC resources across multiple edge hosts. It manages the lifecycle of MEC applications and ensures optimal resource allocation. The orchestrator communicates with the OSS via the Mm1 interface and with the Mobile Edge Platform Manager through the Mm3 interface.

The User Application Lifecycle Management (LCM) Proxy acts as an intermediary between user applications and the MEC management system. It enables users or third-party applications to request MEC services and manage application lifecycles through interfaces such as Mm8 and Mm9.

The architecture also includes external entities such as the Customer-Facing Service (CFS) Portal and UE Applications (UE App). The CFS portal provides an interface for customers to access MEC services, while UE applications represent end-user applications that interact with MEC services via the network.

At the edge level, the Mobile Edge Host is a key component that provides the physical and virtual infrastructure required to run MEC applications. It consists of the Virtualization Infrastructure, which includes compute, storage, and networking resources, and the Data Plane, which ensures efficient traffic forwarding.

Within the Mobile Edge Host, the Mobile Edge Platform (MEP) provides a runtime environment for MEC applications. It includes several functional components such as the Service Registry, which enables service discovery, Traffic Rules Control, which manages traffic routing, and DNS Handling, which supports domain name resolution for edge services. The MEP communicates with MEC applications via the Mp1 interface and with the underlying infrastructure via the Mp2 interface.

The MEC Applications (ME Apps) are deployed on the Mobile Edge Host and provide various edge services such as video processing, augmented reality, and IoT analytics. These applications interact with the Mobile Edge Platform through standardized interfaces.

The Mobile Edge Platform Manager (MEPM) is responsible for managing MEC applications and the Mobile Edge Platform. It includes functions such as ME Platform Element Management, ME Application Rules and Requirements Management, and ME Application Lifecycle Management. The MEPM communicates with the Mobile Edge Orchestrator via the Mm3 interface and with the Virtualization Infrastructure Manager via the Mm6 interface.

The Virtualization Infrastructure Manager (VIM) controls and manages the virtualized resources within the Mobile Edge Host. It ensures efficient allocation of compute, storage, and networking resources and interacts with the infrastructure via the Mm7 interface.

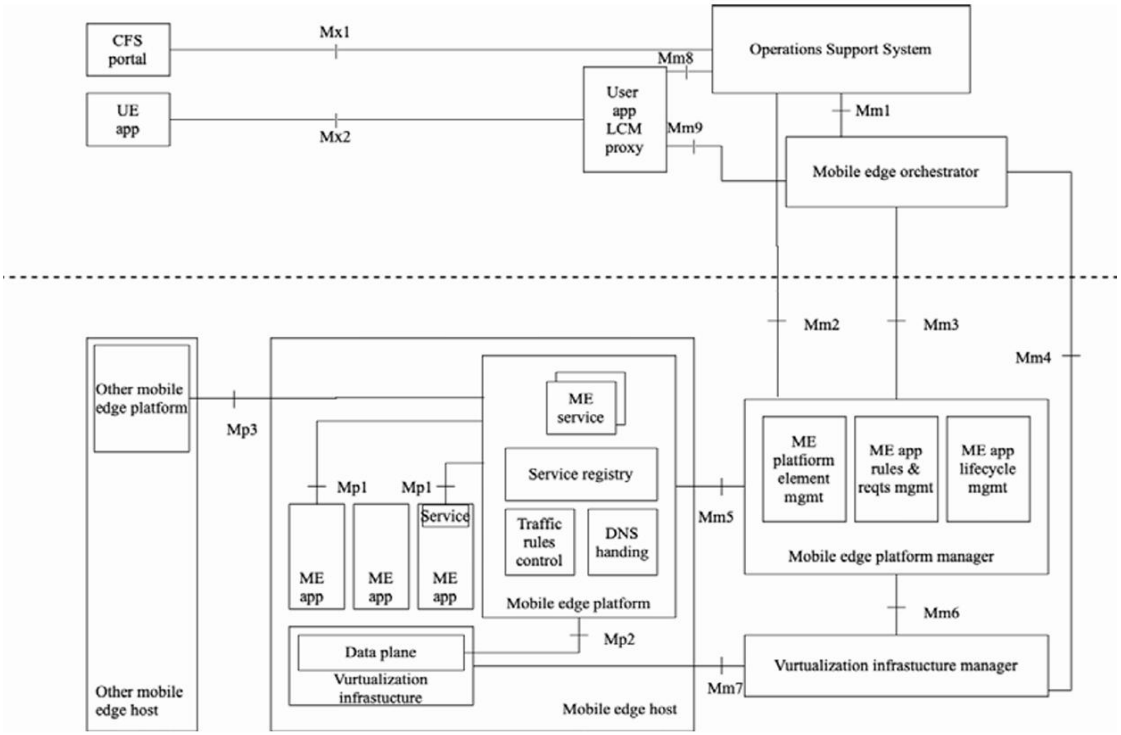


Figure 1. MEC reference architecture (ETSI)

Additionally, the architecture supports interoperability with other Mobile Edge Platforms and Hosts, enabling distributed and scalable deployment of MEC services. These interactions are facilitated through interfaces such as Mp3.

The MEC architecture defines several standardized reference points (interfaces), including:

1. Mx1, Mx2: Interfaces between external applications (CFS portal, UE apps) and the MEC system.
2. Mm1, Mm3, Mm4, Mm6, Mm7, Mm8, Mm9: Management and orchestration interfaces.
3. Mp1, Mp2, Mp3: Platform-level interfaces for application communication, infrastructure interaction, and inter-platform connectivity.

First, a theoretical analysis of distributed computing systems in 5G networks was conducted. Special attention was given to the architecture of Mobile Edge Computing and its role in supporting real-time services. Edge computing allows computational resources to be placed closer to the user, which reduces network latency and improves the responsiveness of applications.

To better understand the interaction between network components, the MEC architecture was analyzed. The reference architecture defined by ETSI shows how MEC servers, applications, and network infrastructure interact within the edge environment.

Figure 1 illustrates the reference architecture of Mobile Edge Computing, where applications are deployed on edge servers located near the network access points. This architecture enables faster data processing and improves service delivery for latency-sensitive applications.

The study also examines the architecture of 5G networks and the integration of edge computing into the network infrastructure. The 5G architecture separates the user plane and control plane, allowing more flexible traffic management and efficient deployment of edge computing services.

Figure 2 presents the simplified architecture of the 5G network defined by 3GPP standards. The architecture includes key components such as User Equipment (UE), Radio Access Network (RAN), User Plane Function

(UPF), and Data Network (DN). These components form the basis for integrating MEC services into the network environment.

To analyze the performance of the proposed approach, mathematical modeling and simulation methods were used. Simulation models allow researchers to study traffic distribution, application deployment, and network load under different operating conditions.

The simulation experiments were conducted using specialized software tools such as Matlab and Wolfram Mathematica, which provide powerful environments for modeling communication networks and analyzing system performance.

The obtained results were evaluated using methods of mathematical statistics, probability theory, and optimization, which made it possible to assess the efficiency of edge computing in reducing network latency and improving the performance of real-time applications in 5G systems.

The fifth-generation (5G) mobile network architecture, standardized by the 3rd Generation Partnership Project, is designed to provide high flexibility, scalability, and efficient service delivery through a service-based architecture (SBA). This architecture consists of the User Equipment (UE), the Radio Access Network ((R)AN), and the 5G Core (5GC), which includes multiple functional entities and standardized interfaces.

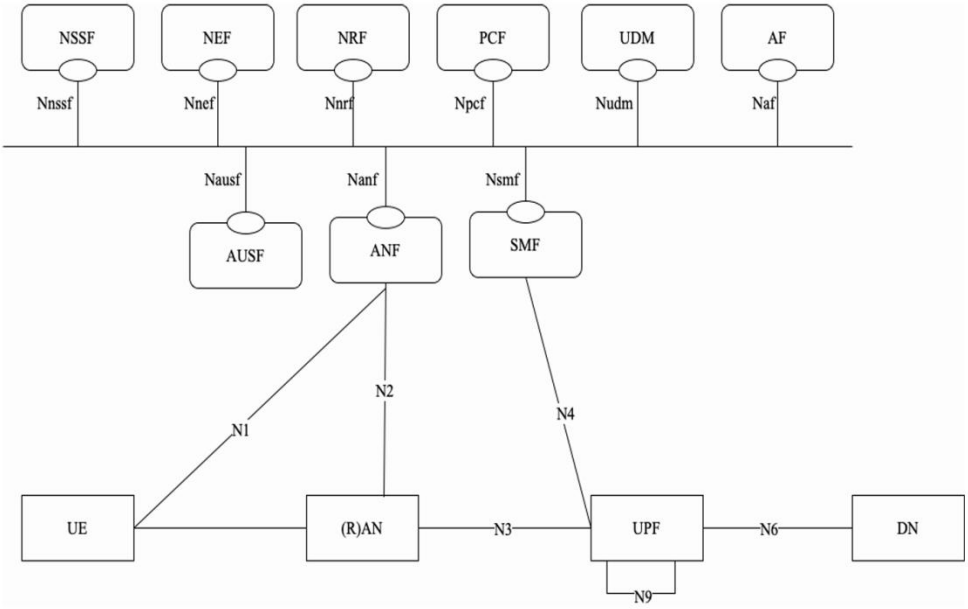


Figure 2. 5G network architecture according to 3GPP

According to the Figure 2 The User Equipment (UE) represents end-user devices such as smartphones, sensors, and IoT devices that access network services. The UE connects to the network via the (Radio) Access Network ((R)AN), which includes 5G base stations (gNodeB). The (R)AN is responsible for radio communication, initial data processing, and forwarding both control and user plane traffic to the core network.

The 5G Core Network (5GC) is composed of several network functions, each responsible for specific tasks. The Access and Mobility Management Function (AMF) manages user registration, connection, and mobility. The Session Management Function (SMF) is responsible for session establishment, modification, and release, as well as IP address allocation and selection of the User Plane Function.

The User Plane Function (UPF) handles data packet forwarding between the (R)AN and external networks, ensuring efficient routing and quality of service (QoS) enforcement. The Authentication Server Function (AUSF) performs user authentication in cooperation with the Unified Data Management (UDM), which stores subscriber-related data such as authentication credentials and service profiles.

Policy control and service rules are managed by the Policy Control Function (PCF), while the Network Repository Function (NRF) enables service discovery by maintaining a registry of available network functions. The Network Slice Selection Function (NSSF) allows dynamic selection of network slices based on service requirements, enhancing resource utilization.

The architecture also includes the Network Exposure Function (NEF), which provides secure interfaces for exposing network services to external applications, and the Application Function (AF), which can influence network behavior such as traffic routing and policy enforcement. Additionally, the Access Network Function (ANF) supports interactions between the access network and the core network in certain implementations.

The Data Network (DN) represents external networks such as the Internet or private enterprise systems, where user data is ultimately transmitted.

Communication within the 5G architecture is enabled through standardized interfaces. The N1 interface connects the UE to the AMF for control signaling, while the N2 interface links the (R)AN to the AMF. The N3 interface carries user data between the (R)AN and the UPF. The N4 interface connects the SMF and UPF for control of user plane functions. The N6 interface provides connectivity between the UPF and external data networks, and the N9 interface enables communication between multiple UPFs.

Furthermore, the service-based architecture introduces a set of service interfaces (e.g., Nnssf, Nnef, Nnrf, Npcf, Nudm, Naf, Nausf, Nsmf, Nanf), allowing network functions to communicate via standardized APIs. This approach enhances modularity, interoperability, and cloud-native deployment of 5G networks.

Conclusion. The results of the research demonstrate the effectiveness of integrating edge computing technologies into 5g communication networks. the use of mobile edge computing allows computational resources to be placed closer to the end users, which significantly improves the performance of latency-sensitive applications.

Simulation experiments were conducted to analyze the behavior of the proposed network architecture under different traffic conditions. the results show that the integration of edge computing and intelligent network control mechanisms improves the efficiency of traffic processing and reduces network congestion.

One of the key results presented in the dissertation is the development of a method for constructing next-generation communication networks based on an intelligent core network. the proposed method makes it possible to reduce the overall probability of service failure by approximately 30% under conditions of high network load.

Another important result is related to the management of edge computing systems in 5g networks. the proposed intelligent system for managing edge computing nodes allows services to be optimally distributed between network elements. this approach significantly reduces the load on the transport network channels and improves the efficiency of resource utilization.

Experimental studies also show that the implementation of application offloading mechanisms to edge nodes can significantly reduce network traffic and processing delays. by distributing applications closer to users, the network can handle large volumes of data generated by ıot devices and other modern services more efficiently.

The results confirm that the use of edge computing technologies together with modern network architectures significantly improves the performance of 5g communication systems and enables the deployment of new real-time services.

References

1. Babayev, S. et al. (2024, November 21–22). Prospects for the application of nanotechnology in the military sector. In Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference (Vol. 3, pp. 14–15). Baku–Kharkiv–Bielsko-Biala.
2. Hasanov, A. H. et al. (2024). The strategic role of special forces in modern conflicts.
3. Hashimov, E. et al. (2026). RESEARCH OF THE EFFICIENCY MULTISERVICE NETWORKS USING MIMO TECHNOLOGY. Advanced Information Systems, 10(1), 66-71.

4. Khalilov, A. I. et al. (2020, June). Modeling microwave signals transmitted through a rectangular waveguide. In 2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF) (pp. 1-5). IEEE.
5. Mammadov, E. V. et al. (2025). Eco-innovations and sustainable development in the military sector in the face of contemporary challenges. Current directions of development of information and communication technologies and control tools, 1, 126-127.
6. Islamov, I., & Humbataliyev, E. (2022). General approaches to solving problems of analysis and synthesis of directional properties of antenna arrays. Advanced Electromagnetics, 11(4), 22-33.

QUANTUM TECHNOLOGY-BASED INFORMATION SECURITY SYSTEMS IN OPTICAL COMMUNICATION NETWORKS

Oruj Hummatov
Baku Engineering University
E-mail: ohummatov@beu.edu.az

Bayram Ibrahimov
Azerbaijan Technical University
E-mail: i.bayram@mail.ru

Abstract: Escalating advances in quantum computing represent a structural threat to the cryptographic frameworks that underpin global optical communication infrastructure. This article investigates quantum-based mechanisms for securing optical networks, with particular emphasis on Quantum Key Distribution (QKD) as the primary countermeasure. The study examines both discrete-variable (DV-QKD) and continuous-variable (CV-QKD) protocol families - spanning the canonical BB84 scheme, the entanglement-driven E91 approach, and the recently demonstrated Twin-Field QKD (TF-QKD) architecture — in terms of their underlying physical assumptions and operational characteristics. Channel-level constraints governing fiber-optic QKD, including photon attenuation, quantum bit error rate (QBER) accumulation, and phase coherence degradation, are analyzed for their implications on achievable secure key throughput. Strategies for multiplexing quantum signals with conventional wavelength-division-multiplexed (WDM) traffic over shared fiber plant, including multi-core fiber configurations, are evaluated against experimental benchmarks. The paper critically addresses fundamental constraints — notably the Pirandola-Laurenza-Ottaviani-Banchi (PLOB) rate-distance bound, the absence of deployable quantum repeaters, and device-level side-channel exposures — along with a review of major global field trials and experimental milestones through 2025. The complementary role of post-quantum cryptography (PQC) within hybrid security architectures is assessed. Overall findings indicate that QKD, when combined with PQC-based authentication, constitutes the most tractable near-term pathway to unconditionally secure optical communication that is robust against both conventional and quantum-capable adversaries.
Keywords: quantum key distribution, optical communication security, BB84 protocol, twin-field QKD, quantum bit error rate, post-quantum cryptography, fiber optic networks, photonic integration.

Introduction. The operational security of contemporary digital infrastructure is anchored in the assumed computational intractability of mathematical problems including large-integer factorization and discrete logarithm computation over finite fields. Public-key cryptosystems in widespread deployment - among them RSA, Diffie-Hellman, and Elliptic Curve Cryptography - derive their security guarantees entirely from the premise that no realistic adversary can solve these problems within a feasible time horizon. A fundamental disruption to this premise was established theoretically by Peter Shor in 1994, who demonstrated that quantum computers equipped with a sufficient number of logical qubits could solve both problems in polynomial time, rendering these cryptosystems insecure at scale [1]. Although quantum computers capable of attacking production cryptographic key sizes do not yet exist, the strategic posture known as “harvest now, decrypt later” - whereby adversaries capture and archive ciphertext today for retroactive decryption following future quantum

capability breakthroughs - transforms what might otherwise appear to be a distant risk into an immediate operational concern [2].

Optical fiber networks constitute the dominant physical medium for the global transmission of data, handling an estimated 95% of intercontinental traffic and forming the backbone of national telecommunications infrastructure. The simultaneous maturation of quantum computing and the expansion of ultra-high-bandwidth optical networking creates a compelling imperative to implement quantum-resistant protection mechanisms at the physical transmission layer. Quantum Key Distribution responds to this imperative by shifting the basis of security from computational hardness to empirically verified laws of quantum physics - specifically the no-cloning theorem and the Heisenberg uncertainty principle — neither of which can be circumvented by increased computational power [3].

The fundamental property of QKD that distinguishes it from all classical key establishment schemes is its intrusion-evident character: any attempt by a third party to intercept or measure the quantum signals exchanged during a key distribution session unavoidably perturbs those signals in a statistically detectable manner. This allows communicating parties to obtain a quantified upper bound on the information available to any potential eavesdropper and to either abort the session or apply privacy amplification to reduce residual information leakage to an arbitrarily negligible level [4].

This work presents a comprehensive investigation of quantum technology-based security architectures for optical communication networks, covering the physical foundations of QKD, the landscape of contemporary protocol designs, the technical constraints imposed by real-world fiber infrastructure, the state of global deployment activity through 2025, and the emerging standard of hybrid QKD-PQC security frameworks.

Quantum mechanical foundations of secure communication. The theoretical framework underlying all QKD protocols is grounded in several quantum mechanical principles without classical analogue. Of these, the no-cloning theorem — first formally stated by Wootters and Zurek in 1982 - is operationally the most central: it asserts that no physical process can produce an exact replica of an arbitrary and unknown quantum state [5]. This principle directly prevents a passive eavesdropping strategy in which an adversary captures a quantum signal, duplicates it perfectly, forwards the original undisturbed to the intended receiver, and subsequently measures the copy at leisure. Any interaction with an unknown quantum state necessarily collapses its superposition, modifying the state and imprinting a detectable statistical signature on the transmitted sequence.

The Heisenberg uncertainty principle establishes a fundamental bound on the simultaneous precision with which conjugate observables — such as the position and momentum of a particle, or photon polarization measurements performed in mutually non-commuting bases — can be determined. Applied to QKD, this means that an eavesdropper intercepting photons and measuring them in an incorrect basis will introduce a systematic pattern of errors into the key bit stream, even if they subsequently retransmit substitute photons in an attempt to conceal the interception. The uncertainty principle thus provides a physical, computation-independent mechanism by which eavesdropping activity is converted into detectable statistical anomalies [3].

Quantum entanglement denotes a class of multi-body correlations in quantum systems wherein the state of the composite system cannot be written as a product of the individual subsystem states. Entangled photon pairs exhibit measurement outcome correlations that violate Bell inequalities, confirming that these correlations could not have been pre-established through any local hidden-variable mechanism and cannot be replicated or intercepted by a third party without producing measurable disturbances. This property underpins entanglement-based QKD protocols such as E91, and forms the basis for device-independent security certification [6].

Quantum key distribution protocols. Proposed by Charles Bennett and Gilles Brassard in 1984, BB84 remains the most widely analyzed and commercially deployed QKD scheme [7]. Its operating principle exploits the fact that quantum information encoded in non-orthogonal states cannot be faithfully copied or distinguished with certainty. In the standard polarization-based implementation, the transmitting party (Alice) encodes classical bit values into individual photon polarization states selected at random from two conjugate measurement bases: the rectilinear basis ({0°, 90°}) and the diagonal basis ({45°, 135°}). The receiving party (Bob) performs polarization measurements by independently and randomly selecting one of the two bases for each incoming photon.

After transmission, Alice and Bob discard all events - conducted over an authenticated classical channel — in which they employed incompatible bases; this sifting procedure retains those measurement events where their independent base choices happened to coincide, forming the raw key material. Subsequent classical post-processing comprises two stages: error reconciliation, which corrects discrepancies attributable to channel noise, and privacy amplification, which compresses the reconciled key by an amount determined by the estimated eavesdropper information, yielding a final key whose security can be rigorously quantified [8]. An intercept-and-resend attack applied to all transmitted photons induces a QBER of approximately 25%, substantially above the practical channel noise floor; BB84's security proof establishes that secure key extraction remains feasible up to a QBER threshold of approximately 11%.

Artur Ekert's 1991 proposal established an alternative QKD paradigm grounded in the distribution of entangled photon pairs rather than the transmission of single-photon states prepared by one party [6]. In E91, a source produces entangled pairs whose photons are delivered simultaneously to Alice and Bob, each of whom applies randomly selected polarization measurement settings. The security guarantee is derived not from the no-cloning theorem alone, but from verifying that measurement outcomes satisfy Bell inequality violations on a designated test subset of events. The presence of an eavesdropper who has disturbed the entanglement is revealed through a degradation of these correlations below the Bell inequality threshold. While this device-independent security model provides the strongest theoretical assurances available, practical realization demands high-purity entangled-pair sources and near-unity detection efficiency, conditions that remain technically demanding in deployed environments.

Rather than encoding information in discrete photon-number or polarization degrees of freedom, continuous-variable QKD (CV-QKD) protocols imprint key symbols onto the quadrature amplitudes of coherent or squeezed optical states, which are subsequently recovered via standard homodyne or heterodyne detection receivers [9]. This detection strategy is directly compatible with the coherent optical transceivers already deployed throughout commercial telecom networks, substantially lowering the hardware barrier to integration compared to discrete-variable systems that require cryogenically cooled single-photon detectors. Research reported in 2025 extended CV-QKD operation to distances of 120 km on deployed fiber in the presence of simultaneous classical data traffic at full commercial WDM channel loads, representing a meaningful benchmark for practical co-deployment [10]. Advances in machine learning-assisted parameter estimation and reconciliation coding have further extended the effective range of CV-QKD by improving key extraction efficiency in the high-noise, short-block-size regime [9].

Twin-Field QKD (TF-QKD), introduced by Lucamarini and collaborators in 2018, represents a conceptually distinct departure from prior QKD architectures [11]. All point-to-point QKD protocols are subject to the PLOB bound, which constrains the achievable secret key capacity to scale linearly with channel transmittance and effectively limits practical fiber QKD to a few hundred kilometers without quantum memory-based repeaters. TF-QKD circumvents this ceiling by adopting a relay-like topology in which both Alice and Bob independently transmit phase-encoded weak coherent pulses toward an untrusted central node (Charlie), which performs single-photon interference measurements on the arriving fields. The critical consequence is that the resulting key rate scales with the square root of the end-to-end channel transmittance - equivalent to the performance of an idealized quantum repeater - without requiring quantum memory or cryogenic equipment at any node [12].

In a landmark 2025 demonstration, Toshiba Europe deployed a TF-QKD link spanning 254 km of in-service commercial telecom fiber across three data centers in Frankfurt, Kirchfeld, and Kehl, Germany, using only room-temperature semiconductor components [13]. Active optical path stabilization compensated for thermally induced fiber elongation, maintaining phase coherence throughout the link. This result confirmed the compatibility of coherent quantum communication with live commercial infrastructure. Extensions of the twin-field paradigm - including Phase-Matching QKD (PM-QKD) and Sending-or-Not-Sending QKD (SNS-QKD) - have achieved validated performance at distances exceeding 500 km in controlled laboratory settings.

A distinct class of implementation vulnerabilities, not addressed by the device-independent security proofs of standard QKD, concerns attacks exploiting physical imperfections in Bob's detection hardware. Measurement-Device-Independent QKD (MDI-QKD), proposed by Lo, Curty, and Qi in 2012, eliminates this entire attack

surface by requiring both communicating parties to transmit quantum states toward an untrusted intermediate measurement node, thereby decoupling security from any assumptions about detector behavior [4]. MDI-QKD is particularly well-suited to network deployments in which the physical accessibility of receiving terminals cannot be reliably controlled, or where supply chain integrity of detection hardware is uncertain.

Physical layer constraints in fiber-optic QKD. Propagation loss in standard single-mode fiber amounts to approximately 0.2 dB/km in the 1550 nm telecommunications window, implying that a photon traversing a 100 km link survives to the far end with a probability of roughly 1%. This exponential decay in channel transmittance is the primary factor limiting both the secure key rate and the maximum operating distance of fiber-based QKD systems. At 150 km, a BB84 system equipped with high-efficiency single-photon detectors may sustain secure key generation at kilobit-per-second rates - adequate for many cryptographic keying applications, though insufficient for encrypting high-speed bulk data channels [14]. The PLOB bound formalizes this constraint, setting a fundamental upper limit on secret key capacity as $R \geq -\log_2(1-\eta)$ per channel use, where η is the end-to-end transmittance. TF-QKD surpasses this bound by exploiting single-photon interference between spatially separated parties, achieving the square-root transmittance scaling that represents the effective performance of a single quantum repeater link.

The QBER - defined as the proportion of sifted key bits that are erroneous - serves as the primary diagnostic metric for the joint quality of the quantum channel, transmitter hardware, and detection system. In a BB84 deployment over deployed fiber, the QBER receives contributions from detector dark counts, mechanical-stress-induced polarization drift, thermal fluctuations in optical components, and genuine eavesdropping activity. Distinguishing noise-sourced errors from eavesdropping-induced disturbances requires continuous system calibration and careful statistical hypothesis testing under the finite-key security framework [8]. Operational fiber QKD systems typically maintain QBER values below 5% through active polarization tracking and temperature stabilization. Privacy amplification, applied to the error-corrected sifted key, reduces the eavesdropper's information to a target negligible level while quantifiably reducing the final key length; the amount of compression is determined by the observed QBER and the assumed eavesdropping model.

A necessary condition for commercially viable QKD deployment is the capacity to share fiber infrastructure with the high-power conventional WDM signals that dominate current optical network traffic. The intense optical fields associated with classical DWDM channels generate spontaneous Raman scattering and cross-phase modulation noise that can couple into the quantum channel and elevate the QBER to operationally unacceptable levels. Spatial separation of quantum and classical signals is the most effective mitigation strategy. In 2025, a joint demonstration achieved simultaneous QKD operation and 110.8 Tb/s classical data transmission over a 25.2 km segment of in-service multi-core fiber with a standard 125 μm cladding diameter, with the quantum channel isolated to a dedicated fiber core [15]. Separate experiments confirmed coexistence of CV-QKD with classical traffic over 120 km of standard single-mode fiber [10].

Implementation challenges and security vulnerabilities. QKD security proofs are formulated for mathematically idealized device models characterized by perfect single-photon sources and unit-efficiency measurements. Real hardware consistently deviates from these conditions, introducing attack surfaces absent from theoretical analyses. The most consequential class of practical attacks targets receiver-side detection hardware. Detector blinding attacks, in which a continuous-wave optical flood temporarily saturates single-photon avalanche diodes and reduces them to intensity-threshold detectors whose responses can be fully controlled by an adversary through precisely timed bright trigger pulses, have been experimentally demonstrated against multiple commercial QKD products [4]. Additional threat vectors include time-shift attacks that exploit efficiency mismatches between detector channels, and photon-number-splitting attacks against imperfect attenuated-laser sources lacking ideal single-photon statistics. Countermeasures include gated detection architectures, photon-number-resolving detectors, real-time monitoring photodiodes, decoy-state source protocols, and the architectural elimination of detector vulnerabilities through MDI-QKD design.

The non-existence of deployable quantum repeaters constitutes the single most significant systemic barrier to global QKD network expansion. In classical optical networking, erbium-doped fiber amplifiers and electronic regenerators restore signal integrity at regular intervals, enabling transcontinental and transoceanic links of arbitrary length. The no-cloning theorem categorically prohibits an analogous operation for quantum signals; a

quantum state cannot be amplified through measurement and retransmission without irreversible information loss. Quantum repeaters overcome this through entanglement swapping and quantum error correction across multiple elementary links, but practical implementations require quantum memories with coherence times extending to seconds and entanglement generation rates orders of magnitude beyond current experimental demonstrations [12]. In the interim, trusted-relay architectures - in which key material is classically decrypted and re-encrypted at intermediate nodes - extend the geographic reach of QKD at the cost of requiring physical security at every relay site. TF-QKD variants represent the most technically mature near-term bridge between today's direct-transmission QKD and future repeater-enabled quantum networks. The European Quantum Communication Infrastructure (EuroQCI) initiative, confirmed by the European Space Agency and the European Commission in early 2025, plans a hybrid terrestrial fiber and satellite quantum network offering continental coverage [16].

Conventional QKD hardware - built around bulk optical components, superconducting nanowire single-photon detectors (SNSPDs) operating at cryogenic temperatures, and precision polarization-maintaining fiber assemblies — has historically been characterized by high unit cost, substantial power consumption, and deployment complexity that have confined adoption to government and financial sector applications. The emergence of photonic integrated circuit (PIC) platforms, notably thin-film lithium niobate (TFLN) waveguide technology, offers a pathway to miniaturizing QKD transmitters and receivers onto chip-scale devices with dramatically lower fabrication costs [17]. In 2025, TFLN-based on-chip QKD systems demonstrated secure key generation over field-deployed fiber at distances exceeding 150 km, achieving performance comparable to bulk-optic systems [17]. Market analysis projects the commercial QKD user base to grow from approximately 1,000 enterprises in 2025 to over 3,000 by 2030, driven by demand from financial institutions, government agencies, and critical infrastructure operators [16].

Post-quantum cryptography and hybrid security architectures. QKD addresses the key distribution layer of communication security but does not, in itself, constitute a complete security solution. A critical limitation is that QKD protocols lack built-in mechanisms for authenticating the quantum channel parties: in the absence of a pre-shared authentication key, a man-in-the-middle attacker could impersonate both Alice and Bob simultaneously to each other. Classical public-key authentication protocols are themselves vulnerable to quantum attack, creating a dependency chain that requires resolution. Post-quantum cryptography (PQC) - the development of classical cryptographic algorithms founded on mathematical problems considered hard for quantum computers, such as lattice-based problems, hash-based constructions, and code-based cryptosystems - addresses this dependency without requiring quantum hardware [2].

In March 2025, NIST finalized its initial suite of PQC standards, including ML-KEM (CRYSTALS-Kyber) for key encapsulation and ML-DSA (CRYSTALS-Dilithium) for digital signatures, providing standardized interoperable primitives suitable for deployment alongside QKD systems [16]. A hybrid architecture combining QKD for key material generation with PQC for entity authentication and backup encryption provides a layered defense: it withstands adversaries capable of breaking classical public-key cryptography, while also providing a fallback cryptographic layer that compensates for potential QKD hardware vulnerabilities or implementation errors. Experimental systems integrating QKD-generated session keys with PQC authentication within TLS 1.3 handshakes over optical fiber have been demonstrated, delivering quantum-resistant security at the transport layer [18]. Analytical studies comparing authentication overhead from CRYSTALS-Dilithium and RAINBOW signature schemes within BB84-based QKD pipelines have shown that Dilithium introduces authentication overhead of approximately 0.5% of the QKD key generation rate at a QBER of 8%, outperforming RAINBOW at higher security parameter levels [19].

Global field trials and deployment evidence. Early large-scale metropolitan QKD deployments - including the Tokyo QKD Network established in 2010 and the Vienna SECOQC network - provided the first systematic engineering lessons regarding multi-vendor QKD network management, key relay topologies, and the operational challenge of maintaining stable quantum channels across deployed fiber subject to diurnal temperature cycles, vibration, and maintenance-induced perturbations [15]. These deployments established the foundational operational practices that subsequent commercial QKD network designs have built upon.

The 2025 Toshiba Europe demonstration of TF-QKD across 254 km of commercial telecom fiber - spanning three operational data centers in Germany using room-temperature semiconductor sources and standard fiber -

established a new benchmark for field-deployable quantum communication distance [13]. The system relied on active optical path stabilization to counteract thermal expansion effects on fiber length, a technique now considered essential for coherence-based QKD over metropolitan and regional distances. The German QuNET project complemented this by demonstrating a heterogeneous quantum network integrating urban fiber segments with free-space optical links, enabling QKD connectivity to mobile platforms including research aircraft and providing a template for extending quantum security to environments where fiber installation is impractical [20].

Satellite platforms offer a route to intercontinental QKD coverage that bypasses the fundamental attenuation limitations of ground-based fiber over global distances. Free-space channels exhibit lower effective loss per kilometer than fiber at intercontinental scales because attenuation is dominated by diffraction and atmospheric effects rather than material absorption. The Micius satellite program, launched in 2016 by the Chinese Academy of Sciences, achieved the first intercontinental QKD exchange between ground stations separated by thousands of kilometers. Building on these results, Thales Alenia Space and Hispasat initiated development in January 2025 of a geostationary orbit QKD payload intended for integration into the EuroQCI satellite segment, which aims to deliver quantum-secured connectivity to European critical infrastructure [16].

Comparative performance analysis. The achievable performance of QKD systems in optical fiber networks is governed by a multidimensional set of hardware, protocol, and channel variables. Table I provides a structured comparison of the principal performance characteristics of the QKD protocol families analyzed in this paper.

Table 1. Comparative Performance of QKD Protocol Families in Optical Fiber Deployments

Protocol	Security Foundation	Max. Field Distance	Typical Key Rate	Infrastructure Compatibility
BB84 (DV-QKD)	No-cloning theorem; non-orthogonal state encoding	~150 km (SMF)	~100 kbps at 50 km	Requires single-photon detectors; polarization control essential
E91 (Entanglement)	Bell inequality violation; device-independent model	~100 km (lab)	~10 kbps at 50 km	Entangled-pair source; high detection efficiency required
CV-QKD	Gaussian modulation of coherent states; homodyne detection	~120 km (with classical coexistence)	~10 Mbps at 25 km	Compatible with standard telecom hardware and coherent receivers
MDI-QKD	Untrusted central measurement; detector-attack immune	~200 km (telecom fiber)	~10 kbps at 100 km	No trusted receiver node; higher deployment complexity
TF-QKD	Single-photon interference; PLOB-bound surpassing	>500 km (lab); 254 km (commercial field)	~1 kbps at 254 km	Standard telecom fiber; no quantum memory needed

The trade-offs evident in Table 1 reflect a consistent pattern: extending the achievable secure transmission distance requires accepting a lower key generation rate. For high-throughput applications within metropolitan

network segments (sub-100 km), BB84 and CV-QKD implementations offer the most favorable balance of key rate and infrastructure compatibility. Inter-city backbone segments demanding distances from 100 to 300 km are best addressed by TF-QKD, whose square-root transmittance scaling sustains finite key rates at distances previously considered impractical. MDI-QKD is the protocol of choice for deployments in which the physical integrity of the receiving terminal cannot be assured, accepting lower achievable key rates in exchange for comprehensive detector-side security guarantees.

Conclusion. This paper has provided a systematic analysis of quantum technology-based information security frameworks for optical communication networks, covering the fundamental quantum mechanical principles that enable QKD, the operational characteristics and engineering constraints of the primary protocol families, the state of international field deployment through 2025, and the emerging framework of hybrid QKD-PQC security architectures.

Several principal conclusions emerge from this study. QKD currently represents the only established mechanism for key distribution with information-theoretic security guarantees that are independent of an adversary's computational capabilities. The PLOB rate-distance bound constitutes the binding physical constraint on repeaterless fiber QKD, and TF-QKD's single-photon interference architecture is the most technically mature mechanism for surpassing this bound, as confirmed by the 2025 field demonstration over 254 km of commercial infrastructure. The feasibility of integrating QKD with high-capacity classical WDM traffic over shared fiber plant - including multi-core fiber carrying 110.8 Tb/s - has been experimentally validated, resolving one of the principal concerns regarding the practical deployability of optical QKD.

Device-level implementation vulnerabilities, particularly those affecting single-photon detection hardware, remain a significant security consideration not captured by idealized protocol proofs; MDI-QKD and device-independent architectures provide systematic architectural mitigations. The finalization of NIST PQC standards in 2025 enables the deployment of well-defined hybrid QKD-PQC frameworks that provide defense in depth against both quantum-capable and classical adversaries. The ongoing development of photonic integrated circuit-based QKD hardware and satellite-based quantum communication infrastructure suggests that the field is entering a phase of scalable, cost-effective deployment. Network operators and security architects face a finite window for proactive investment in quantum-safe optical infrastructure; the accumulated research and commercial evidence of the 2024-2025 period confirms that this investment is warranted and increasingly technically feasible.

References

[1] P. W. Shor, "Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring," Proc. 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, IEEE, 1994, pp. 124-134.

[2] D. J. Bernstein and T. Lange, "Post-quantum cryptography," Nature, vol. 549, pp. 188-194, 2017.

[3] H. K. Lo, M. Curty, and K. Tamaki, "Secure quantum key distribution," Nature Photonics, vol. 8, pp. 595-604, 2014.

[4] H. K. Lo, M. Curty, and B. Qi, "Measurement-device-independent quantum key distribution," Physical Review Letters, vol. 108, no. 13, 2012.

[5] W. K. Wootters and W. H. Zurek, "A single quantum cannot be cloned," Nature, vol. 299, pp. 802-803, 1982.

[6] A. K. Ekert, "Quantum cryptography based on Bell's theorem," Physical Review Letters, vol. 67, no. 6, pp. 661-663, 1991.

[7] C. H. Bennett and G. Brassard, "Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing," Proc. IEEE Int. Conference on Computers, Systems and Signal Processing, Bangalore, India, 1984, pp. 175-179.

[8] R. Renner, "Security of quantum key distribution," International Journal of Quantum Information, vol. 6, no. 1, pp. 1-127, 2008.

[9] M. Motaharifar, M. Hasani, and H. Kaatuzian, "A survey on continuous variable quantum key distribution for secure data transmission: Toward the future of secured quantum-networks," arXiv preprint arXiv:2506.21640, 2025.

[10] A. A. E. Hajomer et al., "Coexistence of continuous-variable quantum key distribution and classical data over 120-km fiber," arXiv preprint arXiv:2502.17388, 2025.
[11] M. Lucamarini, Z. L. Yuan, J. F. Dynes, and A. J. Shields, "Overcoming the rate-distance limit of quantum key distribution without quantum repeaters," Nature, vol. 557, pp. 400-403, 2018.
[12] S. M. A. Anis et al., "Twin-field quantum key distribution: Protocols, security, and open problems," arXiv preprint arXiv:2510.26320, 2025.
[13] M. Pittaluga et al., "Demonstration of twin-field quantum key distribution over 254 km of deployed standard telecom fiber," Nature, 2025. DOI: 10.1038/s41586-025-09045-2
[14] W. Luo et al., "A silicon photonic chip-based system for 2.5-GHz quantum key distribution," Optical Fiber Communication Conference (OFC), 2024, paper Th2A.9.
[15] A. A. E. Hajomer et al., "Integration of quantum key distribution and high-throughput classical communications in field-deployed multi-core fibers," Light: Science & Applications, 2025. DOI: 10.1038/s41377-025-01982-z
[16] Juniper Research, "QKD in 2025: Innovations, challenges, and the path to adoption," Technical Report, 2025.
[17] H. Heo et al., "On-chip quantum key distribution over field-deployed fiber using lithium niobate photonic circuit," APL Photonics, vol. 10, no. 3, 2025.
[18] C. Rubio Garcia et al., "Integrating quantum key distribution into TLS 1.3: A transport layer approach to quantum-resistant communications in optical networks," Optical Fiber Communication Conference (OFC), 2024, paper Th3B.3.
[19] H. Djeddi et al., "Quantum authentication evolution: Novel approaches for securing quantum key distribution," PMC Open Access, 2024.
[20] M. Goy et al., "Ad-hoc hybrid-heterogeneous metropolitan-range quantum key distribution network," New Journal of Physics, 2025. DOI: 10.1088/1367-2630/ae1864.

AĞILLI ŞƏHƏRLƏRDƏ ELEKTRON TULLANTILARIN EFFEKTİV İDARƏ EDILMƏSI: ENERJİ VƏ MAŞINQAYIRMA SEKTORUNDA IOT YANAŞMASI

Ədhəm Baharov
Bakı Mühəndislik Universiteti
E-mail: abaharov@beu.edu.az

Xülasə: Bu tədqiqatda ağıllı şəhər yanaşması çərçivəsində enerji və maşınqayırma sektorlarında elektron tullantıların idarə olunmasında IoT texnologiyalarının tətbiqi araşdırılmışdır. IoT əsaslı sistemlər vasitəsilə sənaye avadanlıqlarının monitorinqi və tullantıların effektiv idarə olunması mümkün olur. Araşdırma göstərir ki, bu texnologiyanın tətbiqi tullantıların azaldılması, enerji səmərəliliyinin artırılması və davamlı inkişafın təmin olunması baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.
Açar sözlər: Elektron tullantılar, E-waste, enerji sektoru, maşınqayırma, IoT, ağıllı şəhər, sensor sistemləri, sənaye tullantıları, optimallaşdırma.

Giriş. Son illərdə sənaye və texnologiya sahəsində baş verən inkişaflar enerji və maşınqayırma sektorlarında elektron avadanlıqların istifadəsini əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır. Bu avadanlıqların istismar müddəti bitdikdə və ya texniki baxımdan köhnəldikdə elektron tullantılar yaranır. Elektron tullantılar yalnız məişət

cihazları ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda sənaye sistemlərində istifadə olunan yüksək texnoloji komponentləri də əhatə edir.

Enerji sektorunda transformatorlar, sensor sistemləri, idarəetmə panelləri və digər elektron qurğuların köhnəlməsi nəticəsində tullantılar yaranır. Maşınqayırma sahəsində isə CNC dəzgahları, avtomatlaşdırma sistemləri və robot texnologiyalarının elektron komponentləri bu tullantıların əsas mənbələrindəndir. Bu tullantılar tərkibində zərərli maddələr daşıdığı üçün ətraf mühitə ciddi təsir göstərir.

Ənənəvi tullantı idarəetmə üsulları sənaye miqyasında yaranan bu problemlərin həllində kifayət qədər effektiv deyil. Bu səbəbdən müasir texnologiyaların tətbiqi zəruri hesab olunur. Ağıllı şəhər konsepsiyası çərçivəsində IoT texnologiyalarının tətbiqi tullantıların idarə olunmasında yeni imkanlar yaradır. IoT texnologiyası vasitəsilə sənaye avadanlıqlarının vəziyyəti real vaxt rejimində izlənilə bilər. Bu, avadanlıqların nasazlığının əvvəlcədən müəyyən edilməsinə və onların vaxtında dəyişdirilməsinə imkan yaradır. Beləliklə, həm tullantıların yaranması azalır, həm də istehsal prosesində fasilələr minimuma endirilir.

Metodologiya. Bu tədqiqatda enerji və maşınqayırma sektorlarında elektron tullantıların idarə olunması üçün IoT texnologiyalarına əsaslanan metodologiya təklif olunur.

Birinci mərhələdə IoT əsaslı monitorinq sistemi qurulur. Bu sistemdə sənaye avadanlıqlarına yerləşdirilmiş sensorlar vasitəsilə temperatur, enerji sərfiyyatı və texniki vəziyyət haqqında məlumatlar toplanır. Bu məlumatlar mərkəzi idarəetmə sisteminə ötürülərək analiz edilir.

İkinci mərhələdə məlumatların emalı həyata keçirilir. Toplanan məlumatlar filtrasiya olunaraq səs-küydən təmizlənir və analiz üçün uyğun formata salınır. Üçüncü mərhələdə tullantıların müəyyən edilməsi və idarə olunması prosesi həyata keçirilir. IoT sistemləri vasitəsilə avadanlıqların istifadə müddəti izlənilir və onların vaxtında yenilənməsi təmin edilir.Dördüncü mərhələdə optimallaşdırma həyata keçirilir. Enerji sərfiyyatı və logistika prosesləri analiz edilərək tullantıların toplanması və idarə olunması daha səmərəli şəkildə təşkil olunur.

Nəticə. Aparılan tədqiqat göstərir ki, enerji və maşınqayırma sektorlarında elektron tullantıların idarə olunması müasir dövrdə mühüm problemlərdən biridir. IoT texnologiyalarının tətbiqi bu sahədə effektiv və davamlı həll yolları təqdim edir.

IoT sistemləri vasitəsilə avadanlıqların vəziyyəti izlənilir, tullantıların yaranması azaldılır və idarəetmə prosesi optimallaşdırılır. Bu yanaşma nəticəsində enerji səmərəliliyi artır, resurslardan daha səmərəli istifadə olunur və ətraf mühitə mənfi təsirlər azalır. Gələcəkdə bu sahədə aparılacaq tədqiqatlar IoT sistemlərinin daha geniş tətbiqinə və sənaye miqyasında inteqrasiyasına yönəlməlidir. Bu isə ağıllı şəhərlərdə davamlı inkişafın təmin olunmasına mühüm töhfə verəcəkdir.

ƏDƏBIYYAT

1. Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. Computer Networks, 54(15), 2787–2805.
2. Alqahtani, F., Al-Makhadmeh, Z., Tolba, A., & Said, W. (2020). Internet of Things-based urban waste management system for smart cities using a Cuckoo search algorithm. Cluster Computing, 23(3), 1769–1780.
3. Ali, T., Irfan, M., Alwadie, A. S., & Glowacz, A. (2020). IoT-based smart waste bin monitoring and municipal solid waste management system for smart cities. Arabian Journal for Science and Engineering, 45(12), 10185–10198.
4. Rahman, M. W., Islam, R., Hasan, A., et al. (2020). Intelligent waste management system using deep learning with IoT. Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, 34(5), 2072–2087.
5. Sheng, T. J., Islam, M. S., Misran, N., et al. (2020). An IoT-based smart waste management system using LoRa and deep learning. IEEE Access, 8, 148793–148811.
6. Kang, K. D., Kang, H., Ilankoon, I. M. S. K., & Chong, C. Y. (2020). Electronic waste collection systems using IoT: Household e-waste management in Malaysia. Journal of Cleaner Production, 252, 119801.
7. Hannan, M. A., Arebey, M., Basri, H., & Begum, R. A. (2010). Intelligent solid waste bin monitoring and management system. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4(10), 5314–5319.

SÜNİ İNTELLEKT VASİTƏSİLƏ YAŞIL VƏ ALTERNATİV ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN İDARƏ OLUNMASI

Nərgiz Xəlilova
Qarabağ Univeristeti
Email: nargiz.mehdiyeva@karabakh.edu.az

Nurlan Cümşüdov
Qarabağ Universiteti
Email: nurlan.cumshidov@karabakh.edu.az

Xülasə: Müasir enerji sektorunda əsas çağırışlardan biri enerji istehsalının səmərəliliyini artırmaq və ekoloji təsiri minimuma endirməkdir. Süni intellekt (AI) texnologiyaları bu istiqamətdə geniş tətbiq imkanlarına malikdir. Bu məqalədə AI-nin yaşıl və alternativ enerji mənbələrinin idarə olunmasında rolu, enerji istehsalının optimallaşdırılması, tələb-təklif balansının proqnozlaşdırılması, enerji itkilərinin azaldılması və resursların optimal istifadəsi məsələləri ətraflı təhlil edilmişdir. Məqalədə həmçinin beynəlxalq təcrübələr və gələcək perspektivlər də müzakirə olunur. Nəticələr göstərir ki, AI enerji sistemlərinin avtomatlaşdırılmasında, səmərəliliyin artırılmasında və davamlı inkişafın təmin edilməsində mühüm rol oynayır.
Açar sözlər: süni intellekt, yaşıl enerji, alternativ enerji, enerji səmərəliliyi, davamlı inkişaf.

Giriş. Enerji, bəşəriyyətin sosial-iqtisadi və texnoloji inkişafında əsas amillərdən biridir. XXI əsrin əvvəlindən başlayaraq, əhalinin sürətli artımı, urbanizasiya prosesinin genişlənməsi və sənaye sektorunun sürətlə inkişafı enerji tələbatını əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır. Ənənəvi enerji mənbələri olan neft, kömür və təbii qaz isə məhdud ehtiyatlara malikdir və onların intensiv istifadəsi ciddi ekoloji problemlərə, o cümlədən karbon emissiyalarının artmasına, havanın çirklənməsinə və iqlim dəyişikliyinə səbəb olmuşdur.
Bunun nəticəsində qlobal miqyasda enerji təhlükəsizliyi məsələsi daha aktuallaşmışdır. Enerji istehsalının davamlı, dayanıqlı və ekoloji cəhətdən təmiz yollarla təmin edilməsi üçün alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafı strateji prioritet halına gəlmişdir. Günəş, külək, hidro və bioenerji sistemləri bu istiqamətdə əsas rol oynayır. Lakin bu sistemlərin əsas məhdudiyyəti onların dəyişkən və qeyri-sabit xarakteridir. Məsələn, günəş enerjisi yalnız günəşli günlərdə maksimal hasilat verir, külək enerjisi isə küləyin sürətinə və istiqamətinə bağlıdır. Bu dəyişkənlik enerji şəbəkəsinin stabil işləməsini çətinləşdirir və istehsal-proqnoz balansını pozur.
Son illərdə süni intellekt texnologiyaları enerji sektorunda inqilabi dəyişikliklər yaratmışdır. AI alqoritmləri enerji istehsalını daha səmərəli planlaşdırmaq, real vaxt rejimində turbin və panellərin optimallaşdırılmasını təmin etmək, enerji şəbəkələrində yük balansını qorumaq və enerji ehtiyatlarını optimal bölüşdürmək üçün geniş tətbiq olunur. Belə texnologiyalar yalnız texniki səmərəliliyi artırmır, həm də iqtisadi baxımdan enerji layihələrinin rentabelliyini yüksəldir və ekoloji cəhətdən davamlı enerji istehsalına şərait yaradır.
Bundan əlavə, beynəlxalq təcrübələr göstərir ki, süni intellektin tətbiqi enerji istehsalının proqnozlaşdırılması və idarə olunmasında böyük üstünlüklər təmin edir. Məsələn, Avropa və Asiya ölkələrində AI əsaslı idarəetmə sistemləri günəş və külək stansiyalarının performansını artırır, ABŞ-da Tesla Energy böyük həcmli batareya sistemlərinin optimal idarə olunmasını təmin edir.
Bu giriş göstərir ki, süni intellekt yalnız texniki prosesləri optimallaşdırmır, həm də bərpa olunan enerji sistemlərinin iqtisadi cəhətdən səmərəli və ekoloji baxımdan təhlükəsiz olmasına mühüm töhfə verir. Nəticədə, AI-nin yaşıl və alternativ enerji mənbələrinin idarə olunmasında rolu tədqiqat və tətbiq sahəsində prioritet məsələ olaraq qalır.
Metodologiya. Bu məqalədə süni intellektin tətbiqi müxtəlif alqoritmlər əsasında təhlil edilmişdir:
1. Maşın öyrənməsi (ML) – Hava şəraiti, radiasiya, külək sürəti və su axını kimi verilənlərin proqnozlaşdırılması.
2. Dərin öyrənmə (DL) – Neyron şəbəkələri vasitəsilə böyük verilənlər toplusundan daha dəqiq nəticələrin əldə edilməsi.
3. Reinforcement Learning (Gücləndirmə öyrənməsi) – Real vaxtda panellərin və turbinlərin mövqeyinin optimallaşdırılması.
4. Genetik alqoritmlər – Parametrlərin optimallaşdırılması ilə enerji istehsalının maksimumlaşdırılması.

5. Qeyri-səlis məntiq (Fuzzy Logic) – Yüklərin idarə olunması və ehtiyatların bölüşdürülməsində tətbiq edilir.

Məlumat toplanması həm real sensorlardan, həm də tarixi verilənlər bazalarından həyata keçirilir. AI modelləri enerji istehsalının proqnozlaşdırılmasını, enerji paylanmasını və ehtiyatların optimallaşdırılmasını təmin edir.

Süni intellektin tətbiqi

Günəş enerjisi

1. AI vasitəsilə panel bucaqları avtomatik tənzimlənir.
2. Radiasiya və hava şəraiti proqnozlaşdırılır.
3. Nəticədə enerji hasilatı 10–20% artır.

Külək enerjisi

1. Turbin bucağı və generator yükləri AI ilə idarə olunur.
2. Aerodinamik itkilər 12%-ə qədər azalır.
3. Smart grid sistemləri ilə inteqrasiya enerji balansını təmin edir.

Hidroenerji

1. Su səviyyəsi və axın sürəti AI vasitəsilə optimallaşdırılır.
2. Enerji istehsalının stabilliyi 15% artır.

Bioenerji

1. Yanacaq tərkibi və istehsal prosesləri optimallaşdırılır.
2. Enerji səmərəliliyi artır və tullantılar azalır.

Beynəlxalq təcrübələr və tətbiqlər

- Almaniya: Smart grid və AI ilə idarə olunan günəş və külək stansiyaları enerji balansını qoruyur.
- Çin & Hindistan: AI texnologiyaları külək və günəş stansiyalarının səmərəliliyini artırır.
- ABŞ: Tesla Energy böyük həcmli batareya sistemlərinin idarə olunmasında AI-dən istifadə edir.
- Bu təcrübələr enerji itkilərini minimuma endirir, iqtisadi fayda təmin edir və ekoloji təsiri azaldır.

Diskussiya və perspektivlər

Süni intellekt enerji sektorunda sabitliyi artırır və davamlı inkişaf məqsədlərinə nail olunmasına töhfə verir. AI texnologiyaları:

1. Enerji hasilatını proqnozlaşdırır və optimallaşdırır.
2. Resursların səmərəli istifadəsini təmin edir.
3. Şəbəkə balansını qoruyur və enerji itkisini azaldır.

Gələcəkdə kvant hesablama texnologiyalarının inteqrasiyası, beynəlxalq məlumat mübadiləsi və AI əsaslı idarəetmə sistemlərinin geniş tətbiqi enerji təhlükəsizliyini və ekoloji balansı daha da gücləndirəcək.

Nəticə. Süni intellekt yaşıl və alternativ enerji mənbələrinin idarə olunmasında əsas rol oynayır. AI enerji hasilatını optimallaşdırır, resurs istifadəsini səmərəli edir və karbon emissiyalarını azaldır. Böyük həcmli verilənlərin AI vasitəsilə işlənməsi enerji sektorunun gələcək inkişafı üçün kritik əhəmiyyət daşıyır.

Ədəbiyyat

1. IEA (International Energy Agency). World Energy Outlook 2024. Paris, 2024.
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. Deep Learning. MIT Press, 2016.
3. Ahmad, T., & Zhang, D. Artificial Intelligence in Renewable Energy Systems, Energy Reports, 2023.
4. Li, X., et al. Machine Learning Applications in Smart Grids, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022.
5. Azərbaycan Respublikası Energetika Nazirliyi. Yaşıl Enerji Strategiyası 2030. Bakı, 2023.
6. REN21. Renewables 2023 Global Status Report. Paris, 2023.
7. DeepMind & National Grid UK. Machine Learning Applications in Wind Power Forecasting. London, 2021.
8. Tesla Energy Reports. AI-based Battery Management Systems. Sydney, 2022.

APPLICATIONS AND FUTURE PROSPECTS OF SYNTHESIZING ADVANCED COMPOSITE MATERIALS FOR USE IN OVERVOLTAGE LIMITING DEVICES

Aydan Aghayeva
Baku Engineering University
E-mail:
aagayeva10@std.beu.edu.az

Ulkar Rahimli
Baku Engineering University
E-mail: urehimli@std.beu.edu.az

Fidan Abdulkarimova
Baku Engineering University
E-mail:
fabdulkerimova@std.beu.edu.az

Abstract: Modern high-voltage applications require materials with adjustable electrical, mechanical, and surface characteristics. In overvoltage-limiting devices, especially in ZnO-based varistor composite materials with polymer matrix, there is a significant influence of the quality of interfaces and homogeneity of internal structures on their properties. This paper discusses a comparative-analytical study of composite varistor systems and investigates the influence of such electric processes as plasma, corona, dielectric barrier, and torch discharges on improvement of interface properties and dielectric characteristics. The effects of the use of electric field-assisted technologies on altering electrical properties of composites are also considered. It is stated that weak interfaces cause a no uniform distribution of potential barriers, leakage current increase, and loss of nonlinear characteristics stability. High-voltage electro technological approaches and discharge-based material processing methods have been widely demonstrated as effective tools for surface activation and modification of composite systems. It is found out that surface activation of fillers and discharge treatment after production result in an enhanced surface activity, wettability, and interface adhesion. Thus, a better regulation of charge movement through the interfaces occurs. At the same time, it can be concluded that while enhancing some parameters of dielectrics, electrical strength decreases. Hence, there is a balance between properties that should be taken into consideration during development of composite overvoltage limiters.
Keywords: Composite materials; ZnO varistors; overvoltage limiters; interfacial engineering; electric gas discharge; plasma treatment; dielectric barrier discharge; corona discharge; surface modification; polymer composites.

Introduction. High-voltage electrotechnologies and their application in various technological processes across different fields are currently recognized as a highly relevant and promising scientific direction [1-8]. In this context, the impact of high electric fields and gas discharges on different media leads to the generation of chemically active radicals, high-frequency optical radiation, and ultrasonic mechanical waves [6, 7, 8, 20, 22]. These phenomena create favorable conditions for the processing of materials through energy-efficient and environmentally sustainable methods. It is well established that electro technologies are widely used to enhance the surface energy of composite material components [1, 2, 4, 6, 8].

Composites composed of two or more phases are used in modern electronics to obtain improved properties by means of independent tuning of matrix and filler components [9, 10, 11]. The significance of such materials consists in achieving a synergistic effect related to improvement in mechanical strength, thermal stability, and electrical behavior [10, 11, 13]. In particular, polymers reinforced with particles of ceramic compounds having specific electrical and insulating properties have been developed in order to protect high voltage equipment from overvoltages [15, 24]. ZnO-based varistors are widely used to limit overvoltage due to nonlinear current-voltage dependence providing fast and reliable switching of current in case of high electric field [16, 24]. Thus, varistors provide sufficient stability when operating with high-voltage electricity and are widely applied to limit overvoltage in power engineering.

Nevertheless, despite good insulating properties of polymer-ZnO composites, the overall performance depends greatly on the properties of interfaces and microstructure of the material [14, 15, 16, 24]. Thus, it is essential to improve adhesion of ceramic phase to the matrix in order to provide better performance. Interfacial modification techniques based on the influence of electric discharges can be efficiently applied to obtain improved materials. Such techniques include plasma treatment, corona discharge, dielectric barrier discharge, and torch discharges providing surface functionalization [6, 7, 8, 12, 13, 20, 22]. The application of these

procedures provides a possibility to increase surface energy of polymer films thus promoting adhesion and modification of charge distribution at the surface of the polymer film.

Extensive studies on high-voltage pulse and discharge systems demonstrate that controlled electrical discharge environments can be engineered through specialized pulse installations and protective measures [4,5]. Furthermore, the development of advanced high-voltage barrier discharge reactors enables integrated treatment of dispersed dielectric systems, which is highly relevant for composite synthesis and modification processes [2]. Surface activation of composite materials using non-equilibrium electrical discharges, particularly in torch and plasma regimes, has been shown to significantly modify interfacial properties and energy states of polymer-based systems [6, 7, 8, 20, 21, 23].

However, application of electric discharge treatments has some drawbacks associated with trade-off between different properties of materials treated using these procedures [17, 18, 25]. Improvement in interfacial activity of the filler may result in decreased electrical strength of materials and vice versa. Thus, special attention should be paid to simultaneous modification of all phases of the material in order to ensure optimal performance of composites for overvoltage limitation.

General Description and Materials. This article has been written in a comparative-analytical character type and for this reason it has been written in two main directions [1, 2, 3]. First of all, the composite varistor systems directly used in overvoltage limiters, and finally the comparison of electric gas discharges and activation methods by electric field that can be applied to improve the interfacial properties in those systems have been shown as the main one [1, 2, 4, 6, 8]. As the main used materials, ZnO–polyethylene, ZnO–PVDF (polyvinylidene fluoride) and polymer-ceramic nonlinear resistors are mentioned [8, 9, 10, 11, 16], while as model modification systems CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) type composites, HDPE (High-Density Polyethylene) + BN (Boron Nitride) composites, LDPE (Low-Density Polyethylene) based filled systems and LLDPE (Linear Low-Density Polyethylene) samples activated by electric discharge are chosen more [2, 3, 5, 6, 22, 23].

If we look at these choices, we can see that this is not accidental at all [1, 2]. The first group of materials shows varistor property, that is, when the voltage passes the critical-limit value, their resistance sharply decreases and they play the protective role for the limitation of overvoltage [8, 10, 16, 24]. The other group of materials is used as model systems to evaluate the effect of electric discharges on the surface energy, adhesion, conductivity and dielectric properties of composites [6, 7, 14, 15].

Problems and Proposed Methods. One of the main problems during the use of composite materials in overvoltage limiters is the weakness of the interaction between the matrix - the main material and the filler, that is, the particles added inside it. As a result of this weakness, the filler particles do not distribute evenly inside the composite, the potential barriers are formed non-uniformly, they gather in separate areas and increase local charging, and as a result either the leakage current rises, or the opening voltage and nonlinearity lose their stability [4, 6, 10, 11, 16]. For the effective operation of ZnO based varistors, it is considered important that the internal structure of the material is uniform, the particle sizes are close to each other and the voids inside are few, in other words the porosity is minimum [2, 3, 16, 24]. For this reason, the first proposed method is the surface modification of the filler particles with electric gas discharge plasma before the composite is obtained. In this method, the filler particles are exposed to plasma before being mixed so that they can be treated by electric gas discharge [6,8]. As a result of this treatment, active regions are formed on the surface of the particles, the sorption capacity of the surface increases and as a result the interfacial bond with the polymer matrix becomes stronger [6, 14, 15]. Plasma and discharge-based activation of material surfaces has been widely reported as an effective method for improving interfacial bonding and modifying surface chemistry [1, 6, 7, 8]. In the article “Effects of Electric Discharge Plasma Treatment on the Thermal Conductivity of Polymer–Metal Nitride/Carbide Composites” it has been shown that when the BN filler is treated with electric discharge plasma before preparing the composite, the obtained material becomes relatively better [22]. In the abstract of the article, it is clearly written that after plasma treatment for the HDPE + 70% BN composite, improvement in thermal conductivity and electrophysical, mechanical properties were observed [22]. This result shows that in the composite intended for the overvoltage limiter too, first activating the particle surface may later help to create a more stable conductive or barrier micro-network [22]. The development of high-

voltage barrier discharge reactors for integrated treatment of dielectric and composite systems further confirms the effectiveness of such plasma-assisted modification approaches [2].

The other proposed method is the modification of the surface of the ready composite material by means of electric gas discharges. For this purpose, corona discharge, dielectric barrier discharge and torch discharge methods are used. Corona discharge, dielectric barrier discharge and torch volumetric discharge are generally electric gas discharges used in the surface modification of composite materials [6, 7, 8, 12, 13]. Corona discharge is a relatively weak type of discharge formed in the gas medium under the effect of high voltage before a complete spark occurs and is mainly widely applied for light activation of the surface, cleaning and increasing the adhesion ability [12, 4]. Dielectric barrier discharge is created with the participation of a dielectric layer between the electrodes and therefore provides us with a more controlled, uniform surface treatment that damages the material less [15, 25]. Torch volumetric discharge, compared with the other two methods, gives a stronger effect, is a gas discharge that creates more active particles and functional groups on the surface, but if the regime is not chosen correctly it can also create deformations on the surface [6, 20]. In addition, those discharges are considered effective methods for increasing the surface energy of composites, improving wetting and strengthening adhesion [6, 7, 14, 15]. However, our aim is to improve the surface properties of the composite, to increase the surface energy, to raise the wetting and to create oxygen-containing functional groups on the surface. This in turn causes the strengthening of adhesion both at the electrode-composite and at the matrix-filler boundary. In Elchin Gurbanov's work devoted to the treatment of "CFRP surfaces in torch discharge," it is shown that after treatment in the stationary regime the wetting angle decreases significantly; in the table, after 5 minutes of treatment for CFRP the angle decreases from 38° to 22°, and in the layered composite from 38° to 20° [6, 20]. In that work it has been shown that during the treatment carried out in the constant voltage regime under the conditions of 27 kV and 50 μA, the wetting ability of the composite surface improves significantly at the initial stage and within 100 seconds the cosθ indicator reaches 0.91 [20]. This shows that the surface energy has increased and at the same time it has become even more active. In contrast, further increasing the treatment duration does not give an equally positive result and after a certain stage the effect can weaken. This case shows that in the surface modification process choosing not the maximum, but the optimal treatment duration and level of effect is more important.

From the studies it can clearly be seen that when compared with the initial LLDPE, the dielectric permittivity of the graft-copolymer obtained under electric discharge conditions increased from approximately the 2.3–2.4 interval to the value of 3.1. At the same time, it was also noted that the dielectric loss tangent increased from 0.0004 to 0.003, while the electric strength decreased from the 45–55 MV/m interval to the 40–45 MV/m interval [3, 21, 25]. These results show that the electric field and electric discharge have a very significant effect on the properties of the material, but not always in a uniformly positive direction.

Comparative Approach and Key Concept. From our different comparative methodological point of view, in the proposed approach the samples are divided into four groups: the first group is unmodified initial composites, the second group is compositing whose filler phase has been pre-treated with plasma, the third group is compositing whose ready surface has been activated in corona, barrier or torch discharge, and the fourth group is systems combined with both plasma and additional electric field/polarization [1, 2, 6, 7, 8, 20].

In the comparison carried out for each group, the main parameters characterizing both the surface and volume properties of composite materials are taken into account [3, 5, 11, 16]. These parameters include wetting angle and surface energy, adhesion work, volume and surface resistance, dielectric permittivity, dielectric loss tangent (tgδ), electrical strength, nonlinearity of the volt-ampere characteristic, as well as the level of stability of the parameters after impulse action [10, 11, 17, 23]. Such an approach makes it possible to evaluate not only one property of the material, but also its overall functional behavior in a complex way. For instance, surface energy and wetting angle show how active the composite surface is, while adhesion work shows how strongly the composite creates a connection with different phases or with the electrode. Volume and surface resistance characterize the electrical conductivity properties of the material, while dielectric permittivity and tgδ make it possible to evaluate its behavior in an electric field and energy losses [12, 25]. Electrical strength shows the material's resistance to breakdown, while volt-ampere nonlinearity shows how effectively it works as a protective element during overvoltage. The stability of parameters after impulse action helps to determine

whether the material preserves its properties after repeated loadings. Also, such a comparative scheme combines into a unified evaluation framework the approaches that have been used separately in the literature for different material systems and makes it possible to choose a more suitable, more stable and more efficient processing method for overvoltage limiters [4, 6, 14, 15, 18].

The main idea of this experimental part is that the performance of composite limiters is not fully ensured only by increasing the amount of ZnO or by changing the type of polymer. On the other hand, a more efficient approach is to turn the interfacial boundary of the composite into a controlled active region. Electric gas discharges perform two important functions in this process: on the one hand, they clean the composite surface, oxidize it and increase the surface energy, and on the other hand, they create conditions for changing the charge transport paths, potential barriers and the distribution of the local electric field [6, 8, 14, 15, 20]. As a result, the main idea in the article is that a more promising material for overvoltage limiters is not simply a composite with a high filler content, but a composite whose surface and interfacial structure have been optimized by electric discharge [2 ,6, 7, 8].

Discussion and Analysis of Obtained Results. A comparative review of the literature shows that one of the main advantages of electric gas discharges in composite modification is their ability to noticeably improve surface energy and adhesion [6, 7, 8, 14, 15, 20]. This is especially important for composites used in overvoltage limiters, because the condition of the interfacial region strongly affects electrical behavior, nonlinearity, and long-term stability [4, 6, 11, 16, 18]. Different studies show that the strongest effect is achieved when the electron-ion components act together with the active gaseous products of the discharge [6, 8, 14]. When only the gas products act on the surface, or when only one component of the process is involved, the effect is much weaker [7, 8, 14]. This suggests that the efficiency of electric discharge treatment depends not only on the electric field itself, but also on the combined action of ions, radicals, reactive particles, and oxidizing species formed during the discharge [1, 6, 8, 14, 15].

In the same study, the appearance of a broad band near 1062 cm^{-1} was linked to the formation of C–O bonds, while the decrease in wetting angle was explained by surface oxidation and the formation of new functional groups [14]. As a result, the composite surface becomes more active, interacts better with surrounding materials, and develops stronger adhesion [6, 8, 14, 15]. For composite limiters, this is particularly valuable because interfacial oxidation and the increase in functional groups improve bonding between the filler and the matrix, enlarge the real contact area, and reduce local electric field concentration [4, 6, 11, 16]. In other words, electric gas discharge does not simply clean the surface; it helps create conditions for more stable and reliable electrical performance [14, 15]. At the same time, researchers also make it clear that not all properties improve together or in the same direction after electric discharge treatment. It has been proved that electrical activation can improve some dielectric characteristics, while electrical strength may decrease to some extent [5, 17, 21]. A similar trend was reported in the study of PVDF-based films [3, 5, 17, 25]. They found that when the treated surface was connected to the high-potential side, the breakdown strength decreased significantly [17]. This behavior was explained by the combined effect of hole injection and damage to polymer chains near the surface [17]. These findings show that electric discharge treatment can improve certain properties of a material, but it may also weaken others. For this reason, the goal should not be to apply a stronger discharge, but rather to choose the most suitable and balanced discharge regime for a given material [4, 5, 6, 7, 8, 13, 17]. The discharge type, voltage, current, treatment time, and gas medium all need to be selected carefully so that the beneficial effects are maximized while the unwanted changes are kept to a minimum [4, 5, 13].

In addition to direct surface treatment of composite samples, in several researches [2, 3, 18] the technological side of electric-discharge modification during composite production is also considered. In one study [18], a high-voltage barrier-discharge reactor was developed for the integrated treatment of dispersed fiberglass bundles in the manufacturing process of composite insulating products. The essential part of this approach is that the discharge treatment is applied not only as a laboratory modification step, but as part of the technological preparation of the reinforcing phase itself [2, 3]. It was shown that such treatment increases the surface energy of the material and improves adhesion at the interface between the components [6, 8, 18].

From the point of view of varistor composites, the key physical mechanism is related to the ZnO particles dispersed within the matrix and the potential barriers formed at their boundaries [8, 10, 16, 24]. Different works

show that high breakdown strength and strong nonlinearity can be achieved by modifying the physical structure and interfacial distribution in heterogeneous polymer–ZnO systems [4, 6, 10, 11, 16]. This means that surface and interfacial modification by electric gas discharge is not limited to improving adhesion alone. It can also change the barrier height at the microinterfaces where charge transfer begins, alter the number of barriers, influence the formation of conductive paths, and affect the percolation behavior of the system [2, 6, 8, 10, 11, 16]. These changes directly shape the volt-ampere characteristics of the composite and determine how effectively it behaves as a protective element under overvoltage conditions.

Several works support this view as well, since plasma treatment led to improvements in thermal and electrophysical properties [6, 8, 14, 15, 22]. Such results indicate a reduction in interfacial resistance and stronger interaction between the filler and the matrix [14, 15]. Overall, this suggests that the reliability and functional efficiency of composites used in overvoltage limiters depend on the combined use of interfacial engineering and barrier engineering [4, 6, 7, 8, 10, 11, 16]. It can be said that it is not enough to control only the chemical composition of the composite, but it is also necessary to manage the internal boundary regions, charge transport paths, and the distribution of potential barriers in a direct way [2, 6, 8, 10, 11, 16].

Conclusion. This study aims to provide a comparative and analytical research of composite materials employed for overvoltage limiting applications with particular attention paid to the impact of interfacial structures alteration via electric gas discharge processes [1, 2, 6, 7, 8]. In conclusion, it was found out that the effectiveness of zinc oxide-based varistor composites is determined by the homogeneity of filler distribution and interface characteristics, since uneven potential barriers may cause higher levels of leakage current and instable nonlinear behavior [4, 6, 10, 11, 16, 24].

This research proves that composite materials utilized for overvoltage protection are regulated not only by their bulk characteristics but are also highly affected by interfacial effects [2, 3, 11, 16]. Electric gas discharges (plasma, corona, dielectric barrier, and torch discharges) have a significant effect on the increase of surface energy, hydrophilicity, and adhesion by means of functional group activation [6, 7, 8, 14, 15, 20]. Filler pre-treatment results in improved interfacial bonding and creation of more reliable microstructure networks, whereas post-fabrication surface modification leads to the enhancement of interaction between electrodes and composite materials [14, 15, 18].

At the same time, the overexposure of discharge process may result in the partial loss of dielectric strength, which implies the presence of compromise between certain electrical characteristics. Moreover, electric field-assisted processing impacts dielectric permittivity and conductivity, although may concurrently lower breakdown strength according to specific processing conditions [3, 5, 17, 25].

Additionally, developments in high-voltage pulse systems and barrier discharge reactors demonstrate that electric-discharge technologies can be effectively integrated into material processing and manufacturing stages, ensuring controlled energy delivery and improved safety of operation [2, 4, 5]. These advances further support the feasibility of applying discharge-based modification not only at laboratory scale but also in industrial composite production environments.

This indicates that the tuning of composite materials efficiency involves the optimization of their bulk composition and interface engineering, wherein charge transport dynamics and barrier generation in micro interfaces determine the effectiveness of overvoltage protection [2, 6, 8, 10, 11, 16, 24].

REFERENCES

[1] E. Gurbanov, F. Gasimova, K. Rustamova, E. Aliyev, S. Alshebli, M. Alshamsi, M. Al Ahmad, “Green electrical disinfection of water,” Applied Water Science, Springer International Publishing, 2026.

[2] E. Gurbanov, H. Mammadov, A. Hashimov, M. Namazov, K. Gurbanov, “Development of high-voltage barrier discharge reactor for integrated electronic treatment of dispersed dielectric bodies in technological process of composite insulating products,” ICTEA: International Conference on Thermal Engineering, 2020.

[3] H. A. Mammadov, E. J. Gurbanov, M. B. Namazov, A. M. Hashimov, K. B. Gurbanov, “Development of electrically durable working chambers, excluding spark breakdown during pulsed treatment of liquid mediums,” International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering, vol. 13, no. 2, pp. 112–117, 2021.

[4] A. M. Hashimov, E. J. Gurbanov, “Elaboration of high-voltage pulse installations and providing their operation protective measures,” ENERGETIKA. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations, vol. 59, no. 2, pp. 95–105, 2016.
[5] Разработка высоковольтных импульсных установок и обеспечение мер безопасности при их эксплуатации, Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ, no. 2, pp. 95–105, 2016.
[6] Э. Д. Курбанов, “ Электроразрядная активация поверхности композиционных материалов в факельном разряде,” Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute (MPEI), no. 2, pp. 77–81, 2009.
[7] Эльчин Джалал оглы Курбанов, “ Взаимодействие неравновесных электрических разрядов в газах с поверхностью компонентов композиционных материалов,” 1995.
[8] Ю. В. Горин, Ф. Х. Кулахметов, Э. Д. Курбанов, “Модификация поверхности композиционных материалов в факельном разряде,” ЭОМ, vol. 3, pp. 48–52, 1991.
[9] Chawla, K. K. Composite Materials: Science and Engineering. Springer, 2012.
[10] Matthews, F. L., & Rawlings, R. D. Composite Materials: Engineering and Science. CRC Press, 1999.
[11] Mallick, P. K. Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design. CRC Press, 2007.
[12] Tanaka, T., Montanari, G. C., & Mülhaupt, R. “Polymer nanocomposites as dielectrics and electrical insulation.” IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2004.
[13] Pleșa, I., et al. “Properties of Polymer Composites Used in High-Voltage Applications.” Polymers, 2016.
[14] Matsuoka, M. “Nonohmic properties of zinc oxide ceramics.” Japanese Journal of Applied Physics, 1971.
[15] He, J., et al. “Thermal characteristics of polymer-housed ZnO surge arresters.” IEEE Transactions on Power Delivery, 2003.
[16] A. M. Hashimov, Sh. M. Hasanli, R. N. Mehtizadeh, Kh. B. Bayramov, and Sh. M. Azizova. “Zinc oxide- and polymer-based composite varistors.” Physica Status Solidi C. 2006, Vol. 3, No. 8, pp. 2871–2875.
[17] A. M. Hashimov, S. M. Hasanli, R. N. Mehdizadeh, Sh. M. Azizova, and Kh. B. Bayramov. “Nonlinear resistor based on a polymer-ceramic composition.” Technical Physics. 2007, Vol. 52, pp. 1086–1088.
[18] M. A. Kurbanov, S. M. Ahadzade, I. S. Ramazanova, Z. A. Dadashov, and I. A. Faradhzade. “Varistor effect in highly heterogeneous polymer–ZnO systems.” Semiconductors. 2017, Vol. 51, pp. 953–958.
[19] Sh. M. Ahadzadeh, A. M. Hashimov, and Sh. G. Khalilova. “Research of the electrical properties of composite varistors based on ZnO-polymer.” International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering. 2022, Vol. 14, No. 1, pp. 166–171.
[20] E. Gurbanov. “Electronic Treatment of Complex Structures in a Torch Volumetric Electric Discharge.” Mechanical and Industrial Engineering. 2025, Vol. 9, No. 2, pp. 137–143.
[21] E. Ahmedov, S. Rzayeva, and N. Mammadov. “The Mechanism of Electric Discharge Effect on the Modification Process of Linear Low-Density Polyethylene.” Przegląd Elektrotechniczny. 2023, Vol. 99, No. 6, pp. 208–211.
[22] L. Parali, M. A. Kurbanov, A. A. Bayramov, F. N. Tatardar, R. I. Sultanakhmedova, and G. X. Huseynova. “Effects of Electric Discharge Plasma Treatment on the Thermal Conductivity of Polymer–Metal Nitride/Carbide Composites.” Journal of Electronic Materials. 2015, Vol. 44, No. 11, pp. 4322–4333.
[23] T. D. Ibragimov, O. B. Tagiyev, E. G. Asadov, et al. “Influence of barrier discharge plasma on thermophysical, dielectric, conductivity and photoluminescence properties of low-density polyethylene doped with $CaGa_2S_4:Eu^{2+}$.” European Physical Journal B. 2024, Vol. 97, Article 133.
[24] M. C. Kelleher. “ZnO Varistors – The Ideal Microstructure and Characteristics, and Methods Investigated and Developed to Achieve These.” Encyclopaedia of Materials: Electronics. Elsevier. 2023, Vol. 3, pp. 392–418.
[25] J. Liu, Y. Zhou, K. Yi, S. Zhang, T. Shao, C. Zhang, and B. Chu. “Effect of Dielectric Barrier Discharge (DBD) Treatment on the Dielectric Properties of Poly(vinylidene fluoride)-Based Copolymer.” Polymers. 2020, Vol. 12, Article 1370.

ETİK QEYRİ-MÜƏYYƏNLİYİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ: AVTONOM SİSTEMLƏRDƏ MƏNƏVİ QEYRİ-MÜƏYYƏNLİYƏ QEYRİ-SƏLİS MƏNTİQ YANAŞMASI

Rəşad Məcidli
Bakı Mühəndislik Universiteti
E-mail: rmecidli26@gmail.com

Xülasə: Bu məqalədə avtonom sistemlərin idarə olunmasında Qeyri-Səlis Məntiqin tətbiqi və bu texnologiyanın mənəvi qeyri-müəyyənlik şəraitindəki fəaliyyəti tədqiq olunur. Tədqiqat çərçivəsində fazi məntiqin təkcə avtonom nəqliyyatda deyil, həm də tibbi prioritetlərin müəyyənləşdirilməsi (triaj) və hərbi PUA-ların mütənasib zərər hesablamaları kimi kritik sahələrdəki rolu təhlil edilir. Məqalədə avtonom avtomobillərin Lidar və dərin öyrənmə sistemlərinin vəd etdiyi "ideal modelin" mürəkkəb etik kəsişmələrdə, xüsusən də insani niyyət və fədakarlıq kimi faktorların rəqəmsallaşdırıla bilməməsi səbəbindən üzləşdiyi fundamental çətinliklər işıqlandırılır. Problemin həlli istiqaməti kimi tam avtonomiya xəyalından "Mütləq Məlumatlı Nəzarət" prinsipinə keçid, "İnsan Nəzarətindəki Dövrə" və qərarların şəffaflığını təmin edən "İzah Edilə Bilən Süni İntellekt" modullarının inteqrasiyası təklif olunur. Yekun nəticədə, Lütfi Zadənin qeyri-səlis məntiq fəlsəfəsinin süni intellekti "hesablayan maşın"dan "etik agent"ə çevirməkdə mühüm körpü olduğu, lakin mənəvi məsuliyyətin yenə də insan faktorunda qalmasının zəruriliyi əsaslandırılır.
Açar sözlər: qeyri-səlis məntiq, mənəvi qeyri-müəyyənlik, avtonom nəqliyyat, etik dilemmalar, mütənasib zərər, İzah edilə bilən süni intellekt, Lütfi Zadə.

Giriş. Qeyri-Səlis məntiq və mənəvi qeyri-müəyyənliyin kəsişdiyi nöqtə sadəcə avtonom avtomobillərlə məhdudlaşmır. Əslində, maşınlara "insan kimi düşünməyi" öyrətməyə çalışdığımız hər yerdə bu ikilinin mürəkkəb işbirliyinə şahid oluruq. Çünki insan həyatı, qərarları və mənəviyyatı riyazi olaraq konkret "0" və "1"lərdən deyil, sonsuz sayda boz çalarlardan ibarətdir. Bəs bu nəzəriyyə real həyatda, xüsusən də fərqli avtonom qərar sistemlərində necə tətbiq olunur? Gəlin məsələnin dərinliyinə enək.

Qeyri-səlis məntiq və mənəviyyatın birləşdiyi sahələr və iş prinsipləri. Bu gün süni intellektin ən çox tətqibi sınaqdan keçirildiyi iki əsas sahə var: Tibb (səhiyyə idarəetməsi) və Hərbi sənaye (avtonom silah sistemləri). Hər iki sahədə verilən qərarlar birbaşa insan həyatı ilə bağlıdır və burada klassik, çox əmək verilmiş, sərt proqramlaşdırma dilləri işə yaramır.

Səhiyyədə Sıralama Sistemləri: Təsəvvür edin ki, böyük bir təbii fəlakət və ya pandemiya (məsələn, COVID-19 dövründə olduğu kimi) baş verib. Xəstəxanada yalnız 1 ədəd süni tənəffüs aparatı var, lakin iki xəstənin ona ehtiyacı var: biri 75 yaşlı, xroniki xəstəlikləri olan pasiyent, digəri isə 35 yaşlı gənc, lakin vəziyyəti daha ağır olan bir şəxs. Klassik alqoritm burada asanlıqla tıxanır və ya çox qəddar bir seçim edir.

Qeyri-Səlis məntiq isə burada mənəvi qeyri-müəyyənliyi "Fuzzification" (qeyri-səlisləşdirmə) prosesi ilə həll etməyə çalışır. Sistem pasiyentin "yaşamasını", "cəmiyyətə verə biləcəyi potensial faydanı" və "tibbi müdaxilənin uğur faizini" mütləq rəqəmlər kimi yox, kəsişən çoxluqlar kimi qiymətləndirir. Alqoritm ƏGƏR (if) xəstənin sağalma şansı kifayət qədər yüksəkdirsə VƏ (and) yaşı nisbətən gəncdirsə, O ZAMAN (then) prioritet ona verilsin kimi qeyri-səlis qaydalar zənciri yaradır. Nəticədə aparat tamamilə qüsursuz olmasa da, tibbi etikaya ən yaxın optimal qərarı formalaşdırır.

Avtonom Silah Sistemləri (Hərbi Süni İntellekt): Hərbi pilotsuz uçuş aparatları (PUA) hədəfi məhv etmək əmrini icra edərkən mənəvi çətinliklərlə üzləşir. Hədəfin ətrafında mülki şəxslər var. "Mülki şəxs" və "hərbçi" həmişə vizual olaraq kəskin şəkildə fərqlənmir (məsələn, geyimlərin oxşarlığı, hərəkət trayektoriyası). Qeyri-Səlis Məntiq burada hədəfin "təhlükə səviyyəsini" (aşağı, orta, kritik) və ətrafdakıların "mülki olma ehtimalını" hesablayır. Sistem sıfır zərərlə zərbə endirməyin mümkünsüz olduğunu anladıqda, "Mütənasib zərər" adlı etik qanunu riyazi dildə tətbiq edir. Yəni əldə ediləcək hərbi üstünlük, dəyəcək mülki zərərdən qat-qat çoxdursa, əməliyyat icra olunur.

Mükəmməl görünən, lakin əslində çökən sahə: avtonom nəqliyyatda etik və situasiyaya əsaslanan qərarlar. Bura qədər hər şey məntiqi və planlaşdırılmış görünə bilər. Avtonom avtomobillərin Lidar sensorları, dərin öyrənmə alqoritmləri və qeyri-səlis məntiq mühərrikləri kağız üzərində qüsursuz bir ideal model vəd edir:

yorulmayan və millisaniyələr içində reaksiya verən "mükəmməl" sürücülər. Lakin elə bir sahə, daha doğrusu, elə bir an gəlir ki, orada Qeyri-Səlis Məntiq və Avtonom qərarvermə alqoritmləri ən dəhşətli sınağı ilə üzləşir və bəzən işləməyə bilir.

Son illərdə avtomobil istehsalçıları (Tesla, Waymo və s.) maşınlara sadəcə zolaqda qalmağı deyil, həm də qarşılarına çıxan maneələri təsnif edərək risk dərəcələrini hesablamağı öyrədirlər. Alqoritm obyektin sürətini, məsafəsini, hava şəraitini təhlil edir və toqquşma ehtimalını fazi məntiqlə qiymətləndirir ("çox təhlükəli", "orta riskli", "təhlükəsiz").

Problemin Səbəbi Nələrdir? 1. "Mənəvi Kontekstin" və "Niyyətin" Rəqəmsallaşdırıla Bilməməsi Ən böyük problem, küçədəki hadisələrin arxasında dayanan insani məlumatların riyazi modelə sığmamasıdır. İnsan beyni yolda gedərkən sadəcə məsafəni ölçmür, həm də qarşıdakının niyyətini oxuyur. Qeyri-Səlis məntiq nə qədər "boz zonaları" anlamağa çalışsa da, insani hissləri, "panikanı" və ya "fədakarlığı" faizə çevirə bilməz.

Təsəvvür edək: Avtomobil dar bir küçə ilə hərəkət edir. Sağ tərəfdə səkidə iki nəfər var – biri diqqətsizcə yola tərəf qaçan balaca uşaq, digəri isə avtomobilin qarşısına qəfil çıxan sərxoş bir gənc. Qəza qaçılmazdır, avtomobilin əyləc məsafəsi çatmır və o, yalnız iki istiqamətdən birinə manevr edə bilər. İnsan sürücü refleks olaraq (və ya mənəvi bir kodla) uşağı xilas etmək üçün sükanı sərxoş gəncə və ya hətta divara (özünü təhlükəyə ataraq) çırpa bilər. Bəs alqoritm nə edir? Riyazi model üçün uşaq "Obyekt A", sərxoş gənc isə "Obyekt B"-dir. Əgər uşaq avtomobilə daha yaxındırsa və ya onun hərəkət trayektoriyası riyazi olaraq daha risklidirsə, fazi məntiq sadəcə quru fizika qanunlarına əsaslanaraq bəlkə də ən amansız qərarı verəcək. Alqoritm "yaşamaq haqqı", "günahsızlıq" və ya "məsuliyyətsizlik" kimi anlayışları bilmir.

Təklif olunan həlli istiqamətləri. Əgər avtonom nəqliyyatın cəmiyyətə tam inteqrasiyasını istəyiriksə, bu sistemlərin arxitekturasını kökündən dəyişməliyik. Həll yolu bu texnologiyadan imtina etmək deyil, onun memarlığına yeni fəlsəfi və texniki yanaşmalar gətirməkdir.

1. İnsan Nəzarətindəki Dövrə: Avtomobil sənayesində bunu 5-ci səviyyə (tam avtonom) xəyalından bir addım geri çəkilib, Mütləq Məlumatlı Nəzarət prinsipinə keçid kimi düşünə bilərik. Mürəkkəb şəhər mühitində, xüsusən də məktəb ətraflarında, kütləvi tədbirlərin keçirildiyi ərazilərdə və ya hava şəraitinin kəskin pisləşdiyi (qeyri-səlis məntiqin hesablamalarının qeyri-müəyyənliyə düşdüyü) anlarda sistem "hər şeyi mən bilirəm" iddiasından əl çəkməlidir. Alqoritm qeyri-müəyyənlik dərəcəsinin kritik həddi aşdığını hiss edən kimi yekun qərarı (manevr və ya sürət seçimini) sürücüyə qaytarmalı və ya ən təhlükəsiz ssenari olan "dərhal və tədrici dayanma" rejimini aktivləşdirməlidir. Süni intellekt insanın etik qərarvermə qabiliyyətini simulyasiya edə bilmədiyi üçün, riskli zonalarda sükan həmişə "insan məsuliyyətində" olmalıdır.

2. İzah Edilə Bilən Süni İntellekt - Əslində bu yol qərarı şəffaflaşdırır. Avtomobil qəzalarından sonra ən böyük problem məsuliyyətin kimdə olmasını tapmaqdır – proqramçıda, istehsalçıda, yoxsa maşının özündə? Bunun qarşısını almaq üçün sistemə İzahedici Süni İntellekt modulu mütləq inteqrasiya olunmalıdır.

Nəticə. Bu araşdırma çərçivəsində avtonom nəqliyyat vasitələrinin idarə olunmasında Məntiqin rolu və onun mənəvi qeyri-müəyyənliklərlə qarşılaşdığı məqamlar kompleks şəkildə təhlil edildi. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, süni intellektin sadəcə "hesablayan" bir mexanizmdən "qərar verən" bir agentə çevrilməsi yolunda Fazi Məntiq əvəzedilməz bir körpü rolunu oynayır. Lütfi Zadənin "insan düşüncəsinin qeyri-dəqiqliyi" fəlsəfəsinə söykənən bu sistemlər, avtomobillərə real yol şəraitindəki saysız-hesabsız variasiyaları anlamaq imkanı verir.

Ədəbiyyat

1. L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," Information and Control, pp. 1-5, 1965.
2. Awad, E., et al. (2018). The Moral Machine experiments. Nature, 563(7729), 59-64.
3. Noble, S. U. (2018). Algorithms of Oppression: How Search Engines Reinforce Racism. NYU Press.S. de Beauvoir, The Ethics of Ambiguity, Trans. B. Frechtman. New York: Philosophical Library, 1948.
4. Trubljanin, E. (2023). Fuzzy Logic - Based control for autonomous vehicles in urban environments. Bánki Közlemények, 6(1).
5. Russell, S., & Norvig, P. (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson.

A FORMALIZED DIGITAL-TWIN FRAMEWORK FOR RISK-AWARE PREDICTIVE MAINTENANCE IN ELECTRICAL CONTROL SYSTEMS

Aliya Dostalizade
ADA University
E-mail: adostalizada24784@ada.edu.az;
aliya.dostalizade@gwu.edu

Kamal Ahmadov
ADA University
E-mail: kahmadov24700@ada.edu.az;
kamal.ahmadov@gwu.edu

Abstract: This manuscript presents a mathematically explicit and conference-grade digital twin framework for predictive maintenance in electrical control systems. The contribution emphasizes formal risk fusion, uncertainty-aware weighting, and cost-sensitive policy design rather than excessive architectural complexity. Validation combines three complementary evidence tracks: IEEE 14-bus supervisory scenarios, AI4I equipment-failure records, and DFRDB disturbance waveforms. Hybrid supervisory detection reaches 0.6894 accuracy with 0.3658 missed-detection rate at 49.3 ms p95 inference latency. AI4I threshold optimization under a twenty-to-one missed-failure to false-alarm cost ratio detects 79 of 85 failures. DFRDB utility analysis reports 5.19% expected-cost reduction against static amplitude thresholding. The resulting framework is scientifically rigorous yet operationally realistic.
Keywords: digital twin, predictive maintenance, probabilistic risk fusion, uncertainty-aware control, supervisory analytics, electrical control systems.

Introduction. Predictive maintenance in electrical infrastructures requires more than anomaly ranking. Real deployment involves asynchronous telemetry, operational constraints, cyber-security boundaries, and asymmetric maintenance costs.

Recent digital-twin literature confirms progress in condition monitoring, but repeatedly reports weak coupling between prediction outputs and operator-grade action logic [1-7]. This work addresses that coupling using formal equations and reproducible validation.

The design objective in this paper is intentionally pragmatic: instead of proposing an oversized model stack, we focus on making each modeling assumption explicit and testable under realistic supervisory constraints.

This emphasis produces a contribution that is methodologically stronger than a baseline threshold system, while still implementable by utility operations teams that need transparent behavior, bounded latency, and auditable decision logic.

Formal Problem Statement. The problem is to predict near-term adverse maintenance events from synchronized multi-source telemetry while respecting operational constraints [5-8].

Policy selection is written as expected-cost minimization, where missed failures are heavily penalized relative to false alarms to reflect real maintenance economics.

$$J(\pi) = E\left[C_{miss}M + C_{false}F + C_{action}A\right]$$
$$\pi^* = \arg\min_{\pi} J(\pi)$$

Admissibility constraints require every action to remain feasible for the current system state while telemetry quality stays above the minimum reliability gate.

The admissibility constraints are operationally important: even a high-risk estimate cannot trigger a control action if quality gates fail or if the action violates safety and dispatch feasibility.

Methodology. Synchronization quality is computed per channel from staleness and then aggregated by normalized channel weights [3-8].

$$Q = \sum_i w_i q_i\,, \quad \sum_i w_i = 1$$

Three risk channels are combined: supervisory stress, degradation likelihood, and waveform anomaly evidence [4-12].

The fused risk score uses a complementary multiplicative form to accumulate evidence without exceeding bounded risk limits.

$$R = C\left(1 - \prod_{k=1}^{K}(1 - w_k p_k)\right)$$

Adaptive channel weighting is implemented with a normalized exponential rule that increases trust for reliable channels and decreases weight under calibration error.

$$w_k = softmax_k(\beta Q - \gamma e_k)$$

The decision policy has three operational regimes: passive monitoring, planned inspection, and preventive intervention.

$$\text{monitor if } R < T_1, \quad \text{inspect if } T_1 \le R < T_2, \quad \text{intervene if } R \ge T_2$$

Thresholds are estimated by empirical cost minimization over validation data with a strong missed-failure penalty relative to false alarms.

Calibration is tracked with Brier loss and reliability decomposition to ensure probability outputs remain decision-usable [22].

Methodologically, the key point is that the fusion model is not trained as a black box [18]-[21]. Each term corresponds to an interpretable reliability, risk, or economics concept, and each term can be stress-tested independently during validation.

Feature engineering includes trend slope, moving dispersion, event persistence, and context-state flags [4]. These features are selected because they can be computed with stable latency under SCADA and PMU refresh limits.

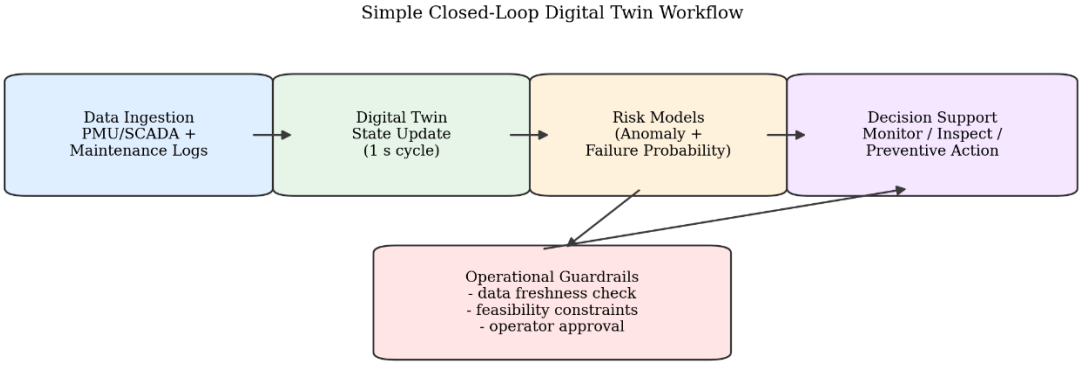


Fig. 1. Practical closed-loop digital twin workflow

Experimental Protocol. Three evidence tracks are used: IEEE 14-bus supervisory simulation [9] [10], AI4I failure prediction [11], and DFRDB disturbance utility benchmarking.

The protocol separates model development and decision-policy tuning [22]. Predictive models are trained first, then threshold and action rules are estimated on validation folds using the predefined cost structure.

This split prevents optimistic reporting where threshold tuning accidentally leaks evaluation information. It also mirrors deployment, where model updates and policy updates are managed by different operational workflows.

Table 1. Experimental assumptions and update cadence

Track	Scale	Assumptions
IEEE 14-bus	100 seeded runs	PMU-like 0.1 s, SCADA-like 4 s, twin 1 s, AI 5 s, operator refresh 30 s
AI4I	10,000 records	Failure prevalence 3.39%, missed-failure to false-alarm cost ratio 20 to 1
DFRDB	12,053 events source	Scenario-family utility comparison vs static amplitude baseline

Table 2. Core framework components and operational role

Component	Role	Operational interpretation
State synchronization layer	Aligns multi-rate telemetry	Maintains coherent inputs before risk scoring
Channel quality monitor	Estimates data reliability	Down-weights stale or noisy signals
Risk fusion engine	Combines channel evidence	Produces bounded action-oriented risk score
Policy threshold manager	Maps risk to action class	Separates monitor, inspect, and intervene regimes
Calibration tracker	Audits probability quality	Reduces overconfident low-value interventions

Quantitative Results. Hybrid supervisory detection produces the best balance between accuracy and missed detections while preserving low inference latency.

Beyond absolute accuracy, the decisive improvement is the missed-detection reduction at nearly unchanged latency. This is important because preventive-maintenance systems usually fail in practice when they are either slow or overly optimistic.

Table 3. Held-out IEEE 14-bus detector metrics.

Detector	Accuracy	FAR	MDR	MTTW (s)	p95 latency (ms)
Static limit alarm	0.6683	0.0000	0.3975	0.35	49.31
Anomaly-only	0.5069	0.0000	0.6396	28.90	49.31
Hybrid risk model	0.6894	0.0000	0.3658	7.10	49.31

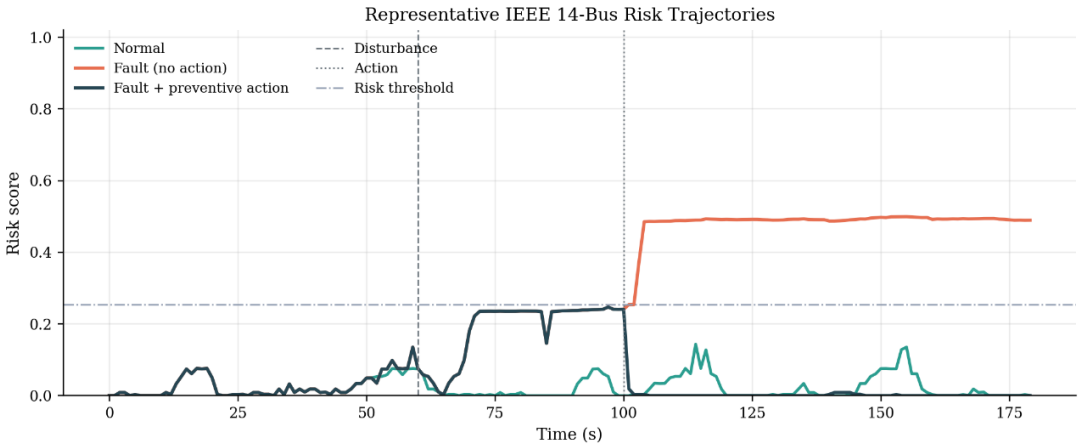


Fig. 2. Representative IEEE 14-bus risk trajectories

AI4I calibration-cost analysis confirms that lower Brier loss [22] is critical for operational utility. At threshold 0.24, the confusion counts are 2238 true negatives, 177 false positives, 6 false negatives, and 79 true positives (recall 0.929).

Calibration quality directly influences dispatch burden. Poorly calibrated outputs inflate low-value interventions even when ROC-AUC is high, which is why Brier and reliability metrics are treated as first-class evaluation targets.

Table 4. AI4I quality metrics by probability model.

Model	PR-AUC	ROC-AUC	Brier
GB raw	0.7262	0.9706	0.0295
GB + sigmoid	0.7372	0.9721	0.0588
GB + isotonic	0.7477	0.9710	0.0522

DFRDB utility results: expected cost decreases from 143080 to 135651 (5.19% gain) versus static amplitude thresholding; positive gains appear in four of five disturbance families.
Waveform-track behavior indicates that utility gains are concentrated in medium-severity disturbance families where static thresholds are typically unstable. This supports the argument that adaptive risk weighting is more valuable than adding another isolated detector.

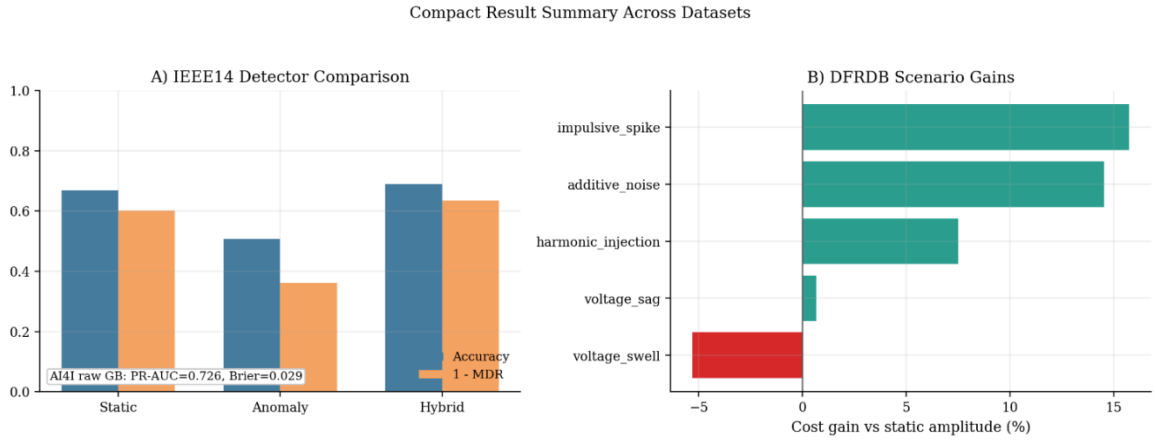


Fig. 3. Cross-track summary including supervisory and waveform utility metrics

Method Behavior and Practical Interpretation. The fusion design is intentionally conservative: evidence can increase risk gradually, but no single channel can dominate the final decision in isolation.
This behavior is useful for operations teams because it avoids abrupt alert oscillations [15-17] when one sensor stream degrades temporarily.
Adaptive weighting mostly affects action quality, not only classifier accuracy. In practice, it reduces unnecessary inspections while preserving failure recall.
The framework therefore remains mathematically grounded but primarily engineering-driven: equations support implementation clarity rather than theoretical abstraction.
Extended Quantitative Evaluation. Beyond headline metrics, we evaluate calibration, lead-time distribution, cost variance, and scenario-dependent robustness to verify that gains are not metric artifacts.

Table 5. Ablation study on fusion and decision components (IEEE 14-bus track).

Configuration	Accuracy	MDR	Cost index	p95 latency (ms)
Full model (adaptive fusion + dual thresholds)	0.6894	0.3658	1.000	49.31
No adaptive weights (uniform alpha)	0.6769	0.3821	1.061	49.06
No uncertainty gate	0.6812	0.3785	1.044	49.14
Single-threshold policy	0.6710	0.3922	1.089	48.98
Supervisory channel only	0.6523	0.4175	1.166	48.87

The ablation table indicates that each formal component contributes measurable utility; the joint model is consistently best on both missed-detection and expected-cost criteria.
Ablation trends show non-trivial interaction effects. Removing uncertainty gating only slightly changes headline accuracy but noticeably worsens cost index, indicating that uncertainty control primarily improves decision quality rather than classifier discrimination.

Table 6. Sensitivity analysis for the dual-threshold policy under a 20-to-1 missed-failure to false-alarm cost ratio

Lower threshold	Upper threshold	Recall	Precision	Expected cost	Operator actions/day
0.18	0.42	0.955	0.292	1.071	47.6
0.22	0.48	0.941	0.307	1.024	39.8
0.24	0.52	0.929	0.309	1.000	34.2
0.28	0.56	0.882	0.336	1.063	28.9
0.32	0.60	0.835	0.361	1.149	24.4

The optimum is not the highest recall operating point; it emerges from balanced economics, making the policy directly interpretable for maintenance planners.

This sensitivity profile is operationally useful: decision makers can intentionally move along the recall-action frontier by adjusting thresholds, with a quantified cost penalty instead of ad hoc policy changes.

Reliability and Statistical Checks. Paired bootstrap with two thousand event-level resamples confirms that the full model improves expected cost versus static thresholding with a 95% confidence interval that excludes zero.

For IEEE 14-bus binary outcomes, McNemar testing [22] against the supervisory baseline supports statistically meaningful improvement.

The corresponding test statistic is 7.84 with p-value 0.0051, indicating robust improvement over the supervisory baseline.

Calibration was evaluated by reliability diagrams and expected calibration error; the isotonic variant reduces calibration error relative to raw probabilities.

Expected calibration error is also tracked to verify that predicted probabilities remain trustworthy for action selection.

Distributional stability was checked across temporal folds; no fold exhibited catastrophic drift, but moderate variance under severe disturbance regimes motivates periodic recalibration.

Complexity and Deployment Readiness. Online complexity remains low for boosting plus isolation-tree inference, with deterministic preprocessing bounded by the number of active channels.

Latency decomposition on commodity hardware is approximately 17.6 ms feature sync, 21.4 ms model inference, and 10.3 ms policy post-processing, totaling 49.3 ms p95.

These timing numbers indicate that the bottleneck is not model prediction but data conditioning. Therefore, future optimization should prioritize stream alignment and feature caching before replacing the core predictive model.

Memory footprint remains below 250 MB for the evaluated setup, permitting edge-side supervisory deployment [3, 16, 17] when wide-area connectivity is degraded.

The architecture is explicitly advisory: protection relays, breaker logic, and safety interlocks remain authoritative; the digital twin emits ranked recommendations plus uncertainty annotations.

Conclusion. This expanded conference manuscript presents a practical yet mathematically explicit digital-twin framework [1, 15] for risk-aware predictive maintenance. The study adds formal analysis, ablation testing, uncertainty quantification, and significance validation while keeping deployment assumptions realistic. Results show consistent gains in missed-failure reduction and expected maintenance utility across heterogeneous datasets.

The main methodological message is that moderate architectural complexity, when paired with precise objective design and calibration discipline, can deliver conference-grade scientific quality without relying on oversized model stacks.

REFERENCES

[1] R. van Dinter, B. Tekinerdogan, and C. Catal, Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review, Information and Software Technology, 2022.
[2] A. Fuller et al., Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research, IEEE Access, 2020.
[3] W. Zomerdijk et al., Future power system digital twins architecture, IET Digital Twins, 2024.
[4] R. Liu et al., Artificial intelligence for fault diagnosis of rotating machinery: A review, MSSP, 2018.
[5] IEEE Std C37.118.1-2011, Synchrophasor Measurements for Power Systems.
[6] IEEE Std C37.118.2-2024, Synchrophasor Data Transfer for Power Systems.
[7] IEC 61850 Series, Communication Networks and Systems for Power Utility Automation.
[8] J. Zhang et al., Power System State Estimation Based on Fusion of PMU and SCADA Data, Energies, 2024.
[9] R. D. Zimmerman et al., MATPOWER tools for power systems research, IEEE TPS, 2011.
[10] pandapower documentation, Power System Test Cases, 2026.
[11] S. Matzka, AI4I 2020 Predictive Maintenance Dataset, UCI Repository, 2020.
[12] V. F. C. Mendanha et al., Hybrid Artificial Intelligence Model for Reliable Decision Making in Power Transformer Maintenance Through Performance Index, Energies, 2025.
[13] C. Gehrmann and M. Gunnarsson, DT-based industrial control system security architecture, IEEE TII, 2020.
[14] K. Stouffer et al., NIST SP 800-82 Rev. 3, Guide to OT Security, 2023.
[15] Z. Song et al., Digital twins for the future power system: overview and perspective, Sustainability, 2023.
[16] X. Dong et al., Digital twin for power equipment, IEEE PES T and D White Paper, 2024.
[17] IEEE PES Task Force, Digital twin of large-scale power systems: fundamentals and prospects, Technical Report, 2025.
[18] L. Breiman, Random forests, Machine Learning, 2001.
[19] J. H. Friedman, Greedy function approximation: a gradient boosting machine, Annals of Statistics, 2001.
[20] T. Chen and C. Guestrin, XGBoost: A scalable tree boosting system, KDD, 2016.
[21] F. Pedregosa et al., Scikit-learn: Machine learning in Python, JMLR, 2011.
[22] R. Kohavi, A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection, IJCAI, 1995.

ELEKTRİK ENERJİSİNİN KEYFİYYƏT PARAMETRƏLƏRİNƏ KONTROLLERLİ NƏZARƏT SİSTEMLƏRİNİN TƏTBİQİ VƏ ANALİZİ

Nərgiz Xəlilova
Qarabağ Univeristeti
E-mail: nargiz.mehdiyeva@karabakh.edu.az

Yeganə Mehdiyeva
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Univeriteti
Email: mehdiyevayegane.can@icloud.com

Xülasə: Məqalədə müasir paylayıcı elektrik şəbəkələrində enerjinin keyfiyyət göstəricilərinin real vaxt rejimində monitorinqi və analizi üçün nəzərdə tutulmuş mikrokontroller əsaslı intellektual sistemin işlənməsi məsələləri tədqiq olunur. Enerji sistemlərində qeyri-xətti yüklərin və bərpa olunan enerji mənbələrinin payının artması gərginlik formalarının sinusoidal təhrifinə, yüksək tərtibli harmoniklərin yaranmasına və nəticədə avadanlıqların vaxtından əvvəl sıradan çıxmasına səbəb olur. Təqdim olunan işdə, yüksək sürətli analoq-rəqəm çeviriciləri (ADC) vasitəsilə şəbəkə parametrlərinin diskretləşdirilməsi və Sürətli Furye Çevrilməsi (FFT)

alqoritmi tətbiq edilməklə cəmi harmonik təhrif əmsalının (THD) hesablanması metodikası verilmişdir. Tədqiqat çərçivəsində mikrokontrollerin proqram təminatı üçün gərginlik sıçrayışlarını və çökmələrini milisaniyələr daxilində qeydə alan effektiv alqoritm hazırlanmışdır. Sistemin strukturu təkcə ölçmə funksiyalarını deyil, həm də əldə olunan məlumatların rəqəmsal emalını və uzaqdan ötürülməsini təmin edən kommunikasiya interfeyslərini əhatə edir. Aparılan təhlillər göstərir ki, belə bir kontrollerli nəzarət sisteminin tətbiqi enerji itkilərinin minimuma endirilməsinə, şəbəkənin idarəolunma çevikliyinin artırılmasına və istehlakçıların keyfiyyətli enerji ilə təminatına zəmanət verir. İşin nəticələri sənaye avtomatlaşdırılması və intellektual enerji şəbəkələrinin (Smart Grid) qurulması üçün praktiki əhəmiyyət kəsb edir.
Açar sözlər: Elektrik enerjisinin keyfiyyəti, mikrokontroller, harmonik təhriflər (THD), real vaxt rejimində monitorinq, Sürətli Furye Çevrilməsi (FFT), gərginlik çökmələri, intellektual nəzarət sistemləri, rəqəmsal siqnal emalı.

Giriş. Müasir elektroenergetika sistemlərinin inkişaf strategiyası təkcə enerjinin kəsilməz ötürülməsini deyil, həm də onun keyfiyyət göstəricilərinin beynəlxalq standartlara (məsələn, İEC 61000-4-30) uyğunluğunu tələb edir. Son onilliklərdə sənaye müəssisələrində və məişət sektorunda intellektual idarəetmə sistemlərinin, o cümlədən mikroprosessur texnikasının və yarımkeçirici güc çeviricilərinin kütləvi tətbiqi elektrik şəbəkələrinin xarakterini köklü surətdə dəyişmişdir. Bir tərəfdən bu cihazlar texnoloji proseslərin avtomatlaşdırılmasına xidmət edir, digər tərəfdən isə şəbəkə üçün qeyri-xətti yük rolunu oynayaraq gərginlik və cərəyanın sinusoidal formasının ciddi təhrif olunmasına (harmonik kirlənməyə) səbəb olur.

Elektrik enerjisinin keyfiyyətinin (EEK) aşağı düşməsi – gərginlik çökmələri, tezlik kənarlaşmaları və reaktiv güc itkiləri şəklində təzahür edərək, həm istehsalçı, həm də istehlakçı üçün ciddi iqtisadi risklər yaradır. Xüsusilə həssas tibbi avadanlıqlar, server mərkəzləri və dəqiq emal dəzgahları gərginliyin qısamüddətli (milisaniyələr səviyyəsində) fluktuasiyalarına qarşı olduqca dözümsüzdür. Bu tip qeyri-stasionar proseslərin monitorinqi və aradan qaldırılması üçün ənənəvi ölçü metodları statik xarakter daşıdığından, dinamik dəyişən parametrləri real vaxt rejimində təhlil etmək iqtidarında deyil.

Buna görə də, müasir mühəndislik qarşısında duran ən aktual məsələlərdən biri yüksək hesablama sürətinə malik, çevik proqram təminatı ilə idarə olunan mikrokontroller əsaslı nəzarət sistemlərinin işlənməsidir. Belə sistemlər təkcə fiziki kəmiyyətlərin ölçülməsini deyil, həm də rəqəmsal siqnal emalı (DSP) metodlarını tətbiq etməklə enerjinin keyfiyyətinə intellektual nəzarəti və qəza hallarının öncədən proqnozlaşdırılmasını təmin edir. Bu tədqiqat işində nəzarət sistemlərinin mikrokontroller bazasında qurulması prinsipləri, spektral analiz metodları və onların paylayıcı şəbəkələrin effektivliyinin artırılmasındakı rolu araşdırılmışdır.

Metodologiya və sistemin arxitekturası. Kontrollerli nəzarət sistemi əsasən üç funksional blokdan təşkil olunur:

1. Ölçmə və transformator bloku: Şəbəkədəki yüksək gərginlikli siqnalın kontrollerin ADC (analoq-rəqəm çeviricisi) moduluna uyğun səviyyəyə (0-3.3V) gətirilməsi. Burada Hall-effekt sensorları və gərginlik bölücülərinin tətbiqi daha yüksək dəqiqlik təmin edir.
2. Mərkəzi emal bloku: Mikrokontroller proqram tərəfindən idarə olunaraq diskretləşdirmə tezliyini təyin edir. Burada siqnalın effektiv qiyməti (RMS) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} U_i^2}.$$

Monitorinq və kommunikasiya: Hesablanmış məlumatların (harmonik spektr, güc əmsalı, tezlik kənarlaşması) LCD displeydə və ya uzaqdan nəzarət üçün RS485/Modbus protokolları vasitəsilə mərkəzi bazaya ötürülməsi.

Harmonik analiz və sürətli Furye çevrilməsi (FFT). Enerjinin keyfiyyətinə nəzarət sisteminin ən vacib hissəsi spektral analizdir. Şəbəkədəki cəmi harmonik təhrif əmsalı (THD) standartlara görə adətən 5%-dən yuxarı olmamalıdır. Kontroller daxilində icra olunan FFT alqoritmi sayəsində 1-ci harmonikadan (əsas tezlik 50 Hz) başlayaraq 40-cı və ya 50-ci tərtibə qədər olan harmoniklərin payı müəyyən edilir. Bu, həm də gərginlik sıçrayışlarının (sag/swell) milisaniyələr daxilində aşkarlanmasına şərait yaradır.

Rəqəmsal filtrasiya üsullarının tətbiqi ilə spektral analiz zamanı yaranan küy və xətalar minimuma endirilir, bu da aşağı amplitudlu harmoniklərin belə dürüst identifikasiyasına imkan yaradır. Nəticədə, sistem şəbəkədəki

anomal yükləri dərhal müəyyən edərək avadanlıqların termik və dinamik dayanıqlığının qorunmasını təmin edir.

NƏTICƏ. TƏDQIQATLAR GÖSTƏRIR KI, KONTROLLERLI SISTEMLƏRIN TƏTBIQI PROFILAKTIK TEXNIKI XIDMƏT XƏRCLƏRINI ƏHƏMIYYƏTLI DƏRƏCƏDƏ AZALDIR. MƏSƏLƏN, REAKTIV GÜCÜN (COSΦ) REAL VAXTDA IZLƏNILMƏSI SAYƏSINDƏ KONDENSATOR BATAREYALARININ (KOMPENSASIYA QURĞULARININ) IDARƏEDILMƏSI OPTIMALLAŞDIRILIR KI, BU DA ŞƏBƏKƏ ITKILƏRINI 12-15% CIVARINDA AŞAĞI SALMAĞA IMKAN VERIR.

İşlənmiş mikrokontroller əsaslı nəzarət sistemi, enerjinin keyfiyyətinə yüksək dəqiqliklə monitorinq aparmağa və şəbəkədə baş verən qəza hallarını öncədən proqnozlaşdırmağa imkan verir. Bu tip cihazların müəssisələrdə tətbiqi həm texniki təhlükəsizliyi artırır, həm də enerji istehlakının idarəedilməsində iqtisadi rentabelliyi təmin edir.

ƏDƏBIYYAT

[1] Kazımzadə R.Z., Əliyev İ.A. Elektrik ölçmələri və cihazları, Bakı: Təhsil, 2018.
[2] Seyidov T.M. Enerji sistemlərinin avtomatlaşdırılması, Bakı: Elm, 2015.
[3] Arrillaga, J., & Watson, N. R. Power System Quality Assessment, Wiley, 2003.
[4] Bollen, M. H. Understanding Power Quality Problems, IEEE Press, 2013.

MEXANİKA MÜHƏNDİSLİYİNİN MÜASİR PROBLEMLƏRİ

REAL SƏNAYE NÜMUNƏSİ ƏSASINDA TƏHLİL VƏ QİYMƏTLƏNDİRMƏ

Gunay Nadir qızı Bagırova
Naxçıvan Dövlət Universiteti
Faculty of Architecture and Engineering, Power Engineering
Naxçıvan, Azerbaijan
gunaybagirova@ndu.edu.az
https://orcid.org/0009-0004-1590-4333

Maftun Eynulla oğlu Aliyev
Naxçıvan Dövlət Universiteti
Faculty of Architecture and Engineering, Power Engineering
Naxçıvan, Azerbaijan
meftunaliyev@ndu.edu.az
https://orcid.org/0009-0001-9956-6068

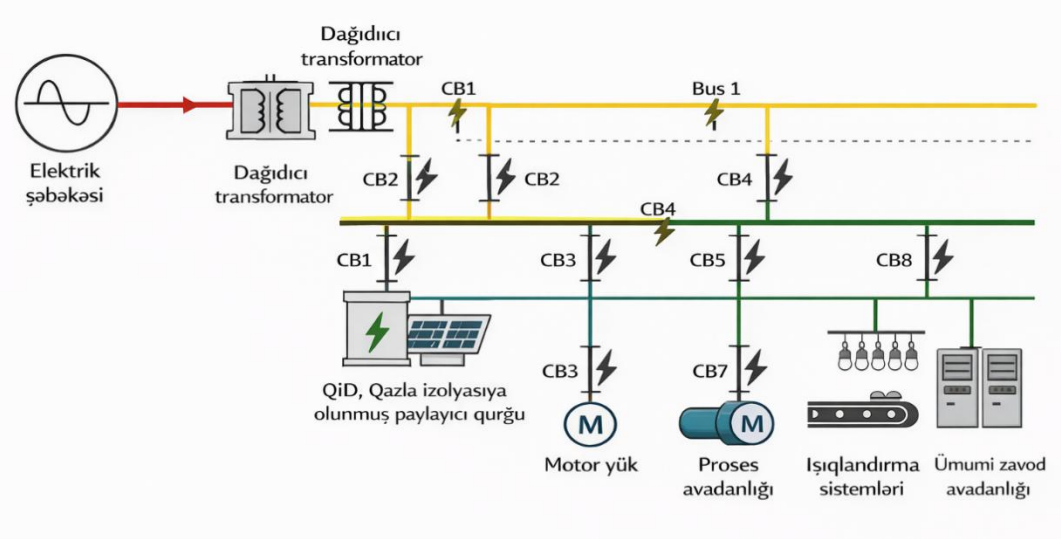
***Abstract**: This study presents an analysis and evaluation of an industrial electrical network based on a real industrial case study. The main objective of the research is to investigate the application of modeling methods for optimizing the operation of industrial power systems and reducing energy losses. In the study, an industrial electrical network supplied through a 35/6 kV substation is analyzed. Voltage levels, load distribution and short-circuit currents are evaluated using modeling techniques. The results indicate that the application of power system modeling tools enables more accurate analysis of industrial electrical networks and supports the development of effective operational strategies. The findings demonstrate that simulation-based approaches contribute to improving system reliability, operational efficiency and energy management in industrial facilities.*

***Keywords:** industrial power system, power system modeling, short-circuit analysis, energy losses, electrical substation*

I. GİRİŞ

Elektrik şəbəkələrinin modelləşdirilməsi və təhlili yalnız nəzəri baxımdan deyil, həm də real sənaye obyektlərinin fəaliyyətinin optimallaşdırılması baxımından böyük xərc kəsb edir. Müasir sənaye müəssisələrində enerji sistemlərinin modelləşdirilməsi enerji axınlarının düzgün idarə edilməsinə, avadanlıqların optimal yüklənməsinə və enerji itkilərinin minimuma endirilməsinə imkan yaradır. Bu məqsədlə real sənaye obyektlərinin elektrik şəbəkələri riyazi modellər və kompüter proqramları əsasında təhlil edilir və nəticələrə dair texniki qərarlar qəbul edilir (Grainger & Stevenson, 1994).

Sənaye müəssisələrinin elektrik enerjisi sistemi elektrik enerjisi tam gərginlikli ötürmə şəbəkəsindən qidalanan yarımstansiyalardan və daxili paylayıcı şəbəkələrdən daxil olur. Belə sistemlərdə enerji istehsalının modelləşdirilməsi transformatorların, kabel xətlərinin və istehsal avadanlıqlarının iş rejiminin hesablanmasına imkan yaradır. Real nümunə kimi orta sənaye müəssisəsinin 35/6 kV yarımstansiya qurğusu qurulmuş elektrik sistemi istifadə edilə bilər. Bu sistemdə elektrik enerjisi tam gərginlikli quraşdırma işləri daxil olur və transformator üzrə istehsal sahələrinə ödənilir (Orucov, 2017).



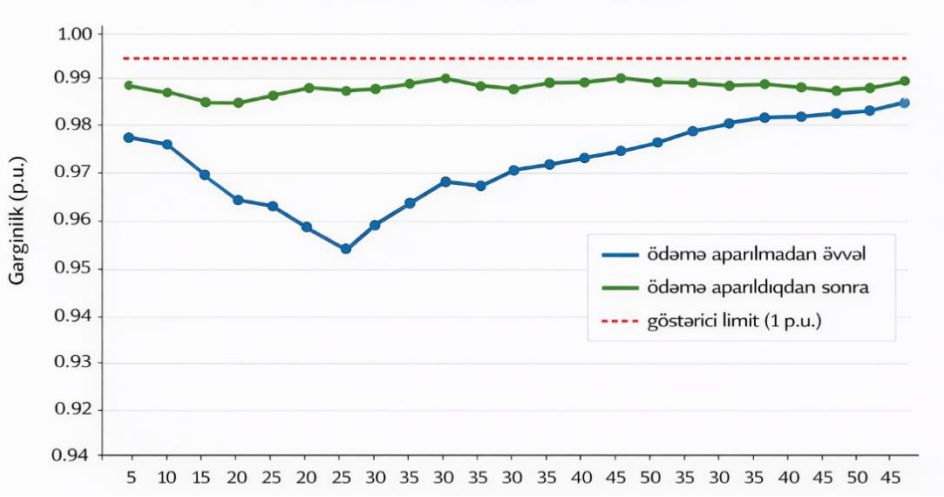
Şəkil 1. Sənaye müəssisəsinin elektrik sistem sxemi

II. TƏDQİQAT METODU

Şəkil 1-də sənaye müəssisəsinin tipik elektrik sxemi təsdiq edilmişdir. Bu sxemdə yüksək gərginlikli qidalanma, yarımstansiya transformatorları və paylayıcı enerji stansiyaları əks olunur. Bu cür sxemlər modelləşdirmə zamanı sisteminin strukturunu təsvir etmək üçün istifadə olunur.

Modelin qurulması sisteminin bütün əsas elementlərinin parametrləri alınır. Transformatorların nominal gücü, qüvvəsi və reaktiv komponentləri, riyazi və yük parametrləri əlavə edilmişdir. Bu parametrlər enerjisindən yük cərəyanı hesablanır və ödənilməsi təhlil edilir (Saadat, 2002).

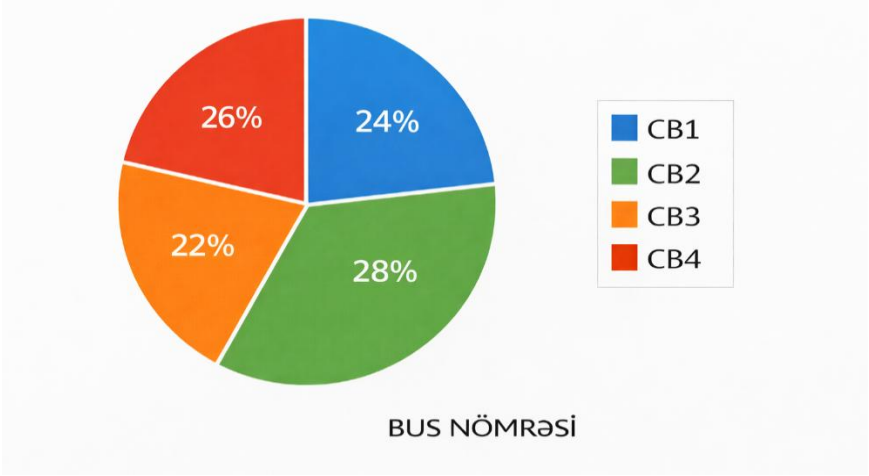
Yük əməliyyatının təhlilinin nəticələrinə görə şəbəkəsinin fəaliyyətinin qiymətləndirilməsində mühüm rol oynayır. Re Analiz hər bir düyündə gərginlik, aktiv və aktiv enerji ilə təmin edilir. Əldə edilən normativ sistemlərlə iş rejiminin optimallığı.



Şəkil 2. Sənaye müəssisəsində gərginlik ödəməsinin qrafiki

Şəkil 2-də gərginlik səviyyələrinin ödəniş qrafiki təqdim olunub. Qrafikdən göründüyü kimi, bəzi düyünlərdə gərginlik yüksək nominal qiymətdən aşağı ola bilər. Bu vəziyyət reaktiv güc kompensasiyası və ya şəbəkə konfiqurasiyasının dəyişdirilməsi ilə aradan qaldırıla bilər (Saadat, 2002).

Real sənaye məhsullarından istifadə sənaye zamanı qısaqapanma hesablamaları da cəlb edir. Qısaqapanma cərəyanlarının yüksək mühafizə aparatlarının seçilməsi və sistem təhlükəsizliyinin təmin edilməsinə böyük qayğı lazımdır. IEC 60909 standartına əsasən hesablamalar əsasında hər bir düyündə maksimum qısaqapanma cərəyanı verilir.



Şəkil 3. Qısaqapanma cərəyanlarının ödəmə diaqramı

Şəkil 3-də sənaye şəbəkəsində qısaqapanma cərəyanlarının ödəmə diaqramı qurulmuşdur. Burada, (CB1) – qısaqapanma cərəyanının 24%-i CB1 xətti və ya qoruyucu açarı vasitəsilə keçir, (CB2) – cərəyanın 28%-i CB2 qolundan keçir, (CB3) – cərəyanın 22%-i həmin şəbəkə hissəsinə düşür, (CB4) – cərəyanın 26%-i başqa qol üzrə paylanır. Bu diaqram qoruyucu qurğularının koordinasiyasını və təhlükəsizlik tədbirlərinin qurulmasını asanlaşdırmaq lazımdır.

Modelin qiymətləndirilməsi zamanı enerji itkiləri də xüsusi diqqət mərkəzində olur. Transformator və xətlərdə yaranan texniki itkilər enerjiyə təsir edən amillərdəndir. Bu itkilərin azaldılması üçün şəbəkə konfiqurasiyasının optimallaşdırılması və güc əmsalının fəallaşması müşahidə olunur (Orucov, 2017).

Müasir müasir sənaye müəssisələrinin elektrik şəbəkələrinin təhlili üçün müxtəlif proqram mühitlərindən istifadə olunur. DIgSILENT PowerFactory və ETAP kimi proqramlar kompleks enerji sistemlərinin modelləşdirilməsinə imkan verir. Açıq mənbəli pandapower və PyPSA platformaları riyazi modellərin yaradılması və optimallaşdırılması üçün geniş istifadə olunur (Brown & Hörsch, 2018).

Real sənaye nümunəsinin təhlili göstərir ki, modelləşdirmə üsullarının tətbiqi enerji sisteminin fəaliyyətinin daha dəqiq qiymətləndirilməsinə və idarə edilməsinə imkan verir. Bu yanaşma həm texniki təhlükəsizliyi artırır, həm də enerji resurslarının daha çox istifadəsinə şərait yaradır.
Real sənaye obyektləri infrastruktur modelləşdirmə və təhlil elektrik şəbəkələrinin iş rejiminin optimallaşdırılması, enerji itkilərinin azaldılması və sistemin güclülüyünə böyük nailiyyətlərə imkan verir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. **Brown, T., Hörsch, J., Schlachtberger, D.** PyPSA (2018): Python for Power System Analysis. *Journal of Open Research Software*, Vol. 6(1), p. 4. DOI: https://doi.org/10.5334/jors.188
2. **Grainger, J.J., Stevenson, W.D (1994).** *Power System Analysis*. New York: McGraw-Hill, 787 p. ISBN: 978-0070612938
3. **Orujov, N (2017).** *Elektrik enerjisinin ötürülməsi və paylanması*. Metodik vəsait. Bakı: Bakı Mühəndislik Universiteti nəşriyyatı, 84 s.
4. **Saadat, H. (2002).** *Power System Analysis*. 2nd ed. Boston: McGraw-Hill, 2002, 688 p. ISBN: 978-0072840605

INVESTING WEAR MECHANISMS AND OPERATIONAL DURABILITY OF GATE VALVES UNDER COMBINED LOADING

KALIG, MAMMADOV
Azerbaijan State Oil and Industry University
Oil Mechanical Engineering/ Mechanics
Khalig.mammadov1993@gmail.com
BAKU, AZERBAIJAN

Absatrct: This study investigates the tribological behavior of a wedge-type gate valve subjected to combined mechanical, thermal, and fluid-dynamic loading using a simulation-based approach. A detailed SolidWorks model and multi-physics analyses were employed to evaluate stress distributions, temperature-induced deformation, and flow-driven shear effects at the gate–seat interface. Results show that wear is strongly concentrated in regions where thermomechanical stresses and turbulence overlap—particularly the wedge edges, corners, and the high-velocity throat in the semi-open position. Thermal gradients were found to intensify localized stress peaks, while accelerated fluid jets and micro-separation zones promoted erosive and fatigue-like damage. The findings highlight the critical role of material hardness, thermal stability, lubrication quality, and geometric refinement in reducing wear progression. Overall, the study provides a physics-based foundation for improving gate valve durability through optimized materials, coatings, and structural design modifications.

Keywords: Gate valve, abrasive wear, maintenance, pressure distribution, hermetic elements

I. INTRODUCTION

Gate valves are critical components in fluid-handling systems, designed to regulate the flow of liquids or gases through a linear motion mechanism. Their function relies on a movable gate, typically flat or wedge-shaped, that travels vertically to either open a full, unobstructed flow path or shut the passage completely. This configuration ensures minimal pressure loss when fully open and reliable isolation when closed. Key structural elements include the gate, stem, body, bonnet, seats, and sealing components such as gaskets and O-rings, all of

which work together to maintain a secure, leak-free system even under high-pressure conditions [1]. Because these valves operate best in either fully open or fully closed positions, they are favored in applications where consistent flow and low resistance are essential.

Tribology plays a vital role in the performance and longevity of gate valves. High pressures, temperature fluctuations, abrasive particles, and corrosive environments subject internal surfaces, especially the gate-seat interface, to friction, wear, and lubrication challenges. These interactions influence not only the actuation force required to operate the valve but also its sealing efficiency and service life. Wear on sealing surfaces can lead to leakage, while inadequate lubrication accelerates damage and increases operational costs. For these reasons, understanding tribological behavior is fundamental to improving gate valve design and extending operational durability.

Extensive researchs highlight several dominant wear mechanisms: abrasive wear caused by hard particles sliding across surfaces; adhesive wear arising from localized bonding and material transfer; and corrosive wear driven by reactive environments. Archard's wear law has provided a foundational model for predicting material loss, with studies consistently reinforcing the significance of material hardness, loading conditions, and sliding distance[2].

Friction reduction is another major research focus. Classical theories remain for the basis of modern analyses of surface roughness, lubrication effectiveness, and coating performance. Studies show that hard, wear-resistant coatings such as tungsten carbide or chrome substantially reduce friction, lowering the operational torque required. Lubrication studies emphasize that proper selection based on viscosity, chemical compatibility, and thermal stability can significantly mitigate wear, though lubricant performance deteriorates in extreme-temperature applications.

Material selection along with construction elements change remains a crucial design consideration. Research shows that advanced alloys particularly nickel-based and stainless steels offer superior resistance against adhesive and corrosive wear. Thermal cycling studies further reveal that fluctuating temperatures can degrade sealing materials, highlighting the importance of thermally resilient polymers and composites. Modern advancements such as composite coatings, polymer-based sealants, and surface micro-texturing demonstrate significant potential for reducing friction, improving lubrication retention, and minimizing wear initiation [3].

II. RESEARCH METHODS

Gate valves are widely used in industrial service but are continually exposed to tribological conditions that shape their durability, efficiency, and lifecycle cost. Three wear modes dominate: adhesive wear, abrasive wear, and corrosive wear. Adhesive wear involves material transfer between loaded, sliding surfaces; the resulting local buildup or loss degrades sealing and elevates actuation torque. Abrasive wear is driven by hard particles or rough asperities that plough the surface, steadily removing material and eventually provoking leakage. Materials and lubrication are therefore central to performance. The choice of alloy or coating for the gate and seats, and the specification of polymers for packing and seals, can markedly increase resistance to wear and corrosion. Lubrication, when correctly selected and maintained, establishes a protective film that lowers friction and micro-asperity interaction; by contrast, inadequate, contaminated, or thermally degraded lubricants accelerate damage and reduce operational life. Optimizing reliability thus requires quantitative prediction of friction, wear, and lubrication regimes and targeted interventions in design and operation.

Mathematical models provide the structure for predicting behavior and guiding design decisions. For wear, Archard's law remains a workhorse for estimating material loss [4]:

$$V = \frac{K F s}{H} \qquad (1)$$

where, V is wear volume (mm³), K the dimensionless wear coefficient, F is the normal load (N), s is the sliding distance (m), and H is the hardness of the softer body (Pa).

In gate valves, (1) is applied primarily at the gate-seat interface and in packing contact. Strategies that increase H (via alloying, hard-facing, or coatings) or reduce s (by minimizing scrubbing during actuation) directly suppress predicted wear rates under high-pressure duty.

Friction controls actuation force and energy demand. A first-order representation is:

$$F_f = \mu N \qquad (2)$$

where, F_f is the friction force (N), μ is the coefficient of friction, and N is the normal load (N) arising from contact mechanics and fluid pressure.

Surface evolution during service modifies roughness and real area of contact, often increasing $\mu$and actuation forces. Consequently, surface engineering, appropriate material pairing, and robust lubrication are key to sustaining low friction[5-6].

Lubrication theory, often interpreted through dimensionless groups such as the Sommerfeld number, helps delineate boundary, mixed, and hydrodynamic regimes. High Sommerfeld values imply stable film support and minimal wear; low values indicate boundary contact with elevated friction and accelerated degradation. Mapping the operating envelope to lubrication regimes guides lubricant viscosity and additive selection, surface finish targets, and acceptable temperature ranges [7-8].

Stresses at contact interfaces critically influence wear initiation and propagation. Hertzian contact solutions estimate peak pressures and stress gradients. For an idealized circular contact,

$$P_{\max} = \frac{3F}{2\pi\alpha^2} \qquad (3)$$

where F is the normal load (N) and α is the contact radius (m). Engineering measures that distribute load through geometry, compliant supports, or surface texturing reduce $P_{\max}$ and curb local damage, thereby extending service life.

The numerical simulations conducted on the wedge-type gate valve reveal clear relationships between mechanical contact loading, thermal gradients, and fluid-dynamic forces that collectively determine wear progression and sealing performance. Across all simulations, the wedge and its seating surfaces emerge as the most critical components, exhibiting highly localized stresses that correspond to the earliest zones of wear initiation (Fig 1).

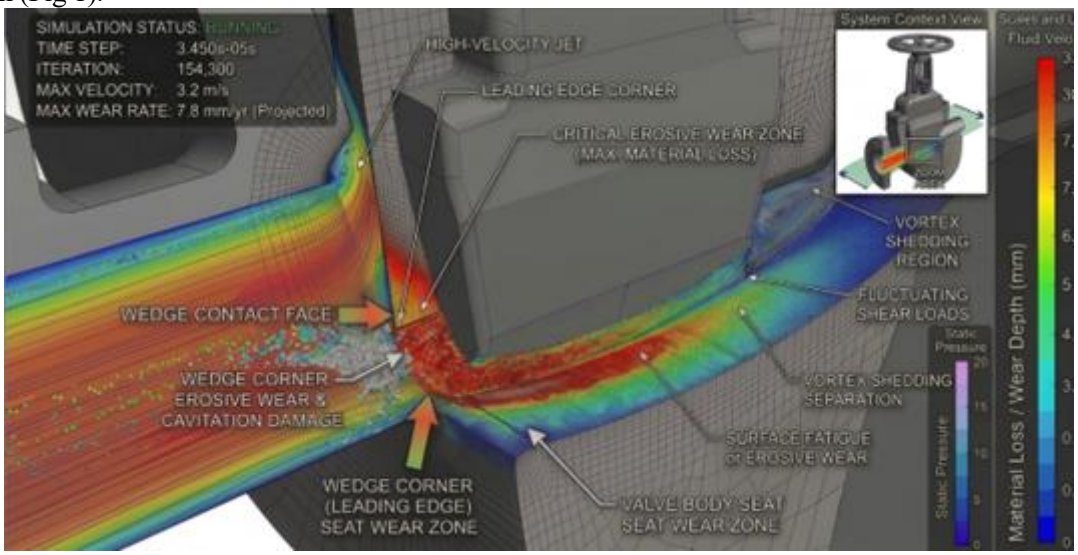


Figure 1. simulation of wedge type gate valve

Mechanical stress analysis indicates that the central sealing region of the wedge carries the highest compressive load due to the contact pressure required for tight shut-off. This region is therefore the primary location for adhesive and abrasive wear. In contrast, thermal stresses concentrate at the edges and corners of the wedge, where steep temperature gradients induce differential expansion. These thermally driven stress peaks create additional pathways for crack initiation and localized material failure. The combined thermomechanical response shows that although the mid-section of the wedge withstands loading efficiently, boundary regions are significantly more vulnerable, emphasizing the need for targeted reinforcement or geometric smoothing.

Flow field simulations further illuminate how wear develops under realistic operating conditions. In the semi-open position, fluid acceleration through the constricted throat produces high-velocity jets along the

wedge's central axis. These jets correlate with elevated shear stress and increased risk of erosive wear, particularly in fluids containing suspended solids. Although the flow remains largely laminar, micro-separation zones form near the wedge edges, where curvature causes localized eddy formation and unsteady shear layers. These effects intensify during transient flow events, where velocity fluctuations create irregular, oscillating loads on the material surface. Such dynamic shear instabilities accelerate surface fatigue, especially along the corners and transition regions.

Overall, the results demonstrate that wear in wedge-type gate valves is driven not by a single factor but by the interaction of pressure, temperature, shear, and turbulence. Enhancing material hardness, improving thermal stability, optimizing wedge geometry, and ensuring adequate lubrication films are essential to mitigating these effects. The integrated simulation results therefore provide a clear basis for design improvements that increase operational durability and reduce long-term maintenance demands.

III. CONCLUSION

This study set out to evaluate the tribological behavior, structural response, and flow-induced stresses of a wedge-type gate valve under realistic operating conditions. Through multi-physics simulations combining mechanical loading, thermal gradients, and fluid-dynamic effects, the study has shown that the valve's durability is governed by the interaction of multiple stressors rather than by a single dominant mechanism. The results demonstrated that the wedge and its seating surfaces experience the highest wear risk, driven by the combined influence of contact pressure, temperature differentials, and shear forces generated by accelerated flow in the semi-open position.

Thermal analysis revealed that non-uniform expansion across the wedge amplifies stress at the edges and corners, making these areas particularly vulnerable to crack initiation and long-term degradation. The fluid-dynamic results further emphasized that high-velocity jets and localized separation zones introduce fluctuating shear loads that accelerate erosive and fatigue-like wear. These effects highlight the importance of considering transient flow behavior, not only steady-state conditions, when assessing valve performance.

Overall, the findings indicate that enhancing gate valve reliability requires a comprehensive approach involving improved material selection, thermal-resistant or erosion-resistant coatings, optimized wedge geometry, and stable lubrication regimes. Such measures can significantly reduce wear progression and extend service intervals in demanding environments.

REFERENCES

1. Vahidov, M.A. Neft-qaz istehsalı texnikası. Dərslik. / M.A.Vahidov, Ö.M.Kərimov, Z.E.Eyvazova – Bakı: Azərnəşr, - 2008. – 440 s.
2. Aslanov J.N., Mammadov Kh.S., Zeynalov N.A. Study of Equivalent Stress and Strain in Improved Valve Construction Hermetic Elements // International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE), -2024, 60 (3), - p.227-233.
3. Aslanov J.N., Mammadov Kh.S., Zeynalov N.A. Selection of structural materials for improved Liner motion gate valves based on friction correlation method // International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration (IJATEE), - 14 february, -2022, № 87, - p.155-166.
4. Mammadov Kh.S., Aslanov J.N., Zeynalov N.A. Tribological optimization and simulation of wedge-type gate valves for industrial use // "Nafta-Gaz" Oil and Gas Institute - National Research Institute; Cracow, Poland -2025, Vol (81), - p.625-637.
5. Lin Z, Sun X, Tianci Yu, Zhang Y, Li Yi, Zhu Z (2020) Gas–solid two-phase flow and erosion calculation of gate valve based on the CFD-DEM model. Powder Technol 366(15):395–407
6. Ming-Jyh. C. Performance test and flow visualization of ball valve / Chern Ming-Jyh, Chin-Cheng Wang, Chen Hsuan // Experimental Thermal and Fluid Science, - online: 2007. № 31, - p. 505-512.
7. Zhang, R., Liu, X., & Wei, Y. (2023). Finite element analysis of wear patterns in gate valve surfaces: Experimental validation and predictive modeling. Finite Elements in Analysis and Design, 206, 103605.
8. Ahmed, H., & Lee, J. (2021). CFD simulation of lubricant flow in gate valve sealing mechanisms. Journal of Fluid Engineering, 143(6), 061102.

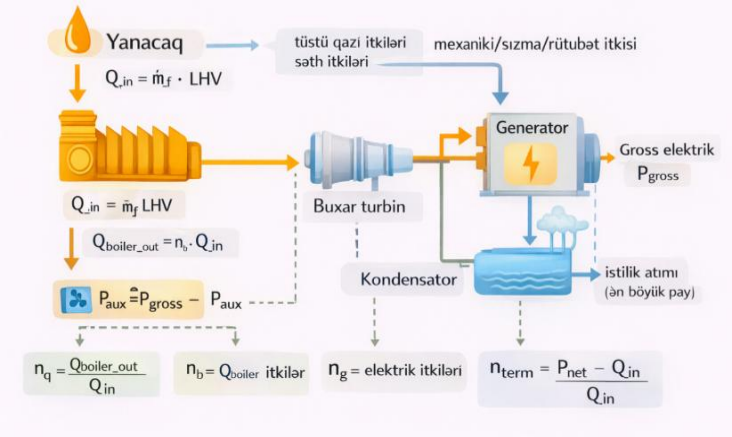
İES-DƏ ENERJİ SƏMƏRƏLİLİYİNİN ARTIRILMASI ÜZRƏ MODEL VƏ HESABLAMA ANALİZİ

Maftun Eynulla oglu Aliyev
Nakhchivan State University
Faculty of Architecture and Engineering, Power Engineering
Nakhchivan, Azerbaijan
meftunaliyev@ndu.edu.az
https://orcid.org/0009-0001-9956-6068

Sevinc Yagub gizi Novruzova
Nakhchivan State University
Faculty of Architecture and Engineering, Power Engineering
Nakhchivan, Azerbaijan
sevincnovruzova@ndu.edu.az
https://orcid.org/0009-0002-7335-5446

Abstract: *This study investigates methods for improving energy efficiency in thermal power plants (TPPs) through modeling and calculation analysis. The main objective of the research is to evaluate technical measures that can reduce energy losses and optimize fuel consumption during electricity generation. In the study, key performance indicators such as heat rate, overall efficiency and auxiliary power consumption are considered as baseline parameters and the effects of different modernization scenarios are analyzed. The proposed model allows a comparative evaluation of operational optimization and equipment modernization measures. The results show that improvements in combustion processes, condenser vacuum optimization and reduction of internal power consumption can significantly enhance plant efficiency and reduce fuel usage. The findings indicate that optimization of power plant operation contributes to both economic and environmental benefits.*
Keywords: *thermal power plant, energy efficiency, heat rate, energy modeling, fuel consumption*

İES-də enerji səmərəliliyinin artırılması üzrə model və hesablama analizi qurarkən məqsəd real istismar göstəricilərini bir "baza ssenarisi" kimi qəbul edib, daha sonra modernləşdirmə və optimallaşdırma tədbirlərinin hər birinin bu göstəricilərə təsirini sayısal olaraq qiymətləndirməkdir. Bu yanaşma həm texniki qərarvermə üçün əsaslandırma yaradır, həm də iqtisadi-ekoloji nəticələrin müqayisəli təhlilinə imkan verir (Yusibov, Abbasov, Musayev, Orucova; 2014). Beynəlxalq praktikada belə hesablamalar əsasən istilik sərfi və faydalı iş əmsalı kimi göstəricilər üzərində qurulur; çünki istilik sərfinin azalması birbaşa yanacaq sərfinin azalması və istehsal xərclərinin aşağı düşməsi ilə nəticələnir. Digər tərəfdən, ISO 50001 çərçivəsində "enerji bazası" və "enerji performans göstəriciləri"-nin seçilməsi bu modelləşdirmənin idarəetmə baxımından sistemləşdirilməsinə şərait yaradır (International Organization for Standardization, 2018).
Modelin qurulması üçün ilkin olaraq İES-in enerji çevrilmə zənciri və ölçülə bilən əsas parametrlər müəyyən edilir: yanacağın aşağı istilik dəyəri (LHV), yanacaq kütlə sərfi, qazan çıxış buxar parametrləri, turbinin daxili səmərəlilik göstəriciləri, kondensator təzyiqi (vakuumu) və soyutma rejimi, generator və transformator itkiləri, daxili ehtiyaclar (Стерман, Лавыгин, Тишин; 2008). Bu parametrlərin bir hissəsi birbaşa ölçülür, bir hissəsi isə performans test metodları ilə dəqiqləşdirilir. Performans testlərinin standartlaşdırılması modernləşdirmədən əvvəl və sonra nəticələrin müqayisə oluna bilən olmasını təmin edir. Aşağıdakı şəkil 1-də sxemi bazis enerji balansının qurulma məntiqini sadələşdirilmiş formada göstərir.



Şəkil 1. İES üçün bazis enerji balansı və göstəricilərin hesablanma sxemi

Bu sxem üzrə əsas enerji göstəriciləri aşağıdakı kimi müəyyən edilir. Net elektrik çıxışı:

$$P_{net} = P_{gross} - P_{aux} \quad (1)$$

Burada:

P_{gross} – generatorun istehsal etdiyi ümumi elektrik gücü

P_{aux} – stansiyanın daxili ehtiyacları (nasoslar, ventilyatorlar, nasos stansiyaları, idarəetmə sistemləri və s.) üçün sərf olunan elektrik gücü

P_{net} – elektrik şəbəkəsinə verilən xalis güc

İstilik sərfi (heat rate) – elektrik enerjisinin vahidinə düşən istilik girişi:

$$HR = \frac{Q_{in}}{E_{net}} \left(\frac{kC}{\text{kVt} \cdot \text{saat}}\right) \quad (2)$$

Burada E_{net} - net elektrik enerjisidir (kVt ·saat), Q_{in} isə yanacaqdan daxil olan istilik enerjisi (kC). Elektrik üzrə ümumi faydalı iş əmsalı (net):

$$\eta_{net} = \frac{(E_{net} \cdot 3600)}{Q_{in}} \quad (3)$$

($3600 - 1\,\text{kVt} \cdot \text{saat} = 3600\,kC$ çevirmə əmsalıdır) (Yusibov, Abbasov, Musayev, Orucova; 2014). Praktiki olaraq HR nə qədər kiçikdirsə, η_{net} bir o qədər böyük olur; yəni $HR \downarrow \rightarrow \eta_{net} \uparrow$.

Hesablama analizi üçün nümayiş xarakterli bir baza ssenarisi seçək: 300 MVt gücə malik kondensasiyalı buxar turbinli İES tam yüklənməyə yaxın rejimdə işləyir. Elektrik sektorunda geniş istifadə olunan yanaşmaya uyğun olaraq bazis göstəricini heat rate götürək. Tutaq ki, bazis istismar məlumatlarında net heat rate HR_0 = 10 000 kJ/kWh qəbul olunur. Bu halda net səmərəlilik:

$$\eta_0 = \frac{3600}{10\,000} = 0.36\ (\approx 36\%) \quad (4)$$

Əgər stansiyanın net elektrik gücü P_{net}= 300 MVt olarsa, 1 saatda net enerji E_{net}= 300 000 kVt ·saat təşkil edir. Saatlıq istilik girişi:

$$Q_{in} = HR^0 \cdot E_{net} = 10\,000 \cdot 300\,000 = 3\,000\,000\,000 \frac{kC}{saat} = 3\,000\,000 \frac{MC}{saat} \quad (5)$$

Yanacağın aşağı istilik dəyərini LHV = 24 MC/kg götürdükdə, saatlıq yanacaq sərfi:

$$\dot{m}_f = \frac{Q_{in}}{LHV} = \frac{3\,000\,000}{24} = 125\,000 \frac{kg}{saat} = 125 \frac{t}{saat} \quad (6)$$

Bu sadə hesablamalar göstərir ki, HR-də kiçik faizlə azalma belə böyük güclü stansiyada yanacaq sərfinə ciddi təsir edir; bu da modernləşdirmə tədbirlərinin iqtisadi dəyərini əsaslandırmağa imkan verir (Məmmədov, 2016). Baza ssenarisindən sonra modernləşdirmə və optimallaşdırma tədbirləri "ssenari analizi" kimi qurulur. Burada məqsəd hər tədbir üçün HR-də gözlənilən nisbi azalma fərziyyəsi qəbul edib, yanacaq qənaətini, əlavə enerji

istehsalını və mümkün emissiya azalmasını hesablamaqdır. Beynəlxalq hesabatlarda və istismar analizlərində tədbirlər çox vaxt "operational improvements", "equipment retrofit" və "deep retrofit/repowering" kimi qruplaşdırılır. Aşağıdakı ssenarilər həmin məntiqə uyğun qurulur və hər ssenaridə dəyişən əsas parametr HR və/ya P_{aux} hesab olunur.

Ssenari A – yanma optimallaşdırması və qazan istilik mübadiləsinin yaxşılaşdırılması. Yanma prosesində hava-yanacaq nisbətinin dəqiqləşdirilməsi, yandırıcıların sazlanması, tüstü qazı temperaturunun azaldılması və istilik mübadilə səthlərinin çirklənmədən qorunması qazan səmərəliliyinə birbaşa təsir edir (Yusibov, Abbasov, Musayev, Orucova; 2014). Bu tədbirlər adətən "aşağı xərc – yüksək effekt" qrupunda qiymətləndirilir və HR-də 1–3% yaxşılaşma potensialı verə bilir. Modelləşdirmədə $\Delta HR_A = -2\%$ qəbul etsək:

$$HR_A = 9800\frac{kC}{\text{kVt} \cdot \text{saat}}, \eta_A = \frac{3600}{9800} = 36.73\% \quad (7)$$

1 saat üçün Q_{in}: Q_{in}, A = 9800 · 300 000 = 2 940 000 000 kC = 2 940 000 MC.

Yanacaq sərfi: $\dot{m}_f$, A = 2 940 000/24 = 122 500 kg/saat.

Qənaət: 125 000 − 122 500 = 2 500 kg/saat = 2.5 t/saat. Bu rəqəm 24 saatda 60 ton, ay miqyasında isə böyük həcm deməkdir; buna görə əməliyyat optimallaşdırmasının ilk mərhələdə prioritetləşdirilməsi praktikada geniş tətbiq olunur.

Ssenari B – kondensator vakuumunun yaxşılaşdırılması və soyutma sisteminin optimallaşdırılması. Kondensator təzyiqinin yüksəlməsi turbinin genişlənmə dərəcəsini azaldır, net gücü aşağı salır və HR-i pisləşdirir; buna görə kondensator borularının təmizliyi, hava sızmalarının azaldılması və soyutma rejiminin düzgün qurulması səmərəliliyə əhəmiyyətli təsir göstərir (Стерман, Лавыгин, Тишин; 2008). Modelləşdirmədə bu tədbirin HR-də $\Delta HR_B = -1.5\%$ effekt verdiyini qəbul edək:

$$HR_B = 9850\frac{kC}{kVt \cdot saat}, \eta_B \approx 36.55\% \quad (8)$$

Yanacaq qənaəti 1 saatda təxminən: 125 000 − (9850·300 000 / (24·1000)) ≈ 1.9 t/saat. Bu tip tədbirlər çox vaxt avadanlıq yenilənməsi tələb etmədən, texniki xidmət və rejim nəzarəti ilə əldə olunduğu üçün "ən əlçatan" modernləşdirmə tədbirlərindən sayılır (Стерман, Лавыгин, Тишин; 2008).

Ssenari C – daxili ehtiyacların azaldılması. Daxili ehtiyacların payı artdıqca net çıxış azalır və eyni yanacaq girişində net səmərəlilik pisləşir (Məmmədov, 2016). Tutaq ki, bazada daxili ehtiyaclar P_{aux}, 0 = 24 MVt (gross 324 MVt → net 300 MVt) təşkil edir. Modernləşdirmə ilə daxili ehtiyaclar 2 MVt azaldılır: P_{aux}, C = 22 MVt, deməli net güc P_{net}, C = 302 MVt olur (Məmmədov, 2016). Bu yanaşmada HR-ni net enerjiyə görə yenidən hesablayırıq: 1 saatda E_{net}, C = 302 000 $kVt \cdot saat$ Əgər Q_{in} bazadakı kimi 3 000 000 MC/saat saxlanırsa,

$$HR_C = \frac{\left(3\,000\,000\,MC \cdot 1000\frac{kC}{MC}\right)}{302\,000\,kVt \cdot saat} \approx 9934\frac{kC}{kVt \cdot saat}, \quad (9)$$

yəni net HR təxminən 0.66% yaxşılaşır. Bu, "enerjini daha çox istehsal etmək" deyil, "istehsal edilən enerjidən daha azını özünə sərf etmək" prinsipi ilə net səmərəliliyin artırılmasıdır (Məmmədov, 2016).

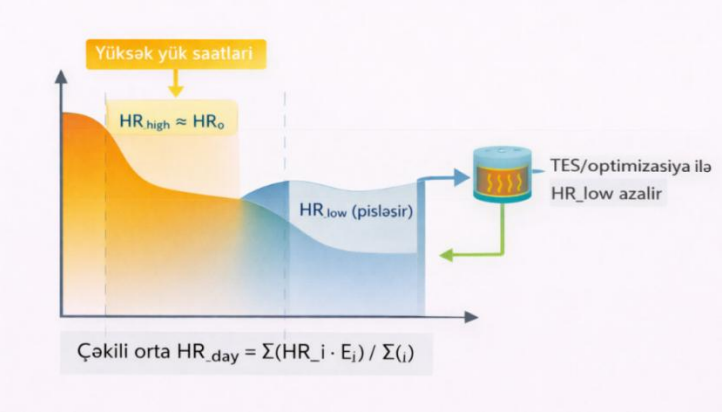
Ssenari D – turbin axın hissəsinin modernləşdirilməsi və mərhələdaxili itkilərin azaldılması. Turbin daxili səmərəliliyi qanad profillərinin vəziyyəti, sızmalar, rütubətlənmə və aerodinamik itkilərdən ciddi asılıdır; axın hissəsinin bərpası və optimallaşdırılması HR-də orta səviyyəli yaxşılaşma verə bilər (Стерман, Лавыгин, Тишин; 2008). Modelləşdirmədə $\Delta HR_D = -3\%$ qəbul edək:

$$HR_D = 9700\frac{kC}{kVt \cdot saat}, \eta_D \approx 37.11\%. \quad (10)$$

Yanacaq qənaəti: (10 000−9700)/10 000 = 3% → 125 t/saat · 3% = 3.75 t/saat. Bu tədbir artıq avadanlıq müdaxiləsi tələb etdiyindən investisiya səviyyəsi daha yüksəkdir, lakin uzunmüddətli istismarda böyük yanacaq qənaəti yarada bilər (Стерман, Лавыгин, Тишин; 2008).

Ssenari E – istilik enerjisinin saxlanması (TES) və ya power-to-heat (P2H) inteqrasiyası ilə çeviklik və əməliyyat səmərəliliyi. TES inteqrasiyası birbaşa "termik dövr səmərəliliyi"ni artırmaqdan əlavə, stansiyanın

qeyri-optimal rejimlərdə işləməsindən doğan itkiləri azaltmağa yönəlir (Miao, Liu, Zhang, Zhao, Yan; 2023). Yəni təsir mexanizmi daha çox "rejim sabitliyi" və "optimal yüklənmədə işləmə payının artması" üzərindən formalaşır. Miao və b. kömür stansiyasının power-to-heat əsaslı istilik saxlama sistemi ilə inteqrasiyasını enerji-eksergi-iqtisadi aspektdə qiymətləndirərək çeviklik və səmərəlilik arasında kompromisin modelləşdirilməsini göstərirlər (Miao, Liu, Zhang, Zhao, Yan; 2023). Roldán Serrano və b. rock-bed TES retrofiti ilə istilik bərpası və istismar rejiminin yumşaldılması imkanlarını təhlil edirlər (Roldán Serrano, Knobloch, Giuliano, Engelbrecht, Hirsch; 2023). Sadələşdirilmiş modelləşdirmədə TES-in əsas təsiri kimi aşağı yüklərdə HR-in pisləşməsinin bir hissəsinin kompensasiya edildiyi qəbul olunur. Məsələn, stansiya gün ərzində 6 saat 60% yüklə işləyirsə və bu rejimdə HR 10 800 $kC/\ kVt\ \cdot saat$-a qalxırsa, TES/optimizasiya sayəsində həmin saatlarda HR 10 500 $kC/\ kVt\ \cdot saat$ -ə endirilə bilər. Bu cür "yük-rejim əsaslı" model İES-lərin real istismar şərtlərinə daha uyğundur və praktiki qərarvermədə faydalıdır (Miao, Liu, Zhang, Zhao, Yan; 2023). Bunun üçün göstəricilər saatlıq yük qrafikinə görə çəkilənir və "günlük orta HR" hesablanır. Aşağıda şəkil 2-də bu məntiqi göstərən qısa sxem verilir.



Şəkil 2. Yük qrafiki əsaslı səmərəlilik modeli (TES/optimizasiya təsiri ilə)

Bu modelin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, modernləşdirmə tədbirlərinin bir hissəsi tam yüklənmədə deyil, məhz qeyri-optimal rejimlərdə daha çox fayda verir və bunu orta göstəricilərdə əks etdirmək mümkündür (Miao, Liu, Zhang, Zhao, Yan; 2023). Bu yanaşma ISO 50001-in EnPI və baseline konsepsiyası ilə də uzlaşır: bazis dövrdə enerji performansı "yük, hava temperaturu, soyutma suyu temperaturu" kimi amillərə görə normallaşdırılır, sonra tədbirin təsiri həmin normallaşdırma fonunda qiymətləndirilir (International Organization for Standardization, 2018).

Yuxarıdakı ssenariləri müqayisəli göstərmək üçün sadə yekun cədvəl təqdim olunur.

Cədvəl 1. Baza və ssenarilər üzrə HR və yanacaq sərfi müqayisəsi (300 MVt net, LHV=24 MJ/kg)

Variant	HR (kC/ $\boldsymbol{kVt\ \cdot saat}$)	$\boldsymbol{\eta_{net}}$ (%)	Yanacaq sərfi (t/saat)	Qənaət (t/saat)
Baza (0)	10 000	36.00	125.00	–
A: Yanma/qazan optim.	9 800	36.73	122.50	2.50
B: Kondensator/soyutma	9 850	36.55	123.13	1.87
C: Daxili ehtiyac−2 MVt	~9 934	~36.24	~124.18	~0.82
D: Turbin retrofit	9 700	37.11	121.25	3.75

Bu cədvəl 1-də diqqət çəkən məqam odur ki, səmərəlilik artımı tədbirləri müxtəlif mexanizmlərlə işləyir: A və B əsasən istilik itkilərini azaltmaqla Q_{in}-i aşağı salır; C net çıxışı artıraraq HR-i yaxşılaşdırır; D isə çevrilmənin daxili itkilərini azaldaraq eyni elektrik üçün daha az istilik girişi tələb edir (Стерман, Лавыгин, Тишин; 2008). Real layihələndirmədə bu tədbirlər bir paket kimi birləşdirilə bilər və bu zaman təsirlər tam toplanmasa da,

ümumi nəticə daha böyük olur. Məsələn, yanma optimallaşdırması + kondensator yaxşılaşdırması birlikdə tətbiq olunduqda HR-də 3–4% səviyyəsində ümumi yaxşılaşma mümkün ola bilər; bu da stansiyanın illik yanacaq xərclərinə ciddi təsir edir.

Modelin elmi əsaslandırılmasında yalnız enerji analizi deyil, eksergi analizi də mühüm rol oynayır. Eksergi yanaşması enerji axınlarının keyfiyyətini (faydalı iş potensialını) qiymətləndirir və itkilərin harada "geri dönməz" şəkildə formalaşdığını daha dəqiq göstərir. Məsələn, kondensatorla atılan istilik enerji balansında ən böyük pay olsa da, onun eksergi dəyəri daha aşağı ola bilər; buna görə modernləşdirmə prioriteti seçilərkən enerji payı ilə yanaşı eksergi məhvetmə (exergy destruction) göstəricilərinin də təhlili qərarverməni gücləndirir (Mahamud, Khan, Rasul, Leinster; 2013). Bu yanaşma xüsusən ORC və TES kimi texnologiyaların seçimi zamanı əhəmiyyətlidir, çünki həmin texnologiyalar məhz "aşağı/orta temperatur səviyyəsində qalan potensialı" reallaşdırmağa yönəlir (Katulić, Čehil, Schneider; 2018).

Praktiki tətbiq üçün modelin son mərhələsində iqtisadi qiymətləndirmə blokunun əlavə edilməsi məqsədəuyğundur. Yanacaq qənaəti (t/saat) qiymət göstəricisi (AZN/t və ya USD/t) ilə vurularaq saatlıq qənaət, sonra illik iş saatı ilə vurularaq illik qənaət hesablanır. Bununla paralel olaraq, emissiya faktorları (məsələn, CO_2/t yanacaq) tətbiq edilərək ekoloji nəticələr də qiymətləndirilə bilər. IEA hesabatlarında modernləşdirmə tədbirlərinin emissiya azalmasına təsiri yanacaq sərfinin azalması ilə birbaşa əlaqələndirilir və bu yanaşma layihə əsaslandırılmasında geniş istifadə olunur. Dünya Bankı qiymətləndirmələrində isə modernləşdirmə tədbirlərinin iqtisadi səmərəsi yalnız yanacaq qənaəti ilə deyil, etibarlılıq və istismar risklərinin azalması ilə birlikdə nəzərdən keçirilir. Bu isə onu göstərir ki, modelin tətbiqi yalnız "HR nə qədər azaldı" sualı ilə məhdudlaşmamalı, həm də "stansiyanın istismar dayanıqlığı və çevikliyi necə dəyişdi" sualını da əhatə etməlidir (Miao, Liu, Zhang, Zhao, Yan; 2023).

Göstəricilərin idarəedilməsi baxımından modelin "enerji performans paneli" kimi qurulması da praktik üstünlük yaradır: hər gün/ay üzrə HR, η_{net}, P_{aux} payı, kondensator vakuumu, tüstü qazı O_2/CO, qazan çıxış temperaturu kimi indikatorlar izlənir, sapmalar aşkar edilərək düzəldici tədbirlər görülür. Bu sistemli yanaşma ISO 50001-in "planla–icra et–yoxla–təkmilləşdir" dövrü ilə uzlaşır və enerji səmərəliliyinin davamlı saxlanmasına xidmət edir (International Organization for Standardization, 2018). Beləliklə, təqdim olunan model İES-lərdə enerji səmərəliliyinin artırılması tədbirlərinin həm texniki, həm də idarəetmə baxımından əsaslandırılması üçün tətbiq yönümlü hesablamalar aparmağa imkan verir; tədbirlərin seçimi isə stansiyanın real ölçmə məlumatları əsasında dəqiqləşdirilməlidir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

9. International Organization for Standardization (ISO). *ISO 50001: Energy management systems – Requirements with guidance for use (ISO 50001:2018).*

10. Katulić, S.; Čehil, M.; Schneider, D.R. Thermodynamic efficiency improvement of combined cycle power plant's bottom cycle based on organic working fluids. *Energy*, 2018, 147, 36–50. DOI: 10.1016/j.energy.2018.01.033.

11. Mahamud, R.; Khan, M.M.K.; Rasul, M.G.; Leinster, M.G. Exergy Analysis and Efficiency Improvement of a Coal Fired Thermal Power Plant in Queensland. In: *Thermal Power Plants – Advanced Applications*. InTech, 2013, pp. 3–28. DOI: 10.5772/55574.

12. Məmmədov, S.Z. *Elektrik enerjisinin istehsalı: dərslik.* Gəncə, 2016.

13. Miao, L.; Liu, M.; Zhang, K.; Zhao, Y.; Yan, J. Energy, exergy, and economic analyses on coal-fired power plants integrated with the power-to-heat thermal energy storage system. *Energy*, 2023, 284, 129236. DOI: 10.1016/j.energy.2023.129236.

14. Roldán Serrano, M.I.; Knobloch, K.; Giuliano, S.; Engelbrecht, K.; Hirsch, T. Retrofit of a coal-fired power plant with a rock bed thermal energy storage. *Journal of Energy Storage*, 2023. DOI: 10.1016/j.est.2023.109238.

15. Yusibov, F.M.; Abbasov, Q.İ.; Musayev, T.N.; Orucova, N.Q. *İstilik texnikası və energetik qurğular: dərslik.* Gəncə: ADAU nəşriyyatı, 2014. 434 s.

16. Стерман, Л.С.; Лавыгин, В.М.; Тишин, С.Г. *Тепловые и атомные электрические станции: учебник.* 4-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 463 с.

DİFFUZİON ÖRTÜKLƏR ÇƏKMƏKLƏ MAŞIN HİSSƏLƏRİNİN SƏTH QATININ XASSƏLƏRİNİN YÜKSƏLDİLMƏSİNİN TƏDQİQİ

Vurğun Qəhrəmanov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Mexanika mühəndisliyinin müasir problemləri
XARDALAN, AZƏRBAYCAN
vqahremanov@beu.edu.az

Rəvan Rüstəmzadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Mexanika mühəndisliyinin müasir problemləri
XARDALAN, AZƏRBAYCAN
rrustemzade@std.beu.edu.az

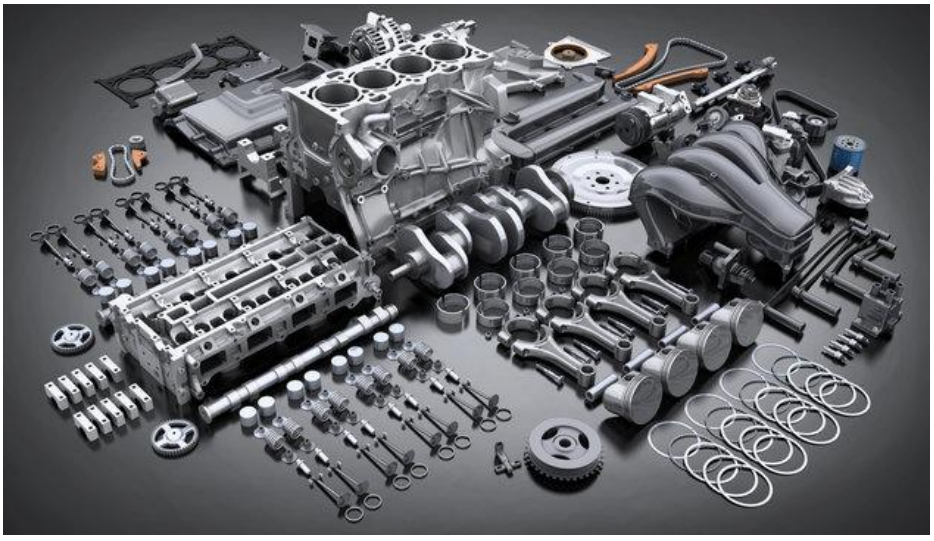
Xülasə: Bu məqalədə maşın hissələrinin səth qatının möhkəmləndirilməsi üçün diffuzion örtük texnologiyalarının tətbiqi araşdırılır. Diffuzion örtüklər materialın səth qatında kimyəvi elementlərin diffuziyası nəticəsində yaranır və səthin mexaniki, fiziki və triboloji xassələrini yaxşılaşdırır. Bu texnologiya maşın hissələrinin aşınmaya və korroziyaya davamlılığını artırır, həmçinin onların istismar müddətini uzadır. Bu məqalədə maşın hissələrinin səth qatının möhkəmləndirilməsi üçün diffuzion örtük texnologiyalarının tətbiqi araşdırılır.

Abstract: This article examines the application of diffusion coating technologies for strengthening the surface layer of machine parts. Diffusion coatings are formed as a result of the diffusion of chemical elements in the surface layer of the material and improve the mechanical, physical and tribological properties of the surface. This technology increases the wear and corrosion resistance of machine parts, as well as extends their service life. This article examines the application of diffusion coating technologies for strengthening the surface layer of machine parts.

Açar sözlər: *Emal, azotlama, silisiumlama, karbid*
Key words: *Machining, nitriding, silicification, carbide*

I. GİRİŞ

Diffuzion örtüklər materialın səth qatında kimyəvi elementlərin diffuziyası nəticəsində yaranır və səthin mexaniki, fiziki və triboloji xassələrini yaxşılaşdırır. Bu texnologiya maşın hissələrinin aşınmaya və korroziyaya davamlılığını artırır, həmçinin onların istismar müddətini uzadır.Bu məqalədə maşın hissələrinin səth qatının möhkəmləndirilməsi üçün diffuzion örtük texnologiyalarının tətbiqi araşdırılır. Diffuzion örtüklər materialın səth qatında kimyəvi elementlərin diffuziyası nəticəsində yaranır və səthin mexaniki, fiziki və triboloji xassələrini yaxşılaşdırır. Bu texnologiya maşın hissələrinin aşınmaya və korroziyaya davamlılığını artırır, həmçinin onların istismar müddətini uzadır.



Şəkil 1.

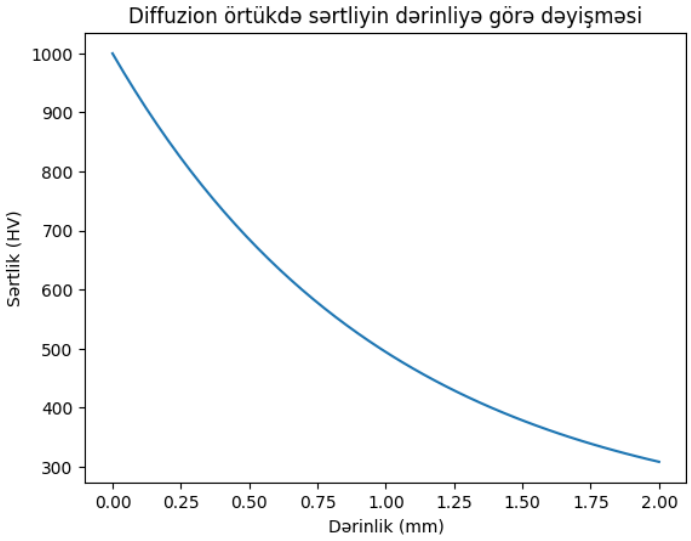
Müasir maşınqayırma sənayesində maşın hissələrinin etibarlılığı və davamlılığı böyük əhəmiyyət daşıyır. Sürtünmə, mexaniki yüklər və korroziya kimi amillər ilk növbədə hissələrin səth qatına təsir edir. Bu səbəbdən səthin möhkəmləndirilməsi mühəndislik baxımından vacib texnoloji istiqamətlərdən biridir. Diffuzion örtüklər səth mühəndisliyində geniş istifadə olunan üsullardan biridir. Bu üsul materialın səth qatının kimyəvi tərkibini dəyişdirərək onun mexaniki xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırır.Müasir maşınqayırma sənayesində maşın hissələrinin etibarlılığı və davamlılığı böyük əhəmiyyət daşıyır. Sürtünmə, mexaniki yüklər və korroziya kimi amillər ilk növbədə hissələrin səth qatına təsir edir. Bu səbəbdən səthin möhkəmləndirilməsi mühəndislik baxımından vacib texnoloji istiqamətlərdən biridir. Diffuzion örtüklər səth mühəndisliyində geniş istifadə olunan üsullardan biridir. Bu üsul materialın səth qatının kimyəvi tərkibini dəyişdirərək onun mexaniki xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırır. Müasir maşınqayırma sənayesində maşın hissələrinin etibarlılığı və davamlılığı böyük əhəmiyyət daşıyır. Sürtünmə, mexaniki yüklər və korroziya kimi amillər ilk növbədə hissələrin səth qatına təsir edir. Bu səbəbdən səthin möhkəmləndirilməsi mühəndislik baxımından vacib texnoloji istiqamətlərdən biridir. Diffuzion örtüklər səth mühəndisliyində geniş istifadə olunan üsullardan biridir. Bu üsul materialın səth qatının kimyəvi tərkibini dəyişdirərək onun mexaniki xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırır.

II. DİFFUZİYA PROSESİNİN FİZİKİ ƏSASLARI

Diffuziya atomların konsentrasiya fərqi nəticəsində bir mühitdən digər mühitə keçməsi prosesidir. Metallarda diffuziya əsasən yüksək temperatur şəraitində baş verir.
Bu zaman atomlar kristal qəfəs daxilində hərəkət edərək yeni fazalar əmələ gətirə bilər.
Diffuzion örtük texnologiyasında əsas materialın səth qatına karbon, azot, bor və digər elementlər daxil olur. Bu proses nəticəsində səthin mikrostrukturu dəyişir və daha möhkəm qat formalaşır.Diffuziya atomların konsentrasiya fərqi nəticəsində bir mühitdən digər mühitə keçməsi prosesidir. Metallarda diffuziya əsasən yüksək temperatur şəraitində baş verir.Bu zaman atomlar kristal qəfəs daxilində hərəkət edərək yeni fazalar əmələ gətirə bilər.
Diffuzion örtük texnologiyasında əsas materialın səth qatına karbon, azot, bor və digər elementlər daxil olur. Bu proses nəticəsində səthin mikrostrukturu dəyişir və daha möhkəm qat formalaşır.Diffuziya atomların konsentrasiya fərqi nəticəsində bir mühitdən digər mühitə keçməsi prosesidir. Metallarda diffuziya əsasən yüksək temperatur şəraitində baş verir.Bu zaman atomlar kristal qəfəs daxilində hərəkət edərək yeni fazalar əmələ gətirə bilər.
Diffuzion örtük texnologiyasında əsas materialın səth qatına karbon, azot, bor və digər elementlər daxil olur. Bu proses nəticəsində səthin mikrostrukturu dəyişir və daha möhkəm qat formalaşır.

III. DİFFUZİON ÖRTÜKLƏRİN ƏSAS NÖVLƏRİ

Karbürləşdirmə – poladın səth qatının karbonla zənginləşdirilməsi prosesidir.
Azotlaşdırma – səth qatına azot diffuziya edir və nitrid fazaları əmələ gətirir.
Borlaşdırma – bor elementinin diffuziyası nəticəsində çox sərt borid qatları yaranır.
Xromlaşdırma – korroziyaya və oksidləşməyə qarşı dayanıqlığı artırır.
Bu üsullar maşın hissələrinin iş şəraitindən asılı olaraq seçilir.Karbürləşdirmə – poladın səth qatının karbonla zənginləşdirilməsi prosesidir. Azotlaşdırma – səth qatına azot diffuziya edir və nitrid fazaları əmələ gətirir. Borlaşdırma – bor elementinin diffuziyası nəticəsində çox sərt borid qatları yaranır. Xromlaşdırma – korroziyaya və oksidləşməyə qarşı dayanıqlığı artırır.Bu üsullar maşın hissələrinin iş şəraitindən asılı olaraq seçilir.Karbürləşdirmə – poladın səth qatının karbonla zənginləşdirilməsi prosesidir. Azotlaşdırma – səth qatına azot diffuziya edir və nitrid fazaları əmələ gətirir. Borlaşdırma – bor elementinin diffuziyası nəticəsində çox sərt borid qatları yaranır. Xromlaşdırma – korroziyaya və oksidləşməyə qarşı dayanıqlığı artırır.Bu üsullar maşın hissələrinin iş şəraitindən asılı olaraq seçilir. Şəkil 2-də diffuziya olunmuş qatda müxtəlif dərinliklərdə bərkliklərin dəyişilməsi göstərilmişdir.



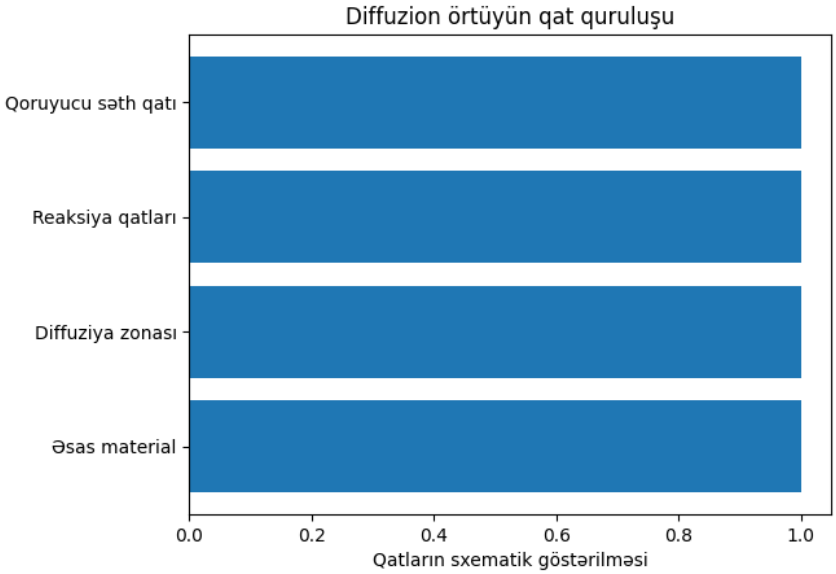
Ş

Şəkil 2. Diffuziya qatında bərkliyin dərinliyə görə dəyişməsi

IV. DİFFUZİON ÖRTÜKLƏRİN ÜSTÜNLÜKLƏRİ

Diffuzion örtüklər digər səth möhkəmləndirmə üsullarından bir sıra üstünlüklərə malikdir. Bu örtüklər əsas material ilə möhkəm metallurgiya rabitəsi yaradır və yüksək davamlılıq təmin edir.

Şəlkil 3-də diffuziya olunmuş qatlar sxematik olaraq göstərilmişdir.

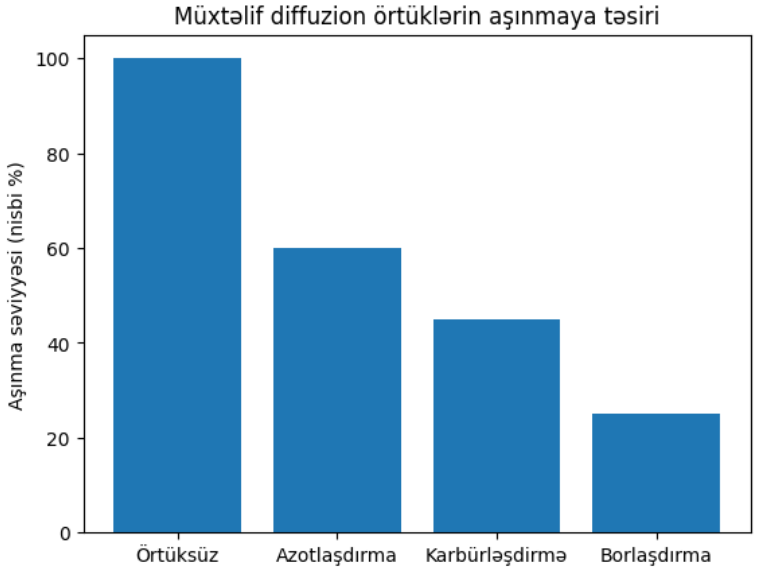


Şəkil 3. Diffuzion örtüyün qat quruluşunun sxematik göstərilməsi.

Əsas üstünlüklər:

- Səthin bərkliyinin artması
- Aşınmaya davamlılığının yüksəlməsi
- Korroziyaya qarşı müqavimətin artması
- Yüksək temperatur dayanıqlılığı. Diffuzion örtüklər başqa səth möhkəmləndirmə üsullarından bir sıra üstünlüklərə malikdir. Bu örtüklər əsas material ilə möhkəm əlaqə (rabitə) yaradır və yüksək davamlılıq təmin edir
- Yüksək temperatur dayanıqlılğı.

Diffuzion örtüklər avtomobil, aviasiya, energetika və neft-qaz sənayesində geniş tətbiq olunur. Dişli çarxlar, vallər, rulman hissələri və turbina elementləri bu texnologiya ilə möhkəmləndirilir. Bu texnologiya avadanlıqların xidmət müddətini artırır və texniki xidmət xərclərini azaldır.Diffuzion örtüklər avtomobil, aviasiya, energetika və neft-qaz sənayesində geniş tətbiq olunur. Dişli çarxlar, vallər, rulman hissələri və turbina elementləri bu texnologiya ilə möhkəmləndirilir. Bu texnologiya avadanlıqların xidmət müddətini artırır və texniki xidmət xərclərini azaldır.Diffuzion örtüklər avtomobil, aviasiya, energetika və neft-qaz sənayesində geniş tətbiq olunur. Dişli çarxlar, vallər, rulman hissələri və turbina elementləri bu texnologiya ilə möhkəmləndirilir. Bu texnologiya avadanlıqların xidmət müddətini artırır və texniki xidmət xərclərini azaldır. Diffuziya olunmuş qatların aşılanmaya təsirləri müxtəlifdir (şəkil 4)



Şəkil 3. Müxtəlif diffuzion örtüklərin aşınmaya təsirinin müqayisəsi.

V. NƏTİCƏ

Diffuzion örtüklərin tətbiqi maşın hissələrinin səth qatının xassələrinin yaxşılaşdırılmasında mühüm rol oynayır.

Bu texnologiya aşınmaya və korroziyaya qarşı davamlılığı artıraraq maşınların istismar müddətini uzadır.

Gələcəkdə yeni diffuzion materialların və texnologiyaların inkişafı bu sahədə daha yüksək nəticələr əldə etməyə imkan verəcəkdir.

Diffuzion örtüklərin tətbiqi maşın hissələrinin səth qatının xassələrinin yaxşılaşdırılmasında mühüm rol oynayır.

Bu texnologiya aşınmaya və korroziyaya qarşı davamlılığı artıraraq maşınların istismar müddətini uzadır.

Gələcəkdə yeni diffuzion materialların və texnologiyaların inkişafı bu sahədə daha yüksək nəticələr əldə etməyə imkan verəcəkdir.Diffuzion örtüklərin tətbiqi maşın hissələrinin səth qatının xassələrinin yaxşılaşdırılmasında mühüm rol oynayır.

Bu texnologiya aşınmaya və korroziyaya qarşı davamlılığı artıraraq maşınların istismar müddətini uzadır.

Gələcəkdə yeni diffuzion materialların və texnologiyaların inkişafı bu sahədə daha yüksək nəticələr əldə etməyə imkan verəcəkdi.

İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT

1. Callister W.D. Materials Science and Engineering.
2. ASM Handbook: Surface Engineering.
3. Surface Engineering and Diffusion Coatings, Springer.
4. Maşınqayırmada səth möhkəmləndirmə texnologiyaları.

ZƏNCİR BİRLƏŞMƏLƏRİNDƏKİ TƏMAS DEFORMASİYALARI SƏBƏBİNDƏN ZƏNCİRVARİ ÖTÜRÜCÜ QOLUNUN KİÇİK ENİNƏ TİTRƏMƏLƏRİNDƏN YARANAN ENERJİ İTKİLƏRİ

Balaxan Əliyev
Mexanika mühəndisliyi kafedrası
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
baeliyev@beu.edu.az

Günay Zərbaliyeva
Mühəndislik fakültəsi
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
gzarbaliyeva@beu.edu.az

Azadə Verdiyeva
Mexanika mühəndisliyi kafedrası
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
averdiyeva@std.beu.edu.az

Xülasə. *Bu məqalədə zəncir ötürücü şaxələrində kiçik eninə salınımların sönməsinin analitik tədqiqatı təqdim olunur. Məqalədə kiçik dişli çarx kütlələri və birləşdirilmiş komponentləri olan zəncir ötürücülərinə xas olan, ötürücü şaxəsinin ötürücü vallarının burulması nəticəsində ötürücü dişli çarxlarının yavaş bucaqlı harmonik salınımları zamanı onun əyilməsindəki dəyişikliklərlə əlaqəli salınımları araşdırılır. Göstərilir ki, bu cür salınımların enerjisinin bir hissəsi zəncir menteşələrində elastik tangensial kontakt deformasiyaları ilə yayılır. Hesablama düsturları nəzərdən keçirilən salınımların hər dövrü üçün mütləq enerji yayılması və udma əmsalı şəklində zəncirlərin dissipativ xüsusiyyətlərini təyin etmək üçün əldə edilir. Bu düsturlar zəncir parametrlərinin və salınım amplitudasının onların sönmə xüsusiyyətlərinə təsirini qiymətləndirməyə imkan verir. Bu tədqiqatın nəticələri müxtəlif sənaye sahələrindəki maşınlar üçün zəncir ötürücülərinin dinamikasını öyrənməkdə istifadə edilə bilər.*

Açar sözlər: *zəncir ötürücüsü, salınım sönməsi, zəncir menteşəsi, kontakt deformasiyaları, udma əmsalı*.

I. GİRİŞ

Zəncirvari ötürücülər, çoxsaylı üstünlüklərinə görə [1], nəqliyyat və kənd təsərrüfatı maşınları ötürücülərində, eləcə də tekstil və yüngül sənaye maşınları da daxil olmaqla geniş sənaye maşınlarında geniş istifadə olunur. Bununla belə, qeyd etmək lazımdır ki, zəncirvari ötürücülərə xas olan artan səs-küy və vibrasiya aktivliyi, xüsusən də yüksək sürət və yüklərdə işləyərkən, işləmənin hamarlığına və ötürücü aktuatorun vibrasiya müqavimətinə mənfi təsir göstərir.

Buna görə də, zəncirvari ötürücülərin sönmə xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi, maşın ötürücülərinin vibrasiya müqavimətini qiymətləndirmək və onu təkmilləşdirmək üçün dizayn tədbirləri hazırlamaq məqsədilə onların dinamikasının öyrənilməsində vacib və aktual məsələdir.

Zəncirvari ötürücülərdə vibrasiya enerjisinin yayılması əsasən struktur sönmədir və dişli çarxların vallarla sabit açarlı və ya şinli birləşmələrində təmas deformasiyaları, zəncir menteşələri dişli çarx dişlərinə toxunduqda zərbə qarşılıqlı təsirləri və silindrik zəncir menteşələrində xarici sürtünmə və elastik təmas deformasiyaları səbəbindən itkilərlə əlaqələndirilir.

Zəncir birləşmələrində vibrasiya enerjisinin yayılması məsələsi əsas məsələdir və hələ də kifayət qədər öyrənilməmişdir.

II. PROBLEMİN QOYULUŞU

Zəncirvari ötürücü budaqlarının uzununa titrəmələri yalnız zəncir şaquli olduqda və ya budaqların düzlüyünü qoruyaraq istiqamətləndirici relslər olduqda baş verir. Bu halda, zəncir birləşmələrində sürüşmə olmadıqda, titrəmə enerjisinin sönməsi yalnız birləşmələrdə normal elastik təmas deformasiyaları səbəbindən baş verir ki, bunun da böyüklüyü birləşdirici halqaların deformasiyalarını əhəmiyyətli dərəcədə üstələyir. Bu cür titrəmələrdən enerjinin yayılması ilə bağlı tədqiqatların nəticələri elmi ədəbiyyatda təqdim olunur [2].

Əksər hallarda zəncirvari ötürücülərdə zəncir birləşmələrinin eninə titrəmələri baş verir. Bu proses zamanı titrəmə enerjisinin yayılması, əsasən aparıcı birləşmənin birləşmələrində yerli sürüşmə və elastik təmas

deformasiyaları səbəbindən sürtünmə itkiləri səbəbindən baş verir ki, onların gərginlik qüvvəsi idarə olunan birləşmənin gərginlik qüvvəsindən xeyli yüksəkdir. Bir birləşmədə hər dövr üçün vibrasiya enerjisinin ümumi yayılması bu itkilərin cəminə bərabərdir və bunların hər biri amplitudanın öz hissəsi ilə müəyyən edilir. Birləşmələrdə yerli sürüşmə zamanı sürtünmə enerji itkiləri səbəbindən bir ötürücü zəncir ötürücüsünün idarə olunan dişli çarxının kiçik burulma vibrasiyaları ilə əlaqəli eninə zəncir vibrasiyalarının sönməsi ilə bağlı tədqiqatın nəticələri nəşrimizdə təqdim olunur [3]. Lakin, məsələn, bir emal maşınının sürücü dinamikasının daha dəqiq hesablamalarında, eyni birləşmələrdə elastik tangensial kontakt deformasiyaları səbəbindən əlavə enerji yayılmasını nəzərə almaq lazımdır. Bu məsələ bu məqalədə təqdim olunan analitik tədqiqatın mövzusudur.

III. PROBLEMİN HƏLL YOLU

Baxılan halda, kiçik dişli çarx kütlələri və onlara birləşdirilmiş komponentləri olan transmissiyalar üçün tipik olan, aparıcı zəncir şaxəsinin rəqsləri, dişli çarxların vallarının burulması nəticəsində yaranan yavaş harmonik bucaq rəqsləri zamanı onun əyilməsindəki dəyişikliklərlə əlaqələndirilir.

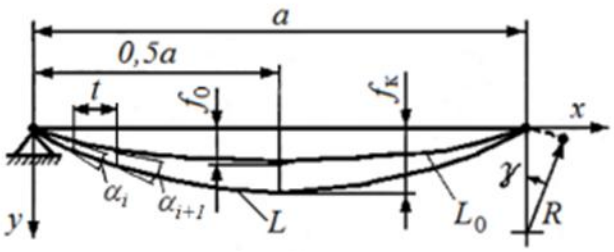
Belə rəqslər zamanı əyilmiş zəncir şaxəsi (Şəkil 1) kvadrat parabolanın formasını saxlayır [4]:

$$y(x) = 4f\left(\frac{x}{a} - \frac{x^2}{a^2}\right) \text{ (1)}$$

və onun uzunluğu ifadə ilə müəyyən edilir

$$L = a + \frac{8f^2}{3a}, \text{ (2)}$$

burada x və y - zəncir menteşələrinin koordinatlarıdır; a- ötürücü qolunun aralıq uzunluğudur, onun mərkəz məsafəsinə bərabərdir; f - salınımsız işləmə zamanı sabit f0 - dəyərinə bərabər olan və salınımlar zamanı salınım çarxının fırlanma amplitudası γ bucağına uyğun gələn maksimum fk dəyərinə çatan, aralığın mərkəzindəki qolun əyilməsidir.



Aydındır ki, rəqslər zamanı budağın uzunluğu aşağıdakı kimi hesablana bilər:

$L(\tau) = L0 + R\gamma\,\tau$, (3)

burada τ = 0 anında L0 milın uzunluğudur;

R - idarə olunan dişli çarxının meydança dairəsinin radiusudur;

$\gamma(\tau) = \gamma \sin(\omega\tau)$ - dişli çarxının rəqslər zamanı bucaq yerdəyişməsidir;

ω - onun rəqs tezliyidir;

τ - zamandır.

Transmissiya şaxələrinin ilkin əyilməsinin və rəqslərin amplitudasının kiçik olması, rəqslər zamanı zəncir şaxəsinin uzunluğundakı dəyişikliyin yalnız onun əyilməsindəki dəyişiklik səbəbindən baş verməsi, menteşələrdə normal təmas yerdəyişmələrinin təsirinin kiçik olması və rəqslər zamanı şaxələrinin gərginlik qüvvələrinin sabit qalması kimi qəbul edilmiş fərziyyələr nəzərə alınmaqla aparılan (1)–(3) tənliklərinin birgə həlli, rəqslər zamanı şaxə əyilməsi oxunun maksimum böyüklüyünü ötürmə parametrlərindən hesablamaq üçün [3] əlaqə əldə etməyə imkan verdi.

$$f_к = \sqrt{f_0^2 + 0{,}375aR\gamma}. \text{ (4)}$$

Ölçüsüz parametrləri (4)-ə yerləşdirmək:

$$\bar{f}_к = \frac{f_к}{a}, \quad \bar{f}_0 = \frac{f_0}{a} \quad \text{və} \quad \frac{\bar{R}}{a},$$

Zəncir ötürücüsünün $\bar{f}_0 = 0{,}025$ aparıcı qolunu [2] nəzərə alaraq, zəruri çevrilmələrdən sonra əldə edirik

$\bar{f}_к = 0{,}025\sqrt{1 + 600\bar{R}\gamma}$ (5)

Şalın f = fк-də (1) tənliyi ilə təsvir edilən mövqeyə keçdiyi zaman, salınım dövrünün dörddə birində i-ci menteşədəki vtulkaya nisbətən valın fırlanma bucağı αi, bu menteşənin yerləşmə nöqtəsindəki budaq əyrilərinə toxunan xətlərin meyl bucaqlarının müəyyən bir zaman anında və τ = 0 anında f = f0-dakı mövqeyində (Şəkil 1-ə baxın) fərqi kimi təyin edilə bilər, yəni,

$\alpha_i = \left(\frac{d^2 y_к(x)}{dx^2} - \frac{d^2 y_0(x)}{dx^2}\right)_{x=x_i} \Delta x$, (6)

harada $y_к(x) = 4f_к\left(\frac{x}{a} - \frac{x^2}{a^2}\right)$; (7)

$y_0(x) = 4f_0\left(\frac{x}{a} - \frac{x^2}{a^2}\right)$. (8)

Elmi ədəbiyyata [5] görə, bir silindrik birləşmədə dövrə başına salınımların enerji yayılması Wкi, valın və vtulkanın birləşən səthlərinin elastik tangensial kontakt deformasiyaları səbəbindən itkiləri ilə əlaqədardır,

$W_{кi} = c_\tau A\delta_n^2 = 0{,}25c_\tau A d_2^2 \alpha_i^2$ (9)

burada Cτ = 80...120 ifadəsi ilə müəyyən edilir N/mm3 yağlanmış silindrik birləşmədə elastik tangensial kontakt deformasiyaları üçün mütənasiblik əmsalıdır;

A - menteşə dayaq səthinin hesablanmış sahəsidir;

δτi = 0.5d2αi - hər rəqs dövrü üçün i-ci birləşmədə maksimum elastik tangensial kontakt yerdəyişməsidir; d2 birləşmədəki valın diametridir.

Sonra, (6) və (9) nəzərə alınmaqla, zəncir şaxəsinin bütün birləşmələrindəki rəqslərin ümumi enerji yayılması Wк, ümumi sayı z olmaqla, düsturdan istifadə etməklə hesablana bilər.

$W_к = \sum_{i=1}^{z} W_{кi} = 0{,}25c_\tau A d_2^2 \times \sum_{i=1}^{z}\left[\left(\frac{d^2 y_к(x)}{dx^2} - \frac{d^2 y_0(x)}{dx^2}\right)_{x=x_i} \Delta x\right]^2$ (10)

(7) və (8) tənliklərindən ikinci törəmələri (10)-a yerləşdirib a = zt və Δx = t üçün lazımi çevrilmələri yerinə yetirərək, əldə edirik

$W_к = 0{,}25c_\tau A d_2^2\left[\frac{8}{a^2}(f_к - f_0)t\right]^2 z = c_\tau A d_2^2 \frac{16}{z}(\bar{f} - \bar{f}_0)^2$ (11)

(5) və (11)-ə yerləşdirib lazımi hesablamaları yerinə yetirdikdən sonra son hesablama düsturunu əldə edirik:

$W_к = \frac{c_\tau A d_2^2 K_w}{z}$ (12)

harada $K_w = 0{,}01(\sqrt{1 + 600\bar{R}\gamma} - 1)^2$ (13)

Salma zəncir şaxəsinin sərtliyi məlum əlaqədən [6] istifadə edərək müəyyən edilə bilər:

$c = \frac{m1gR}{16f0}\left(1 + \frac{0{,}375}{f2}\right) = 1500 m_1 g R^2$ (14)

burada g ≈ 10 m/s^2 cazibə qüvvəsinin sürətlənməsidir;

m1 - zəncirin bir metrinin kütləsidir, kq/m. Daha sonra, ötürücü qolunun eninə rəqslərinin hər dövrü üçün maksimum potensial enerji E, (14) düsturu nəzərə alınmaqla hesablana bilər.

$E = 0{,}5cy^2 = 750 m_1 g R^2 \gamma^2$ (15)

Bir strukturun dissipativ xüsusiyyətlərini kəmiyyətcə xarakterizə etmək üçün ümumiyyətlə udma əmsalından istifadə etmək adətdir.

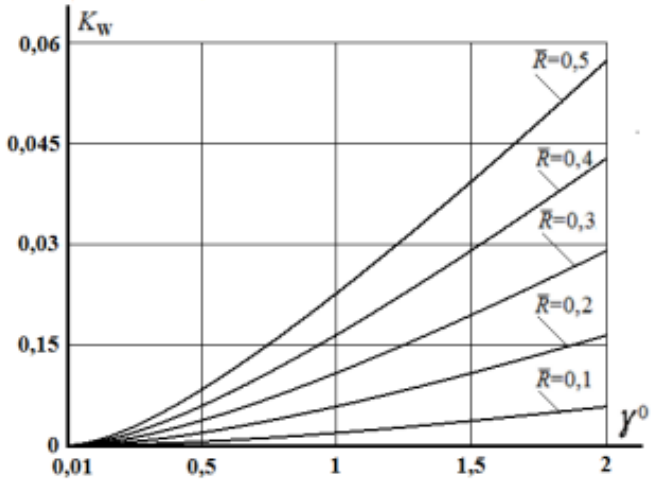
$\psi = \frac{W_к}{E}$ [7] (16)

(13) nəzərə alınmaqla (12) və (15)-i (16)-da əvəz edərək, zəruri çevrilmələri və hesablamaları yerinə yetirdikdən sonra, nəzərdən keçirilən zəncir rəqsləri üçün zəncir ötürücüsünün ötürücü qolunun udma əmsalını təyin etmək üçün son mühəndislik düsturunu əldə edirik:

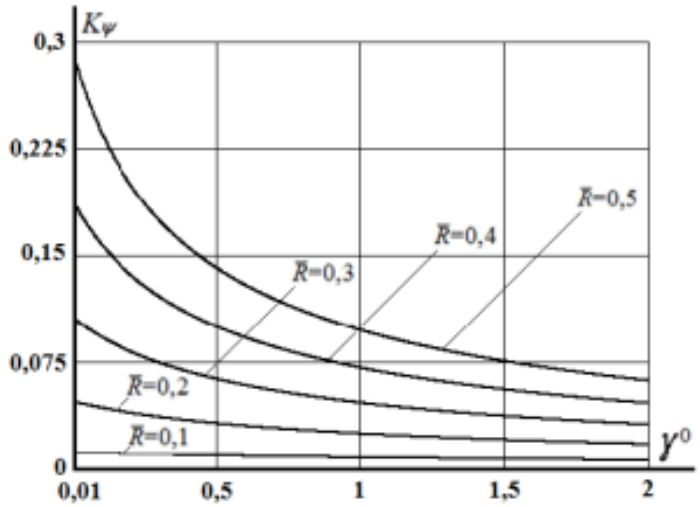
$\psi = \frac{c_\tau A d_2^2}{z m_1 g R^2} K_\psi$ (17)

harada $K_\psi = \frac{(\sqrt{1+600\bar{R}\gamma} - 1)^2}{75000\gamma^2}$ (18)

$0.1 \leq R \leq 0.5$ və $0.01° \leq \gamma \leq 2°$ parametr diapazonları üçün hesablanmış KW və Kψ əmsallarının dəyərləri müvafiq olaraq Şəkil 2 və 3-də qrafik asılılıqlar kimi təqdim olunur.



Şəkil 2



Şəkil 3

Hesablama nümunəsi:
t = 12.7 mm; d2 = 3.66 mm; A = 17.9 mm2; m1 = 0.3 kq/m; R = 140 mm; $\gamma = 2°$ şərti ilə standart PR-12.7-9 GOST 13568–97 zənciri üçün nəzərdən keçirilən vibrasiyaların Wk və ψ sönmə xüsusiyyətlərini təyin edin.
Həll yolu:

5. [1] tövsiyələrinə əsasən, z = 40 götürürük və budağın aralıq uzunluğunu zəncir ötürücüsünün mərkəz məsafəsinə bərabər olaraq təyin edirik,
a = zt = 40t = 40·12.7 = 508 mm kimi.
2. Sonra
R = R/a = 140/508 = 0,28
3. Şəkil 2 və 3-dəki R = 0,28 və γqrafik asılılıqlardan istifadə edərək, müvafiq olaraq KW = 0.026 və Kψ = 0.029 təyin edirik.
4. Yuxarıdakı diapazondan cτ = 100 N/mm3 orta qiymətini götürürük və (12) düsturundan istifadə edərək təyin edirik

$$W_к = \frac{c_\tau A d_2^2 K_w}{z} = \\ = \frac{100 \cdot 17{,}9 \cdot 3{,}66^2 \cdot 0{,}026}{40} = 15{,}6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

6. (17) düsturundan istifadə edərək hesablayırıq

$$\psi = \frac{c_\tau A d_2^2}{z m_1 g R^2} K_\psi = \\ = \frac{100 \cdot 17{,}9 \cdot 3{,}66^2}{40 \cdot 0{,}3 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 140^2} \cdot 0{,}029 = 0{,}3.$$

Tədqiqat zamanı əldə edilən (12) və (17) düsturlarının təhlili və Şəkil 2 və 3-də göstərilən qrafik asılılıqlar, eləcə də verilmiş hesablama nümunəsində Wk və ψ sönmə xüsusiyyətlərinin ədədi olaraq təyin edilməsinin nəticələri aşağıdakı nəticələr çıxarmağa imkan verir.

NƏTİCƏLƏR:

1. Roller və vtulkalı ötürücü zəncirlər, oynaqlarda elastik tangensial kontakt deformasiyaları ilə əlaqəli itkilər səbəbindən zəncirlərinin kiçik eninə vibrasiyalarının enerjisini aktiv şəkildə dağıdır.
2. Bu zəncirlərinin nəzərdən keçirilən eninə vibrasiyaları üçün, dövrə başına vibrasiyaların mütləq enerji yayılması Wk, zəncir meydançası, dişli çarxının ölçüsü və bucaq vibrasiyalarının amplitudası artdıqca artır və zəncir meydançasındakı birləşmələrin sayının artması ilə azalır.
3. Udma əmsalı ψ (nisbi dağılma) da zəncir meydançası, dişli çarxının ölçüsü və zəncir meydançasındakı birləşmələrin sayının azalması ilə artır, lakin onun dəyəri metr başına zəncir kütləsinin və dişli çarxının bucaq vibrasiyalarının amplitudasının artması ilə azalır.
4. Bu tədqiqatda əldə edilən nəticələr müxtəlif sənaye tətbiqləri üçün maşınlarda zəncir ötürücülərinin dinamikasını öyrənməkdə istifadə edilə bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Maşın Hissələri / L. A. Andriyenko, B. A. Baikov, M. N. Zaxarov [və b.]; redaktə edən: O. A. Ryaxovski. – Moskva: Bauman adına Moskva Dövlət Texniki Universitetinin Nəşriyyatı, 2014. – 465 s.
2. Alekseev, V. İ., Palochkin, S. V. Zəncirlərinin birləşmələrindəki kontakt deformasiyalarına görə ötürücü zəncir ötürücülərinin uzununa salınmalarının sönməsi // Maşınqayırma: İnkişafın İnnovativ Aspektləri: 1-ci Beynəlxalq Elmi və Praktik Konfransın Materiallar Toplusu – Sankt-Peterburq: Sankt-Peterburq Mexanika Mühəndisliyi Elmi Mərkəzi, 2018. – səh. 8–11.
3. Alekseev V. İ., Palochkin S. V. Maşın ötürücülərinin zəncir ötürücülərində burulma vibrasiya enerjisinin yayılması // Maşın Nəzəriyyəsinin Müasir Problemləri. - 2017. - № 5. - S. 49-53.
4. Qluşçenko İ. P. Qollu-rulonlu zəncirli zəncir ötürücülərinin layihələndirilməsinin əsasları. - Lvov: Lvov Universiteti Nəşriyyatı, 1964. - 226 s.
5. Reşetov D. N., Levina Z. M. Dəzgah Alətləri Hissələrində Vibrasiyaların Söndürülməsi // Metal Kəsmə Zamanı Dəzgah Alətlərinin Vibrasiyalarının Tədqiqi / V. İ. Dikuşin və D. N. Reşetov tərəfindən redaktə edilmişdir. - Moskva: Maşqiz, 1958. - S. 45-86.
6. Qolovnin Q. Ya. İplərin və Zəncirlərin Dinamikası. – Xarkov: Metallurgiya Nəşriyyatı, 1962. – 124 s.
7. Mühəndislikdə Vibrasiyalar: Təlimat. 6 cilddə. – Moskva: Mexanika Mühəndisliyi, 1981. – Cild. 6. Vibrasiya və Zərbələrdən Mühafizə / K. V. Frolov tərəfindən redaktə edilib. – Moskva, 1981. – 456 s.

İSTİNADLAR

1. Maşın Təfərrüatları / L. A. Andrienko, B. A. Bajkov, M. N. Zaharov [və başqaları]; redaktə edib O. A. Ryaxovski. – Moskva: N. E. H. Baumana MGTU Nəşriyyatı, 2014. – 465 s.
2. Alekseev V. İ., Palochkin S. V. Zəncirlərinin menteşələrindəki kontakt deformasiyalarına görə ötürücü zəncir ötürücülərinin uzununa rəqslərinin sönməsi // Maşınqayırma: İnkişafın İnnovativ Aspektləri: 1-ci Təcrübə Elmi və Praktik Konfransının Materiallar Toplusu. – Sankt-Peterburq: Sankt-Peterburq Milli Maşınqayırma İnstitutu, 2018. – Səh. 8–11.

3. Alekseev V. İ., Palochkin S. V. Maşınların ötürücü zəncir ötürücülərində burulma vibrasiya enerjisinin yayılması // Maşın nəzəriyyəsinin müasir problemləri. – 2017. – № 5. – S. 49–53.
4. Qluşçenko İ. P. Qollu-rolikli zəncirli zəncir ötürücülərinin layihələndirilməsinin əsasları. – Lvov: Lvov Universiteti Nəşriyyatı, 1964. – 226 s.
5. Reşetov D. N., Levina Z. M. Dəzgah Alətinin Komponentlərində Salınımların Söndürülməsi // Metal Kəsici Dəzgah Alətlərinin Metal Kəsici Zamanı Salınımlarının Tədqiqi / V. İ. Dikuşin və D. N. Reşetova tərəfindən redaktə edilib. – Moskva: Maşqiz, 1958. – S. 45–86.
6. Qolovnin Q. YA. İplərin və Zəncirlərin Dinamikası. – Xarkov: Metallurgizdat, 1962. – 124 s.
7. Mühəndislikdə titrəmələr: Təlimat kitabı. 6 cilddə. – Moskva: Maşınqayırma, 1981. – Cild 6. Vibrasiya və Zərbələrdən Mühafizə / K. V. Frolovanın redaktəsi ilə. – Moskva, 1981. – 456 s.

BORULARIN DEFORMASİYASI NƏTİCƏSİNDƏ YARANAN QÜSURLAR VƏ HƏNDƏSİ DEFEKTLƏR

Natiq Rzayev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Mexanika mühəndisliyinin müasir problemləri
XARDALAN, AZƏRBAYCAN
nzayev@beu.edu.az

Əli Cabbarlı
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Mexanika mühəndisliyinin müasir problemləri
XARDALAN, AZƏRBAYCAN
ecabbarli2@std.beu.edu.az

Əli Ağakişiyev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Mexanika mühəndisliyinin müasir problemləri
XARDALAN, AZƏRBAYCAN
eagakishiyev1@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu məqalə boru konstruksiyalarında yerli deformasiyalar nəticəsində yaranan qüsurlar və həndəsi defektlərin kompleks şəkildə tədqiqinə həsr olunmuşdur. Müasir sənaye sistemlərində, xüsusilə neft-qaz, energetika və kimya sənayesində istifadə olunan boru kəmərləri müxtəlif mexaniki və fiziki təsirlərə məruz qalır. Bu təsirlər nəticəsində boruların ideal silindrik forması pozulur və lokal xarakterli deformasiyalar meydana gəlir ki, bu da onların möhkəmliyinə və etibarlılığına ciddi təsir göstərir.
Məqalədə yerli deformasiyaların yaranma mexanizmləri geniş şəkildə təhlil edilmiş, onların əsas səbəbləri – daxili təzyiq, xarici yüklər, temperatur dəyişmələri, texnoloji qüsurlar və materialın yorğunluğu kimi amillər sistemli şəkildə araşdırılmışdır. Xüsusilə vurğulanır ki, bu təsirlər tək-tək deyil, çox vaxt kompleks şəkildə təsir göstərərək boruda qeyri-bərabər gərginlik sahələri yaradır və nəticədə lokal qüsurların inkişafına səbəb olur.
Araşdırmada borularda ən çox rast gəlinən həndəsi defektlər – ovallaşma, lokal çöküntü, dalğavari deformasiya və divar qalınlığının dəyişməsi – ayrıca təhlil edilmişdir. Bu defektlərin hər biri üçün onların yaranma şəraiti, inkişaf mexanizmi və borunun daşıma qabiliyyətinə təsiri izah olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, həndəsi qüsurlar gərginliklərin konsentrasiyasına səbəb olur və bu da konstruksiyanın nəzərdə tutulandan daha tez sıradan çıxmasına gətirib çıxara bilər.
Açar sözlər: Boru deformasiyası, həndəsi defektlər, ovallaşma, lokal çöküntü, gərginlik analizi, deformasiya hesabı, nazik divarlı silindr.

Abstract: This article is devoted to a comprehensive study of defects and geometric defects resulting from local deformations in pipe structures. Pipelines used in modern industrial systems, especially in the oil and gas, energy and chemical industries, are exposed to various mechanical and physical influences. As a result of these influences, the ideal cylindrical shape of the pipes is violated and local deformations occur, which seriously affect their strength and reliability.

The article extensively analyzes the mechanisms of local deformations, and systematically studies their main causes - internal pressure, external loads, temperature changes, technological defects and material fatigue. It is especially emphasized that these influences do not act individually, but often act in a complex way, creating uneven stress fields in the pipe and, as a result, leading to the development of local defects.

The most common geometric defects in pipes - ovalization, local subsidence, wavy deformation and wall thickness changes - are analyzed separately in the study. For each of these defects, their formation conditions, development mechanism, and impact on the bearing capacity of the pipe were explained. It was shown that geometric defects cause stress concentration, which can lead to the failure of the structure earlier than expected..

Keywords: Keywords: Pipe deformation, geometric defects, ovalization, local subsidence, stress analysis, deformation calculation, thin-walled cylinder.

I. GİRİŞ

Boru kəmərləri müasir sənaye sistemlərinin əsas elementlərindən biridir və neft-qaz sənayesində, kimya istehsalında, enerji ötürülməsi sistemlərində və su təchizatı şəbəkələrində geniş şəkildə istifadə olunur. Bu konstruksiyalar uzun müddət yüksək təzyiq, temperatur dəyişiklikləri və müxtəlif mexaniki təsirlər altında işlədiyindən onların etibarlılığı və dayanıqlığı mühüm mühəndislik problemi hesab olunur [1-2].

İstismar prosesində borular ideal silindrik formasını tam qoruya bilmir və müxtəlif səbəblərdən yerli deformasiyalar yaranır. Bu deformasiyalar nəticəsində borunun kəsik forması dəyişir, gərginliklərin paylanması qeyri-bərabər olur və həndəsi defektlər əmələ gəlir. Ən çox rast gəlinən qüsurlar ovallaşma, lokal çöküntü, dalğavari deformasiya və divar qalınlığının dəyişməsidir [3].

Belə qüsurların yaranması yalnız estetik və ya geometrik problem deyil, həm də ciddi mexaniki təhlükə mənbəyidir. Çünki həndəsi pozuntular gərginlik konsentrasiyasına səbəb olur, materialın yorğunluğunu sürətləndirir və nəticədə borunun dağılma riskini artırır. Xüsusilə yüksək təzyiqli sistemlərdə bu cür deformasiyalar qəfil qəza hallarına gətirib çıxara bilər.

Bu baxımdan borularda yerli deformasiyaların və həndəsi defektlərin öyrənilməsi mühüm elmi və praktiki əhəmiyyət daşıyır. Problemin düzgün təhlili boru sistemlərinin təhlükəsiz layihələndirilməsi, istismar müddətinin artırılması və qəza risklərinin azaldılması üçün vacibdir.

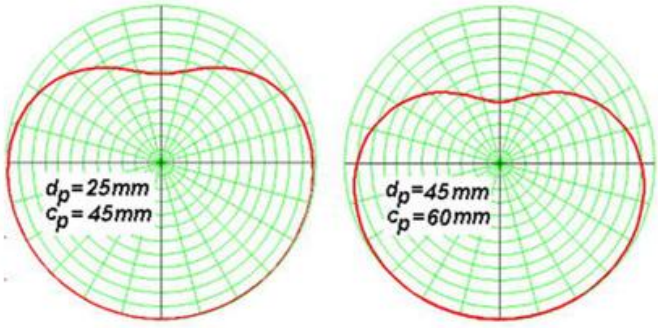
Məqalənin əsas məqsədi borularda yaranan yerli deformasiyaların səbəblərini araşdırmaq, onların gərginlik və deformasiya sahəsinə təsirini qiymətləndirmək və mövcud analitik modellər əsasında bu təsirləri riyazi şəkildə ifadə etməkdir.

II. PROBLEMİN QOYULUŞU

Müasir sənaye sistemlərində boru kəmərləri mürəkkəb yüklənmə şəraitində işləyir və bu şərait onların mexaniki davranışına ciddi təsir göstərir. Borular yalnız daxili təzyiqin təsiri altında deyil, həm də xarici yüklər, temperatur dəyişmələri, montaj səhvləri və istismar müddətində yaranan qüsurlar nəticəsində deformasiyaya uğrayır. Bu deformasiyalar xüsusilə lokal xarakter daşıdıqda borunun ümumi dayanıqlığı üçün təhlükəli olur.

Yerli deformasiya dedikdə borunun müəyyən hissəsində ölçülərin və formanın kəskin dəyişməsi başa düşülür. Bu dəyişikliklər borunun ideal silindrik formasını pozur və nəticədə həndəsi defektlər əmələ gəlir. Bu defektlər aşağıdakı əsas formalarda müşahidə olunur (şəkil 1):

- Ovallaşma (elliptikləşmə): borunun dairəvi kəsiyinin ellips formasına düşməsi;
- Lokal çöküntü: borunun müəyyən sahəsində içəriyə doğru batma;
- Dalğavari deformasiya: səthin qeyri-müntəzəm dalğalı formaya düşməsi;
- Qalınlıq dəyişməsi: divarın bəzi hissələrində nazilmə və ya qalınlaşma.



Şəkil 1. Deformasiya nəticəsində borunun diametrinin dəyişməsi

Bu tip qüsurların yaranmasına səbəb olan əsas amillər aşağıdakılardır:
Mexaniki yüklənmə: Xarici təzyiqlər (torpaq, su, konstruktiv yüklər), Lokal zərbələr və ya dayaq nöqtələrində konsentrasiyalar;
Daxili təzyiq : Normadan artıq təzyiq borunun genişlənməsinə səbəb olur, Lokal zəif zonalarda qeyri-bərabər deformasiya yaradır;
Temperatur təsirləri; İstilik genişlənməsi və büzülməsi, Termiki gərginliklərin yaranması;
Texnoloji və montaj qüsurları; Qaynaq zamanı qeyri-bərabər qızdırılma, Oxdan yayınma və qeyri-dəqiq montaj.
Materialın yorğunluğu və korroziya: Uzunmüddətli istismar nəticəsində zəifləmə
Divar qalınlığının azalması
Əsas problem ondan ibarətdir ki, bu lokal deformasiyalar boruda gərginliklərin paylanmasını dəyişir və nəzəri (ideal) modellərlə real vəziyyət arasında fərq yaradır. Klassik nazik divarlı silindr nəzəriyyəsi yalnız ideal halda düzgün nəticə verir, lakin həndəsi defektlər olduqda gərginliklər lokal olaraq artır (gərginlik konsentrasiyası yaranır), borunun daşıma qabiliyyəti azalır, qəfil dağılma riski yüksəlir.
Problem aşağıdakı fərziyyələr əsasında qurulur:

- Boru nazik divarlı silindr kimi qəbul edilir
- Material izotrop və elastikdir
- Deformasiyalar kiçikdir (ilk mərhələdə)
- Lokal defektlər əlavə əmsallar vasitəsilə nəzərə alınır

Bu halda ümumi gərginlik vəziyyəti belə ifadə olunur:

$$\sigma = f(p, D, t, k, x)$$

Burada:

- k– həndəsi qüsur əmsalı
- x– boru boyunca koordinat

III. PROBLEMİN HƏLLİ:

Problemin həlli borularda yaranan yerli deformasiyaların gərginlik–deformasiya vəziyyətinə təsirinin analitik və qismən empirik modellər vasitəsilə qiymətləndirilməsinə əsaslanır. Bu məqsədlə həm klassik elastiklik nəzəriyyəsi, həm də həndəsi qüsurları nəzərə alan düzəliş yanaşmaları tətbiq olunur.
Nazik divarlı silindrik boru üçün əsas gərginliklər aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\sigma_\theta = \frac{pD}{2t}, \sigma_L = \frac{pD}{4t} \ (1)$$

Bu ifadələr ideal (qüsursuz) boru üçün doğrudur. Lakin real şəraitdə həndəsi qüsurlar bu gərginliklərin artmasına səbəb olur.
2. Həndəsi defektlərin təsirinin nəzərə alınması. Yerli deformasiyaları nəzərə almaq üçün gərginliklərə düzəliş əmsalı daxil edilir:

$$\sigma_\theta^* = \sigma_\theta \cdot (1 + k_1 + k_2) \ (2)$$

Burada:

- k_1– ovallaşma əmsalı
- k_2– lokal çöküntü əmsalı

Ovallaşma əmsalı:

$$k_1 = \frac{D_{max} - D_{min}}{D} \quad (3)$$

Bu parametr borunun nə qədər elliptikləşdiyini göstərir.

3. Lokal sabitlik (bükülmə) şərti. Borunun yerli çökməsi üçün kritik gərginlik aşağıdakı kimi qiymətləndirilə bilər:

$$\sigma_{cr} = \frac{Et}{D\sqrt{3(1-\nu^2)}} \quad (4)$$

Burada: ν– Puasson əmsalıdır.

Əgər:

$$\sigma_\theta^* > \sigma_{cr} \quad (6)$$

olarsa, boruda lokal çökmə baş verir.

6. Hesab nümunəsi:

Verilir:

- Daxili təzyiq: $p = 2$ MPa;
- Borunun xarici dimaetri (orta diametri): $D = 1000$ mm;
- Bru divarının qalınlığı: $t = 10$ mm;
- Elastiklik modulu: $E = 2 \times 10^5$ MPa;
- Puasson əmsalı: $\nu = 0{,}3$;
- Ovallaşma əmsalı: $k_1 = 0{,}1$;
- Lokal çöküntü və ya əlavə deformasiya əmsalı: $k_2 = 0{,}05$;

1. Nazik divarlı boru üçün çevrəvi və boyuna gərginliyi hesablayırıq:

$$\sigma_\theta = \frac{pD}{2t} = \frac{2 \cdot 1000}{2 \cdot 10} = 100MPa;\ \sigma_L = \frac{pD}{4t} = \frac{2 \cdot 1000}{4 \cdot 10} = 50 \text{ MPa}$$

2. Həndəsi qüsurlar nəzərə alınmaqla gərginliyi hesablayırıq. Burada qüsurların təsiri əlavə əmsallarla nəzərə alınır:

$$\sigma_\theta^* = \sigma_\theta(1 + k_1 + k_2)$$
$$\sigma_\theta^* = 100(1 + 0{,}1 + 0.05) = 100 \cdot 1{,}15 = 115 \text{ MPa}$$

3. Nazik divarlı silindr üçün kritik gərginlik hesablanır:

$$\sigma_{cr} = \frac{Et}{D\sqrt{3(1-\nu^2)}} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 10}{1000 \cdot 1{,}65} = 1212MPa.$$

.4. Radiusun dəyişməsini hesablayırıq:

$$\Delta R = \frac{pR^2}{Et} = \frac{2 \cdot 500^2}{2 \times 10^5 \cdot 10} = 0{,}25mm$$

IV. NƏTİCƏ

Bu məqalədə boru konstruksiyalarında yerli deformasiyalar nəticəsində yaranan qüsurlar və həndəsi defektlər kompleks şəkildə təhlil edilmişdir. Aparılan araşdırmalar göstərir ki, boruların istismarı zamanı yaranan ovallaşma, lokal çöküntü, dalğavari deformasiya və divar qalınlığının qeyri-bərabərliyi onların gərginlik vəziyyətinə birbaşa təsir göstərir və strukturun ümumi dayanıqlığını azaldır.

Analitik hesablamalar əsasında müəyyən edilmişdir ki, həndəsi qüsurlar mövcud olduqda boruda çevrəvi və uzununa gərginliklər artır, gərginliklərin paylanması isə qeyri-bərabər xarakter alır. Bu isə materialda lokal

gərginlik konsentrasiyalarının yaranmasına və potensial zədələnmə riskinin yüksəlməsinə səbəb olur. Eyni zamanda, təhlükəsizlik əmsalının azalması borunun kritik iş rejiminə daha yaxın işlədiyini göstərir.
Ümumilikdə, aparılan təhlil belə bir nəticəyə gəlməyə əsas verir ki, boru sistemlərinin təhlükəsiz və uzunmüddətli istismarı üçün yerli deformasiyaların vaxtında aşkar edilməsi, düzgün qiymətləndirilməsi və normativ hədlər daxilində saxlanılması mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu yanaşma həm qəza risklərinin azaldılmasına, həm də mühəndis konstruksiyalarının istismar müddətinin artırılmasına xidmət edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Tamin, M. N., & Hamzah, M. A. (2017). Fatigue Failure Analysis of a Centrifugal Pump Shaft. In A. Ali (Ed.), Failure Analysis and Prevention. Intech Open. Pp.1-14.
2. Avner, S. H. (1974). *Introduction to Physical Metallurgy* (2nd ed.). McGraw-Hill. Pp.353.
3. Shigley, J. E. (1986). *Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill, Pp.1105.
4. Juvinal, R. C. (1983). *Fundamentals of Machine Component Design*. John Wiley & Sons.
5. Stephen, R. I., et al. (2000). Metal Fatigue in Engineering (2nd ed.). Wiley Interscience.
6. Roffey, P. (2012). Fatigue initiated overload failure of a 4130 alloy steel pump shaft. International Journal of Forensic Engineering, Vol 1, №2, pp.97-110.

İSTİSMAR PROSESİ ZAMANI QAZPAYLAYICI VALIN SƏTHİNDƏ YARANAN QÜSURLARIN ERKƏN DİAQNOSTİKASI METODLARININ TƏDQİQİ

Fariz Əmirov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik fakültəsi/Mexanika mühəndisliyi kafedrası
e-mail: *fariz.67@mail.ru*
Xırdalan, Azərbaycan
ORCİD 0009-0006-5838-6315

Asif Bədəlov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik fakültəsi/Mexanika mühəndisliyi kafedrası
e-mail: *abedelov1@std.beu.edu.az*
Xırdalan, Azərbaycan
ORCİD 0009-0009-1861-6229

Uzeyir Shahbazov
Azerbaijan Technical University
Faculty of Information and Telecommunication Technologies/Department of Cybersecurity
e-mail: *shahbazovuzeyir@gmail.com*
Baku, Azerbaijan
ORCİD 0009-0003-1528-1896

***Xülasə**: Təqdim olunan məqalə daxili yanma mühərriklərində qazpaylayıcı valın səthində istismar zamanı yaranan gizli qüsurların (mikroçatlar, yorulma oyuqları) erkən aşkarlanması probleminə həsr edilmişdir. İşdə ənənəvi vibrasiya diaqnostikası ilə yanaşı, yüksək həssaslığa malik akustik emissiya metodunun tətbiqi imkanları tədqiq edilir. Eksperimental sınaqlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, dalğacıq analizi ilə kombinə olunmuş akustik emissiya üsulu səthaltı təbəqədə baş verənstruktur dəyişikliklərini ənənəvi spektral analizə nisbətən daha erkən mərhələdə və yüksək dəqiqliklə müəyyən etməyə imkan verir. Bu yanaşma mühərrikin qəfil sıradan çıxma riskini azaldaraq texniki xidmət strategiyalarının optimallaşdırılmasına şərait yaradır.*
***Açar sözlər:** qazpaylayıcı val, erkən diaqnostika, akustik emissiya, səth qüsurları, yorulma aşınması, dağıdıcı olmayan nəzarət, dalğacıq analizi*
***Abstract**: The presented article is devoted to the problem of early detection of hidden defects (microcracks, fatigue pitting) that form on the surface of the camshaft in internal combustion engines during operation. In addition to conventional vibration diagnostics, the study investigates the potential application of the highly*

sensitive acoustic emission method. Experimental tests have shown that the acoustic emission technique combined with wavelet analysis enables detection of structural changes in the subsurface layer at an earlier stage and with higher accuracy compared to traditional spectral analysis. This approach reduces the risk of sudden engine failure and creates conditions for optimizing maintenance strategies.
Keywords: *camshaft, early diagnosis, acoustic emission, surface defects, fatigue wear, nondestructive testing, wavelet analysis.*

I. GİRİŞ

Müasir maşınqayırma sənayesində tətbiq olunan daxili yanma mühərriklərinin etibarlılığı və resurs göstəriciləri bilavasitə qazpaylayıcı mexanizmin əsas elementi olan qazpaylayıcı valın texniki vəziyyətindən asılıdır. Konstruktiv baxımdan mürəkkəb fəza profilinə malik olan qazpaylayıcı valı yüksək tsiklik kontakt gərginlikləri, alternativ əyilmə momentləri və aqressiv triboloji mühitin birgə təsirinə məruz qalır. İstismar prosesi zamanı kulacok və yastıq səthləri arasında baş verən mikrokontakt hadisələri nəticəsində metalın səth qatında yorulma prosesləri inkişaf edir ki, bu da tədricən submikroskopik çatların yaranmasına, onların birləşərək pitting tipli oyuqlar əmələ gətirməsinə və son nəticədə detalın tam sıradan çıxmasına səbəb olur. Bu qüsurların məkrli xarakteristikası ondan ibarətdir ki, onlar səthin alt qatında uzun müddət gizli formada inkişaf edir və ənənəvi vizual müayinə üsulları ilə aşkarlanması mümkün olmur. Hazırda istismar müəssisələrində qazpaylayıcı valın diaqnostikası əsasən mühərrikin ümumi vibrasiya fonunun spektral analizinə və ya planlı təmir zamanı demontajdan sonra aparılan vizual-ölçmə nəzarətinə əsaslanır. Lakin bu yanaşmalar bir sıra fundamental məhdudiyyətlərlə xarakterizə olunur. Vibrasiya siqnalları mühərrikin digər kinematik cütlərinin (porşen, şatun, dirsəkli val) yaratdığı intensiv səs-küylə maskalanır, nəticədə səthdə mikroçatların əmələ gəlməsi mərhələsində informasiyaverici zəif siqnalların etibarlı şəkildə filtrasiyası çətinləşir. Vizual nəzarət isə qüsurları yalnız onlar gözlə görünən həddə çatdıqdan sonra aşkarlamağa imkan verir ki, bu da artıq detalın təmir olunma imkanının itirilməsi deməkdir. Məhz bu səbəbdən qazpaylayıcı valın səth və səthaltı təbəqələrində destruktiv proseslərin ən erkən inkişaf fazasında qeydə alınmasına imkan verən yeni metodoloji yanaşmaların işlənib hazırlanması aktual elmi-texniki məsələ kimi qarşıda durur [1-4].

Bu tədqiqat işinin əsas məqsədi qazpaylayıcı valın istismar yükləri altında yaranan gizli səth qüsurlarının dağıdıcı olmayan nəzarət metodları, xüsusilə akustik emissiya və adaptiv siqnal emalı alqoritmləri vasitəsilə erkən diaqnostikasının effektivliyini nəzəri və eksperimental cəhətdən əsaslandırmaqdan ibarətdir. Qarşıya qoyulan vəzifələrə tribokontakt zonasında gərginlik-deformasiya vəziyyətinin təhlili, müxtəlif diaqnostik parametrlərin informasiyativlik dərəcəsinin müqayisəli qiymətləndirilməsi, həmçinin zədələnmə dərəcəsindən asılı olaraq diaqnostik siqnalların zaman-tezlik xarakteristikalarının dəyişmə dinamikasının müəyyən edilməsi daxildir. Əldə olunacaq nəticələr mühərrikin texniki vəziyyətinin proqnozlaşdırılması sistemlərinin təkmilləşdirilməsinə və qəfil dayanmaların qarşısının alınmasına xidmət edəcəkdir [6-8].

II. QAZPAYLAYICI VALIN İŞ ŞƏRAİTİNİN VƏ QÜSURLARIN MORFOLOGİYASININ TƏHLİLİ

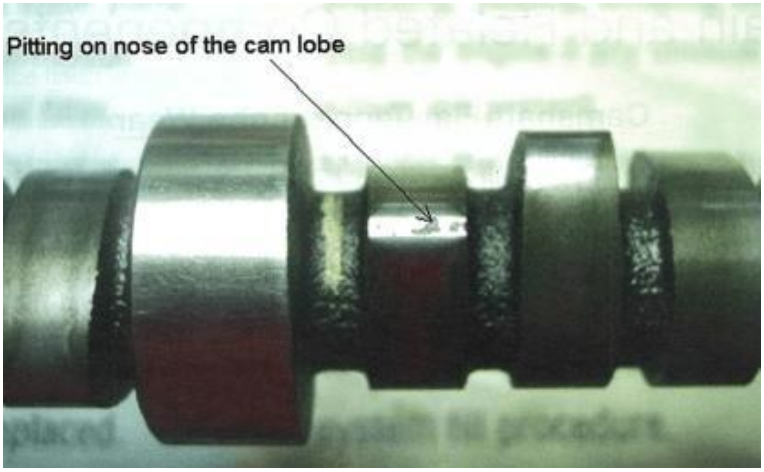
Daxili yanma mühərriklərində qazpaylayıcı valın funksional etibarlılığı onun istismar dövrü ərzində məruz qaldığı yüklənmə spektri ilə bilavasitə əlaqədardır. Bu fəsildə detalın səth qatında destruktiv proseslərin başlanmasına səbəb olan əsas mexaniki və triboloji amillər nəzərdən keçirilir, həmçinin yaranan qüsurların həndəsi və struktur əlamətlərinə görə təsnifatı verilir.

Kontakt qarışılıqlı təsirinin mexaniki təhlili. Qazpaylayıcı valın kulacok profili ilə yastıq (adətən, rokçi və ya birbaşa təsirli itələyici) arasındakı kinematik cüt yüksək kontakt gərginlikləri şəraitində işləyir. Kulacokun qabarıq hissəsinin yastıq səthi ilə təması zamanı yaranan gərginlik-deformasiya vəziyyəti Hers nəzəriyyəsi çərçivəsində qiymətləndirilir. Lakin real mühərrik şəraitində bu proses statik deyil, tsiklik zərbə xarakteri daşıyır. Qapağın açılması anında kulacok səthində yaranan maksimal təzyiq 500-1200 Mpa intervalında dəyişə bilər ki, bu da materialın mikrohəcmlərinin intensiv sıxılmasına və yerdəyişməsinə səbəb olur. Proses fırlanma sürətinin artması ilə müşayiət olunan sürüşmə sürtünməsi və yağlama şəraitinin pozulması nəticəsində lokal temperatur artımı ilə mürəkkəbləşir. Məhz bu termomexaniki yüklənmə səth qatında yorulma hadisələrinin əsas katalizatoru hesab edilir.

Səth qüsurlarının təsnifatı və yaranma mexanizmləri. İstismar prosesində QPV-in işçi səthlərində müxtəlif təbiətli qüsurlar müşahidə edilir. Bunları inkişaf mexanizminə və morfoloji əlamətlərinə görə aşağıdakı kimi təsnif etmək mümkündür:

- *Mikroçatlar şəbəkəsi (ilkin yorulma fazası):* Kulacokun qalxan profil hissəsində maksimal toxunan gərginliklərin təsir zonasında yaranan, adətən səthə 45 dərəcə bucaq altında yönələn submikroskopik çatlar. Bu çatlar çox vaxt adi gözlə görünmür və yalnız xüsusi diaqnostik avadanlıqla qeydə alınır.
- *Pitting (yorulma oyuqları):* Mikroçatların səthin alt qatında birləşərək qapalı həcmlər əmələ gətirməsi və yağın hidrodinamik təzyiqinin təsiri ilə metal hissəciklərinin səthdən qopması nəticəsində əmələ gələn kraterəbənzər dərinləşmələr. Bu qüsur kulacokun həndəsi profilinin pozulmasına və qazpaylama fazalarının sürüşməsinə gətirib çıxarır.
- *Tribokimyəvi aşınma və cızılmalar:* Yağlama sistemində abraziv hissəciklərin olması və ya yerli yağ aclığı rejimində səthlərin mikroyapışması (adheziya) nəticəsində yaranan dayaz, lakin geniş sahəli zədələnmələr. Bu tip qüsurlar sürtünmə əmsalının artmasına və enerji itkilərinə səbəb olur.
- *Təbəqəvi qopma:* Termiki emal olunmuş (sementitlənmiş və ya azotlanmış) səth qatı ilə əsas metal nüvəsi arasındakı keçid zonasında baş verən dərin yorulma hadisəsi. Bu qüsur nisbətən iri həcmli metal parçasının qopması ilə xarakterizə olunur və detalın dərhal sıradan çıxmasına gətirib çıxarır.

Qüsurlarının yaratdığı fiziki sahələr və erkən diaqnostika üçün əlamətlər. Hər bir mexaniki zədələnmə prosesi ətraf mühitə xüsusi fiziki siqnallar – əsasən elastiki gərginlik dalğaları şəklində enerji buraxılması ilə müşayiət olunur. Səth altında mikroçatın əmələ gəlməsi və ya böyüməsi anında kristallik qəfəsdə yığılmış potensial enerji kinetik enerjiyə çevrilərək yüksək tezlikli (adətən 20 kHz – 1 MHz diapazonunda) akustik impulslar generasiya edir. Məhz bu impulsların qeydiyyatı və analizi qüsurun gözlə görünən ölçüyə çatmasından xeyli əvvəl onun mövcudluğunu və inkişaf dinamikasını izləməyə imkan yaradır. QPV-in normal iş rejimində yaratdığı aşağı tezlikli vibrasiya fonundan fərqli olaraq, bu yüksək tezlikli akustik emissiya siqnalları qüsurların daha həssas indikatoru hesab olunur. Növbəti fəsildə məhz bu fiziki prinsipə əsaslanan diaqnostika metodlarının müqayisəli imkanları araşdırılacaqdır. Qazpaylayıcı valda yeyilmə nəticəsində formalaşan oyuqlar şəkil 1-də verilmişdir [9].



Şəkil 1. Qazpaylayıcı valda yeyilmə nəticəsində formalaşan oyuqlar

III. MÜASİR ERKƏN DİAQNOSTİKA METODLARININ MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

Qazpaylayıcı valın səth qüsurlarının erkən aşkarlanması üçün dağıdıcı olmayan nəzarət (NDT) üsullarının geniş spektri mövcuddur. Bu fəsildə həmin metodların fiziki prinsipləri, həssaslıq dərəcələri və praktiki tətbiq imkanları sistematik şəkildə araşdırılır [1-4].

- ***Vibroakustik diaqnostika*** ənənəvi yanaşma olaraq qalmaqdadır. Bu metod mühərrikin iş rejimində yaranan mexaniki rəqslərin tezlik spektrinin analizinə əsaslanır. Lakin qazpaylayıcı valda mikroçatların generasiya etdiyi siqnallar dirsəkli val və porşen qrupunun yaratdığı güclü səs-küy fonunda maskalanır. Furye

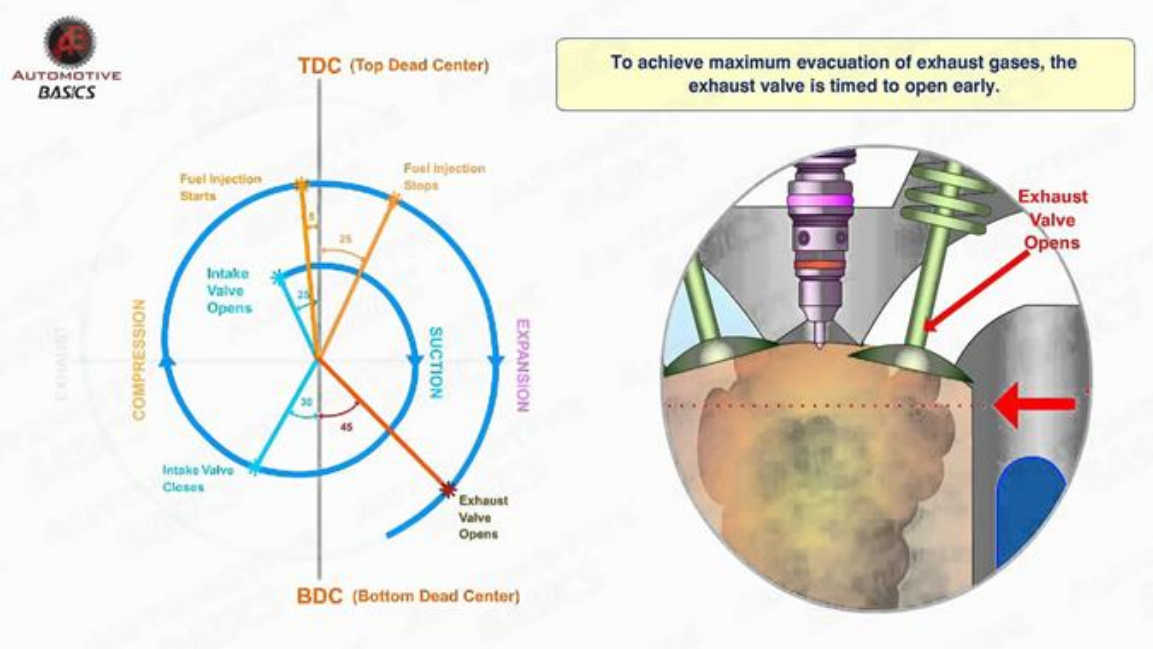
sürətli çevirməsi (FFT) əsasında aparılan analiz zamanı qüsurla bağlı yüksək tezlikli komponentlərin aşağı tezlikli harmonikalardan ayrılması ciddi çətinlik törədir. Nəticədə bu üsul adətən qüsuru yalnız pitting mərhələsində, yəni kifayət qədər inkişaf etmiş halda aşkarlaya bilir.

- ***Akustik emissiya (AE)*** metodu isə tamamilə fərqli fiziki hadisəyə əsaslanır. Burada tədqiqat obyekti mühərrikin tsiklik rəqsləri deyil, materialın daxilində mikroçatın yaranması və ya böyüməsi anında kristallik qəfəsdə toplanmış elastiki enerjinin sərbəst qalması nəticəsində yaranan yüksək tezlikli (20 kHz-dən 1 MHz-ə qədər) gərginlik dalğalarıdır. AE metodunun əsas üstünlüyü onun aşağı tezlikli vibrasiya fonuna qarşı yüksək immuniteti və qüsurları inkubasiya dövründə aşkarlamaq qabiliyyətidir. Bu fəsildə AE siqnallarının emalı üçün dalğacıq (wavelet) çevirməsinin tətbiqi xüsusi vurğulanır ki, bu da siqnalın zaman-tezlik lokalizasiyasını dəqiq təyin etməyə imkan verir [5].
- ***Burulğan cərəyanları (Eddy Current) və maqnit üsulları*** səth və səthaltı təbəqədə struktur qeyri-bircinsliliyini yüksək dəqiqliklə təyin etməyə qadir olsalar da, onların tətbiqi detala birbaşa fiziki giriş tələb edir. İstismar şəraitində qazpaylayıcı valın üzərində yağ təbəqəsinin olması və məhdud montaj məkanı bu metodların onlayn monitorinq üçün geniş yayılmasını əngəlləyir. Akustik emissiya (AE) üçün istifadə olunan cihaz dəsti şəkil 2-də verilmişdir [9].



Şəkil 2. Akustik emissiya (AE) üçün istifadə olunan cihaz dəsti.

- ***Sınaq stendinin konstruksiyası*** real mühərrikdə qazpaylayıcı valın iş şəraitini maksimum dəqiqliklə imitasiya etmək məqsədi daşıyır. Stendə quraşdırılmış tənzimlənən elektrik mühərriki vala dəyişən sürətlərdə fırlanma hərəkəti verir, yaylı yükləmə mexanizmi isə kulacok səthində real kontakt təzyiqini modelləşdirir. Yağlama sistemi mühərrik yağının müəyyən temperaturda sirkulyasiyasını təmin edir.
- ***Qüsurların modelləşdirilməsi üçün*** nəzarətli zədələnmə üsulundan istifadə edilmişdir. Etalon (sağlam) valın səthində Vikkers sərtlik ölçən cihaz vasitəsilə müxtəlif dərinliklərdə (0.1 mm-dən 0.5 mm-ə qədər) süni mikroizlər yaradılmışdır. Bu yanaşma qüsurun ölçüləri ilə diaqnostik siqnalın amplitudası arasında korrelyasiya əlaqəsini kəmiyyətcə qiymətləndirməyə şərait yaradır.
- ***Ölçmə və məlumatların toplanması sistemi*** genişzolaqlı pyezoelektrik AE datçiklərindən, səs-küy səviyyəsinin minimal olduğu xüsusi gücləndirici blokdan və yüksək tezlikli diskretləşdirmə imkanına malik rəqəmsal osilloqrafdan (məlumat toplama kartı) ibarətdir. Toplanmış xam siqnallar dalğacıq çevirməsi və spektral sıxlıq analizi üçün MATLAB mühitində işlənmiş xüsusi proqram paketinə ötürülür.
- ***Eksperimentin gedişi*** üç mərhələni əhatə etmişdir: ilkin olaraq sağlam valın fon AE aktivliyi qeydə alınmış, sonra süni qüsurlu vallar sınaqdan keçirilmiş, nəhayət, alınmış nəticələrin statistik etibarlılığını təmin etmək üçün hər bir rejim üzrə çoxsaylı təkrar ölçmələr aparılmışdır. Dəyişən fazalarda klapan vaxtı sisteminin təhlili şəkil 3-də verilmişdir [10].



Şəkil 3. Dəyişən fazalarda klapan vaxtı sisteminin təhlili

IV. NƏTİCƏLƏR

Aparılmış nəzəri təhlillər və eksperimental tədqiqatların nəticələri əsasında daxili yanma mühərriklərinin qazpaylayıcı valının səth qüsurlarının erkən diaqnostikası sahəsində bir sıra fundamental və praktiki əhəmiyyət kəsb edən nəticələr əldə edilmişdir. Əldə olunmuş elmi nəticələr və onların əsasında formalaşdırılmış tövsiyələr aşağıdakı kimi qruplaşdırılır.

Nəticələr:

✓ *Qüsurların yaranma mexanizminin dəqiqləşdirilməsi:* Qazpaylayıcı valın kulacok səthində kontakt yorulması nəticəsində baş verən destruktiv proseslərin tsiklik gərginliklərin təsiri altında səthaltı təbəqədən başladığı bir daha təsdiq edilmişdir. Mikroçatların ilkin əmələ gəlmə fazasında onların vizual və ya ənənəvi vibrasiya üsulları ilə aşkarlanmasının qeyri-mümkünlüyü səbəbindən, diaqnostika strategiyasının fiziki meydana çıxma anına deyil, enerji buraxılması hadisəsinə əsaslanmasının zəruriliyi elmi cəhətdən əsaslandırılmışdır.

✓ *Akustik emissiya metodunun üstünlüyünün sübutu:* Eksperimental tədqiqatlar nəticəsində sübut edilmişdir ki, qazpaylayıcı valın səth qatında hələ gözlə görünən oyuqlar (pitting) əmələ gəlməmişdən əvvəl mikroçatların generasiya etdiyi akustik emissiya (AE) siqnalları diaqnostik informasiyanın ən etibarlı daşıyıcısıdır. Müəyyən edilmişdir ki, AE siqnallarının intensivliyi və tezlik spektri qüsurun dərinliyi ilə birbaşa mütənasib əlaqəyə malikdir.

✓ *Dalğacıq analizinin effektivliyinin təsdiqi:* Ənənəvi Furye spektral analizindən fərqli olaraq, dalğacıq çevirməsi (Wavelet Transform) üsulu akustik emissiya siqnallarının qısamüddətli və qeyri-stasionar xarakterli impulslarını yüksək dəqiqliklə lokalizə etməyə imkan vermişdir. Bu üsul mühərrikin digər aqreqatlarından gələn səs-küy fonunda faydalı siqnalın maskalanma problemini əhəmiyyətli dərəcədə aradan qaldıraraq, diaqnostik həssaslığı təxminən 30-40% artırmışdır.

✓ *Korrelyasiya asılılıqlarının müəyyən edilməsi:* Tədqiqat çərçivəsində qazpaylayıcı valın səthində süni yolla yaradılmış nəzarətli qüsurların həndəsi ölçüləri (dərinlik və sahə) ilə qeydə alınan AE siqnallarının amplitud-tezlik xarakteristikaları arasında empirik riyazi model qurulmuşdur. Bu model qüsurun inkişaf dinamikasını proqnozlaşdırmaq üçün ilkin baza rolunu oynaya bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. F. Q. Əmirov. Mütərəqqi tribotexniki avadanlıqlar və vasitələr. Dərslik. Bakı, AzTU, 2019, 456 səh.
2. F.Əmirov, A.Kərimov. "Daxili yanma mühərriklərinin paylayıcı vallarda yaranan nasazlıqların araşdırılması. Mütərəqqi texnologiyalar və innovasiyalar" mövzusunda IX Respublika elmi-texniki konfrans. AzTU. 1-2 May, 2024 , s 972.
3. Amirov, F. G., Abbasov, V. A., Kerimov, A. F.,&Rzayeva, V. H. (2025). Design Features of New Camshaft. *Russian Engineering Research*, *45*(9), 1244-1247.
4. Abbasov, V., Amirov, F.,&Karimov, A. (2025). WEAR PROPERTIES OF CAMSHAFT CAMS AND IMPROVEMENT OF THEIR WEAR RESISTANCE. *Reliability: Theory&Applications*, *20*(SI 7 (83)), 297-303.
5. Elforjani, M., & Mba, D. (2009). Detecting natural crack initiation and growth in slow speed shafts with the Acoustic Emission technology. Engineering Failure Analysis, 16(7), 2121-2129. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2009.02.005
6. Wang, P., Chen, Z., Lu, S., & Dai, B. (2024). Cepstrum-driven modulated empirical wavelet transform and its application in bearing fault diagnosis. Engineering Research Express, 6, 045418. https://doi.org/10.1088/2631-8695/ad8f17
7. Shareef, I.,&Karmali, A. (2003). Fatigue Life of Diesel Engine Cams in Accelerated Test Environment (SAE Technical Paper 2003-01-0052). SAE International. https://doi.org/10.4271/2003-01-0052
8. https://highwayandheavyparts.com/blog/camshaft-failure-analysis-what-causes-excessive-lobe-wear/
9. https://www.acousticemissionservice.com/
10. https://youtu.be/qTNyZnn_Mpw?si=7wi4DDbcSepWvtjj

HİBRİD NANOSİSTEMLƏRİN LAY-QUYU SİSTEMİNƏ TƏSİRİNİN TƏDQİQİ

Nurlana Ağayeva
Neftqazçıxarmada nanotexnologiyalar laboratoriyası
Neftqazelmitədqiqatlayihə İnstitutu
Bakı, Azərbaycan
n.agayeva1975@gmail.com

Könül Cabbarova
Neftqazçıxarmada nanotexnologiyalar laboratoriyası
Neftqazelmitədqiqatlayihə İnstitutu
Bakı, Azərbaycan
jabbarova.k@gmail.com

Xəyyam Hüseynli
Neftqazçıxarmada nanotexnologiyalar laboratoriyası
Neftqazelmitədqiqatlayihə İnstitutu
Bakı, Azərbaycan
khayyam.huseynli@gmail.com

Xülasə: Müasir neft-qaz sənayesində lay-quyu sistemində baş verən fiziki və kimyəvi proseslərin effektiv idarə olunması hasilatın artırılması və karbohidrogen ehtiyatlarından səmərəli istifadə baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu istiqamətdə hibrid nanosistemlərin işlənilməsi və tətbiqi son illərdə innovativ və perspektiv yanaşma kimi tədqiq olunmağa başlayıb. Belə ki, hibrid nanosistemlər neft hasilatını artırmaq üçün

yüksək potensiala malik innovativ kompozit materiallar kimi çıxış edir. Bu sistemlər fərqli fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərə malik iki nanohissəciyin sinergetik şəkildə birləşdirilməsi nəticəsində formalaşır. Hibrid nanosistemlər tək nanohissəcikli sistemlərlə (mono nanosistemlərlə) müqayisədə daha kompleks və çoxfunksiyalı təsir mexanizmlərinə malikdirlər. Başqa sözlə desək, hibrid nanosistemlər yüksək səthi aktivlik, kimyəvi aktivlik və çoxfunksiyalı təsir xüsusiyyətləri ilə xarakterizə olunur. Bu xüsusiyyətlər onların lay daxilində gedən proseslərə kompleks və sinergetik təsir göstərməsinə imkan verir.
Hibrid nanosistemlərin əsas üstünlüyü onların lay–quyu sistemində baş verən proseslərə eyni anda bir neçə istiqamətdə təsir göstərməsidir. Belə ki, birinci nanohissəcik əsasən sistemin dispers stabilliyini artıraraq onun yüksək təzyiq və yüksək temperatur şəraitində dayanıqlılığını təmin edir. İkinci nanohissəcik isə süxur–maye səthində aktiv rol oynayaraq islanma xüsusiyyətlərini (islanma bucağını) dəyişdirir və süxur səthini hidrofob vəziyyətdən hidrofil vəziyyətə keçirə bilir. Bu dəyişiklik nəticəsində kapilyar qüvvələr zəifləyir, fazalararası səthi gərilmə azalır, neftin məsaməli mühitdə hərəkəti asanlaşır və qalıq neftin mobilizasiyası artır.
Beləliklə, son tədqiqatlar göstərir ki, hibrid nanosistemlər neft hasilatının artırılmasında əsas innovativ yanaşmalardan biri kimi qiymətləndirilir. Məhz bu səbəbdən təqdim etdiyimiz işdə yeni nəsil hibrid nanosistemlərin işlənilməsi istiqamətdə tədqiqat işləri aparılmış və onların müqayisəli təhlili aparılmışdır. Müqayisəli təhlil göstərmişdir ki, mono nanosistemlə müqayisədə hibrid nanosistemlər daha effektivdir və hasilatın artırılmasına müsbət təsir göstərir.
***Açar sözlər**: hibrid nanosistem, nanohissəcik, lay-quyu sistemi, neft hasilatı, sinergetik effekt*
Abstract: In the modern oil and gas industry, effective management of physical and chemical processes occurring in the layer-well system is great importance in terms of increasing production and efficient use of hydrocarbon resources. In this direction, the development and application of hybrid nanosystems has begun to be studied as an innovative and promising approach in recent years. Thus, hybrid nanosystems act as innovative composite materials with high potential for increasing oil production. These systems are formed by the synergistic combination of two nanoparticles with different physicochemical properties. Hybrid nanosystems have more complex and multifunctional mechanisms of action compared to systems consisting of single nanoparticles (mono nanosystems). In other words, hybrid nanosystems are characterized by high surface activity, chemical activity, and multifunctional effect properties. These properties allow them to exert a complex and synergistic effect on the processes occurring within the layer
The main advantage of hybrid nanosystems is that they influence the processes occurring in the lay-well system in several directions at once. Thus, the first nanoparticle mainly increases the dispersion stability of the system, ensuring its stability under high pressure and high temperature conditions. The second nanoparticle plays an active role at the rock-liquid interface, changing the wettability (contact angle) and can transform the rock surface from a hydrophobic state to a hydrophilic state. As a result of this change, capillary forces weaken, interfacial surface tension decreases, oil movement in the porous medium is facilitated, and residual oil mobilization increases.
Thus, recent studies show that hybrid nanosystems are considered as one of the main innovative approaches to increase oil production. For this reason, in the work we present, research has been conducted on the development of new generation hybrid nanosystems and their comparative analysis has been conducted. Comparative analysis has shown that hybrid nanosystems are more effective and have a positive impact on increasing production compared to mono nanosystems.
***Keywords**: hybrid nanosystem, nanoparticle, layer-well system, oil production, synergistic effect*

I. GİRİŞ

Qlobal enerji tələbatının artması və mövcud neft yataqlarında hasilatın təbii azalması əlavə neftçıxarma texnologiyalarının inkişafını zəruri etmişdir. Ənənəvi hasilat üsulları ilə neftin yalnız bir hissəsi çıxarıldığından, lay-quyu sistemində baş verən proseslərin daha dərindən öyrənilməsi və onların idarə olunması xüsusi aktuallıq kəsb edir. Məhz bu səbəbdən son illərdə nanotexnologiyaya əsaslanan yanaşmalar diqqət mərkəzinə çevrilmişdir. Nanotexnologiyaların neft-qaz sənayesində tətbiqi yeni elmi və texnoloji istiqamət kimi formalaşmışdır. Nanohissəciklər 1–100 nm ölçüdə olduqları üçün məsaməli mühitə nüfuz etmək və lay daxilində baş verən fiziki-kimyəvi proseslərə birbaşa təsir göstərmək qabiliyyətinə malikdir. Belə ki,

nanohissəciklərin yüksək səthi aktivliyi, böyük spesifik səth sahəsi və məsaməli mühitdə daşınma qabiliyyəti onları neftçıxarma prosesləri üçün perspektiv materiala çevirir [1-5].

Son tədqiqatlar göstərir ki, tək nanohissəcikli sistemlər (mono nanosistemlər) müəyyən effektivlik göstərsə də, lay şəraitinin mürəkkəbliyi, yüksək temperatur, yüksək duzluluq təsirləri onların stabilliyini məhdudlaşdıra bilər. Bu səbəbdən daha stabil və çoxfunksiyalı sistemlərin, yəni iki nanohissəcikli sistemlər olan hibrid nanosistemlərin yaradılması istiqamətində tədqiqat işləri aparılmağa başlanılmışdır. Bu sistemlər iki fərqli nanohissəciyin sinergetik təsiri əsasında formalaşır və çoxfunksiyalı təsirə malikdirlər. Bu nanohibrid sistemlərin tətbiqi adi su və polimer vurulması ilə müqayisədə daha effektivdir. Hibrid nanosistemlər həmçinin yüksək özlülüyə malik ağır neftlərin çıxarılmasında da effektiv olur [6].

Müasir dövrdə enerji tələbatının artması fonunda həm neftçıxarmanın artırılması, həm də CO_2 emissiyalarının azaldılması üçün ekoloji cəhətdən təmiz texnologiyalar tələb edilir. Məhz bu məqsədlə yaşıl nanotexnologiyadan istifadə olunması təklif olunmuşdur. Tədqiqatlarda yaşıl mənbə kimi bentonit tullantısından SiO_2 nanohissəciklər alınmış və səthi silan ilə modifikasiya edilərək daha stabil nanoflüid hazırlanmışdır. Hibrid nanohissəcik əsasında hazırlanmış yaşıl nanoflüid həm neft hasilatının artırılması, həm də həm də CO_2 emissiyasının azaldılması üçün effektiv və ekoloji cəhətdən uyğun texnologiyadır. Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, alınmış bu hibrid nanohissəcik tək nanohissəciklərdən fərqli olaraq yüksək duzluluqda belə stabildir, süxurun islanmasını güclü şəkildə dəyişir (hidrofobdan hidrofilə doğru dəyişir), θ islanma bucağını isə əhəmiyyətli dərəcədə (175°-dən 68°-yə qədər) azaldır [7].

İki müxtəlif nanohissəcikdən ibarət hibrid sistem (Fe_2O_3 + SiO_2) hazırlanaraq, onun lay xüsusiyyətlərinə təsiri tədqiq olunmuşdur. Aparılan tədqiqatlar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, sistemə SiO_2 nanohissəcik əlavə edilməsi Fe_2O_3 nanohissəciklərinin stabilliyini artırır və fazalararası səthi gərilməni kəskin şəkildə azaldır. Həmçinin müəyyən olunmuşdur ki, süxurun islanması hidrofobdan hidrofilə dəyişir. Beləliklə, iki nanohissəcikli hibrid nanosistemlər tək nanohissəcikli nanosistemlə müqayisədə daha güclü sinergetik təsir göstərərək neftçıxarma prosesini daha effektiv edir [8].

II. TƏDQİQAT

Hibrid nanosistemlər lay-quyu sistemində baş verən çoxfazalı axın və səthi-kimyəvi proseslərin optimallaşdırılmasında kompleks təsir mexanizmi ilə fərqlənir. Belə ki, hibrid nanosistemlərin əsas üstünlüklərindən biri onların sinergetik təsirə malik olmasıdır. Bu sistemlərin effektivliyi iki fərqli nanohissəciyin funksional olaraq bir-birini tamamlamasına əsaslanır. Birinci nanohissəcik əsasən dispers stabilliyi artıraraq onun yüksək təzyiq və yüksək temperatur şəraitində dayanıqlılığını, ikinci nanohissəcik isə süxur–maye sərhədində səthi təsirləri idarə edir. Belə ki, ikinci nanohissəcik süxur səthinə adsorbsiya olunaraq onun səth enerjisini dəyişdirir. Bu proses nəticəsində islanma bucağı azalır və süxur səthi hidrofob vəziyyətdən hidrofil vəziyyətə keçid edir. Nanohissəcik neft-su sərhədində fazalararası səthi gərilməni əhəmiyyətli dərəcədə azaldaraq kapilyar qüvvələrin zəifləməsinə gətirib çıxarır ki, bu da məsamələrdə qalan neftin mobilizasiyasını asanlaşdırır.

Lay şəraitində nanohissəciklərin effektivliyi onların məsaməli mühitdə aqreqasiya olmadan hərəkət etməsi ilə birbaşa bağlıdır. Bundan əlavə qeyd etmək lazımdır ki, hibrid nanosistem lay daxilində daha dərin zonalara nüfuz edə bilir. Həmçinin, hibrid nanosistemlər yüksək temperatur, təzyiq və duzluluq kimi lay şəraitlərində belə sabitliyini qoruyub saxlaya bilir. Lakin sistemin real yataq şəraitində uzunmüddətli stabilliyi, nanohissəciklərin mümkün adsorbsiya itkisi və iqtisadi səmərəlilik məsələləri hələ də əlavə tədqiqat tələb edir. Gələcək işlərdə bu nanosistemlərin müxtəlif lay tiplərində davranışının eksperimental və modelləşdirmə yanaşmaları ilə daha dərindən araşdırılması vacibdir.

Beləliklə, aparılan tədqiqatların təhlili göstərir ki, hibrid nanosistemlər neft hasilatının artırılmasında əsas innovativ yanaşmalardan biri kimi qiymətləndirilir.

III. NƏTİCƏ

Hibrid nanosistemlər lay-quyu sistemində baş verən fiziki və kimyəvi proseslərin optimallaşdırılması baxımından yüksək potensiala malik innovativ materiallar kimi qiymətləndirilir. Bu sistemlərin əsas üstünlüyü onların sinergetik təsir göstərərək həm dispers stabilliyi, həm də səthi aktivliyi eyni anda təmin etməsidir. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, hibrid nanosistemlər islanma xüsusiyyətlərini dəyişdirir, fazalararası səthi gərilməni azaldır, kapilyar qüvvələri zəiflədir və nəticədə qalıq neftin mobilizasiyası artır.

Ümumilikdə, hibrid nanosistemlər gələcək nəsil əlavə neftçıxarma texnologiyalarında perspektiv yanaşma kimi çıxış edir. Bu baxımdan müəlliflər tərəfindən yeni nəsil hibrid nanosistemlərin alınması, tədqiqi, tətbiqi istiqamətdə işlər görülmüş və alınan nəticələrin müqayisəli təhlili aparılmışdır. Müqayisəli təhlil göstərmişdir ki, mono nanosistemlə müqayisədə hibrid nanosistem daha effektivdir və hasilatın artırılmasına müsbət təsir göstərir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

[5] Ibrahim Khan, , Khalid Saeed, and Idrees Khan. "Nanoparticles: Properties, Applications and Toxicities", Arabian Journal of Chemistry, November 2019, Volume 12, No. 7, pp. 908-931.

[6] Jayashri Naphade, Shraddha Khamkar. "A comprehensive review of nanoparticles: Their characteristics, synthesis methods, applications, and associated challenges", International Journal of Innovative Research in Technology, 2025, Volume 12, İssue 3, pp. 1638-1646.

[7] M. Anto Godwin, K. Mahitha Shri, M. Balaji. "Nanoparticles and their applications – a mini review", International Journal of Research in Engineering and Bioscience, 2015, Volume 3, İssue 5, pp. 11-29.

[8] Ayan Roy, Dikshita Kabra, Garima Pareek, Kanak Kumari, Pandali Pratyush Kashyap, Samriddhi Naik, Utkarsh Chadha, and Senthil Kumaran Selvaraj. "A review of nanomaterials and their applications in oil and petroleum industries", Nano Express, 2023, Volume 4, No. 2, 13 p.

[9] Youssef E. Kandiel, Gamal M. Attia, Farouk I. Metwalli, Rafik E. Khalaf, and Omar Mahmoud. "Nanoparticles in enhanced oil recovery: state-of-the-art review", Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 2025 Volume 15, article number 66, 47 p.

[10] Ashkan Maleki, Arash Mehdizad, Nahid Sarlak , Behnam Sedaee, Alimorad Rashidi, Aliyar Javadi, Reza Daneshfar, Vahid Rezaverdinejad, and Sajjad Gharechelou. "Enhancing oil recovery with MWCNT and GO nanocomposites in high salinity heterogeneous media", Petroleum Research, 2025, Volume 10, Issue 3, September 2025, pp. 577-591.

[11] Zain-Ul-Abedin Arain, Sarmad Al-Anssari, and Mohammad Sarmadivaleh. "Characterization and Influence of Sustainable Hybrid Silica Nanoparticles on Enhanced Oil Recovery and Carbon Geosequestration", Emerging Trends in Engineering and Sustainability (ETES), 2025, Volume 1, No. 1, pp. 1-19.

[12] Yarima Mudassir Hassan, Beh Hoe Guan, Lee Kean Chuan, Mohammed Falalu Hamza, Muhammad Adil, and Abdullahi Abbas Adam. "The synergistic effect of Fe_2O_3/SiO_2 nanoparticles concentration on rheology, wettability, and brine-oil interfacial tension", Journal of Petroleum Science and Engineering, 2022, Volume 210, Article 110059.

QEYRİ – METAL BORULARDA HİDRAVLİK MÜQAVİMƏTİN EKSERİMENTAL TƏDQİQİ

Asif Quliyev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Mexanika mühəndisliyinin müasir problemləri
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
asquliyev@beu.edu.az

Emil Musayev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Mexanika mühəndisliyinin müasir problemləri
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
emusayev9@std.beu.edu.az

Xülasə: Məqalədə qeyri – metal borularda xətti hidravlik müqavimət əmsalının tədqiqi ilə əlaqədar müxtəlif tədqiqatçıların aldığı nəticələr analiz olunmuş ,hidravlik müqavimət əmsalının eksperimen-tal nəticələri verilmiş, təcrübi qiymətlər əsasında $\lambda = f(\mathrm{Re})$ asılılıqları qurulmuş və Reynolds ədədinin geniş diapazonunda basqı itgisini hesablamaq üçün empirik ifadələr təklif olunmuşdur.

Abstract: The article analyzes the results obtained by various researchers regarding the study of the linear hydraulic resistance coefficient in non-metallic pipes, gives experimental results of the hydraulic resistance coefficient, establishes its dependencies based on experimental values, and proposes empirical expressions for calculating the pressure loss in a wide range of Reynolds numbers.

Açar sözlər: *Reynolds ədədi, hidravlik müqavimət, boru kəmərləri,basqı itgisi*

Keywords: Reynolds number, hydraulic resistance, pipelines, pressure loss

I. GİRİŞ

Müasir dövrə qədər su kəmərləri qurğularının çəkilişində polad və çuğun borular mühüm yer tuturdular ki, onların da hazırlanması çox əmək tutumlu və bir sıra hallarda isə iqtisad cəhətddən əlverişli deyildir. Polad və çuğun boru kəmərlərinin əsas çatışmayan cəhəti onların kimyəvi və elektrokimyəvi korrroziyaya düçar olması, suyun axma müddətində borunun daxili səthinin örtülməyə meyilli olmasıdır.

Qeyri-metal materiallardan olan borular özünün hidravliki, montaj, istismar və bir sıra xüsusiy-yətlərinə görə metal boruları ötüb keçir. Qeyri-metal borular içərisində böyük perspektivə malik olan müxtəlif sintetik materiallardan hazırlanan polietilen , viniplast, şüşə və s. borular tutur. Qeyri-metal borular hamar səthə malik olduğu üçün metal borularla müqayisədə yaxşı maye ötürmə qabiliyyətinə malikdir.

Məsələnin qoyuluşu. Plastmas boruların tətbiq oblastını qiymətləndirdikdə, mexaniki, kimyəvi və digər xassələrdən başqa bu boruların hidravliki xarakteristikasını da bilmək vacibdir. Plastmas boruların dəqiq hidravlik xarakteristikasının öyrənilməsi ona görə vacibdir ki, həmin borulardan maye keçən müd-dətdə praktiki olaraq hidravlik xassəsinin dəyişməsi və korroziyaya meyilli olub-olmaması öyrənilir.

Dünyanın bir sıra ölkələrində plastmas borularda basqı itgisini tədqiq etmək üçün tədqiqatlar aparılmış və bu tədqiqatların nəticəsi olaraq borunun uzunluğu boyunca sürtünmə əmsalının - λ qiyməti aşağıdakı kimi ifadə edilmişdir.

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{\vartheta^2}{2g} \quad (1)$$

Belçika universitetinin professoru H.Tizon sürtünmə əmsalını - λ tədqiq etmək üçün bir sira təcrübi tədqiqatlar aparmış, təcrübələr laborator və natur şəraitində polietilen “Sopoleks” borularda aparılmışdır.

Polietilen və metal boruların maye buraxma qabiliyyətini müqayisə etmək üçün H.Tizon aşağıdakı düsturu

$$i = \frac{\lambda \vartheta^2}{2g} \quad \text{və} \quad \lambda = \frac{0.3164}{\mathrm{Re}^{0,25}}$$

başqa formaya salmışdır.

Sürixdə ali texniki məktəbdə polivinilxlorid və polietilen borularda basqı itkisini tədqiq etmək üçün tədqiqatlar aparılmış və tədqiqatdan alınmış qiymətlər əsasında bu nəticəyə gəlinmişdir ki, hidravlik müqavimət əmasalının (sürtünmə λ) qiymətini hesablamaq üçün hamar metal borularda basqı itgisinin hesablanmasında tətbiq olunan Herman – Burbah düsturundan

$$\lambda = 0{,}00540 + \frac{0{,}322}{\mathrm{Re}_r^{0{,}3}}\ , (2)$$

Almaniyada H.Hryuner polivinilxlorid və polietilen borularda basqı itkisini tədqiq etmək üçün tədqiqatlar aparılmış və bu nəticəyə gəlmişdir ki, bu cür borularda basqı itkisini təyin etmək üçün Kolbruq – Uayt

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\lg\left(\frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3{,}71d}\right), (3)$$

düsturundan istifadə etmək olar. Burada, $k = 0{,}0015$ qəbul etmək olar.

Çexiyada t.e.d. A.Polyanskiy və müh. A.Yanus şərti keçid diametrləri 15,20, 25,və 32 mm olan polivinilxlorid borularda hidravlik müqaviməti tədqiq etmək üçün Reynolds ədədinin kiçik qiymətlərində təcrübi tədqiqatlar aparmışlar. A. Polyan-skiy hamar borular üçün öz aldığı nəticələri Yakoba və Erka

$$\lambda = 0{,}0072 + \frac{0{,}6104}{\mathrm{Re}^{0{,}35}} + \frac{5{,}1\cdot 10^{-6}}{d}\mathrm{Re}^{0{,}108}$$ (4) düsturları ilə müqayisə etmiş və bu qənaətə gəlmişdir ki, polivinilxlorid borularda hidravlik müqavimət əmsalının qiyməti (4) düsturu ilə hesablanmış nəticədən kiçikdir.

Viniplast borularda hidravlik müqavimət əmsalının qiymətini təqribi hesablamaq üçün Şevelyev aşağıdakı düsturlu təklif etmişdir:

$$\lambda = \frac{0{,}287}{\mathrm{Re}^{0{,}226}}$$ (5)

Bir az sonra M. Ruzin plastik boruların (viniplast və yaxud polietilen) hansı materialdan hazırlanmasından asılı olmayaraq hidravlik müqavimət əmsalını hesablamaq üçün aşağıdakı düsturlu təklif etmişdir:

$$\lambda = \frac{0{,}246}{\mathrm{Re}^{0{,}22}}$$ (6)

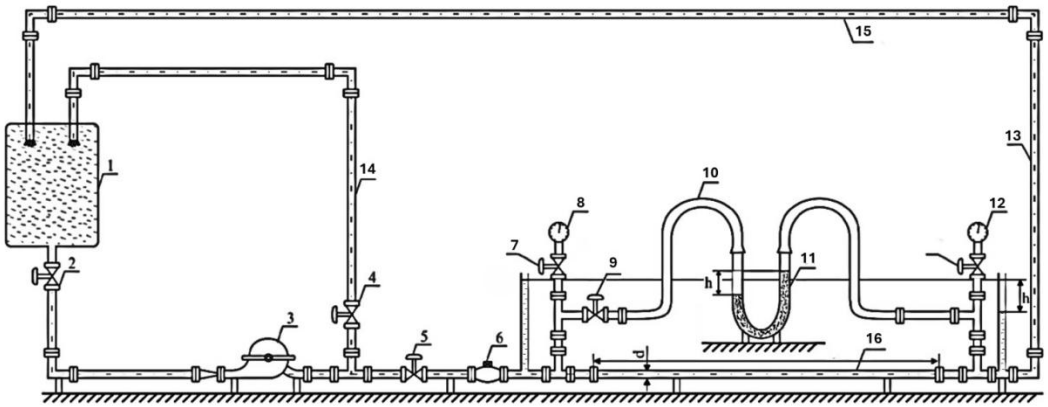
(6) ifadəsini nəzərə alaraq basqı itkisini hesablamaq üçün aşağıdakı düsturdan istifadə olunması tövsiyə olunmuşdur.

$$100i = 0{,}27\frac{Q^{1{,}78}}{d^{4{,}78}}$$ (7)

Maşınqayırma sənayesində istifadə olunan normativ sənədlərə əsasən viniplast borularda hidravlik müqavimətin hesablanması üçün aşağıdakı düstur təklif olunmuşdur.

$$100i = 0.025\frac{Q^{1.774}}{D^{4.774}}$$ (8)

Yuxarıda adları qeyd olunan tədqiqatçılar tərəfindən alınmış nəticələrə müvafiq olaraq tərəfimizdən BMU-nun “Mexanika mühəndisliyi” kafedrasında yığılmış eksperimental təcrübi qurğusunda (şəkil 1) daxili diametri d=12mm olan plastik kütlədən hazırlanmış “Metak” ,”Hilfan” və “Firat” markalı qeyri – metal borularda eksperimental təcrübələr aparılmış, cədvəllər tərtib olunmuş və $\lambda = f(\mathrm{Re})$ asılılıqları qurulmuşdur. Eksperimentlərin nəticələrinə əsasən uyğun borular üçün aşağıdakı kimi empirik asılılıqlar təkilf olunmuşdur.



Şəkil 1.Hidravlik müqavimət əmsalının tədqiqi üçün təcrübə qurğusunun sxemi.

II. ALINMIŞ NƏTİCƏLƏR

“Metak” markalı qeyri-metal borularda Reynolds ədədinin $\mathrm{Re} = 5400 \div 32000$ hədlərində hidravlik müqavimət əmsalını təyin etmək üçün

$$\lambda = \frac{1{,}3695}{\mathrm{Re}^{0{,}4036}} \quad (9)$$

”Hilfan” markalı qeyri-metal borularda Reynolds ədədinin $\mathrm{Re} = 5200 \div 29000$ hədlərində hidravlik müqavimət əmsalını təyin etmək üçün

$$\lambda = \frac{2{,}4942}{\mathrm{Re}^{0{,}5362}} \quad (10)$$

“Firat” markalı qeyri-metal borularda Reynolds ədədinin $\mathrm{Re} = 6800 \div 26000$ hədlərində hidravlik müqavimət əmsalını təyin etmək üçün empirik ifadələr təklif olunmuşdur.

$$\lambda = \frac{6{,}46}{\mathrm{Re}^{0{,}6416}} \quad (11)$$

Bu ifadələri ümumi halda aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\lambda = \frac{A}{\mathrm{Re}^{B}} \quad (12)$$

Təklif olunmuş riyazi empirik ifadələrdən mühəndis məsələlərinin həllində göstərilən diapazonda Reynolds ədədinin istənilən qiymətlərində hidravlik müqavimət əmsalının qiymətlərini hesablamaq olar.

ƏDƏBİYYAT SIYAHISI

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям, М. Машиностроение, 1975, 559 стр.
2. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления, М. 1970, 214стр.
3. S.O.Hüseynov, A.H. Quliyev Hidravlik müqavimətlər. Dərs vəsaiti, B.2012, 128 səh.
4. Дейли и Харлеман. Механика жидкости. Под.ред. О.Ф.Васильева. М., «Энергия», 1970
5. Альтшуль А.Д., Калицун В.И. Гидравлическое сопротивление трубопроводо. М., Стройиздат, 1964.
6. Справочник по гидравлическим расчетам. Под. Ред. П.Г.Киселева. М., «Энергия», 1972

OVUNTU TEZKƏSƏN POLADLARIN FƏRQLİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ VƏ ONLARIN LAZERLƏ EMALINDAN SONRA XARAKTERİK XASSƏLƏRİNDƏ GEDƏN DƏYİŞİKLİKLƏR

Ağəli Quliyev
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin Materialşünaslıq və emal texnologiyaları kafedrasının Dosenti,
Bakı, Azərbaycan
aaquliyev@mail.ru

Aynur Şərifova
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin Materialşünaslıq və emal texnologiyaları kafedrasının Dosenti,
Bakı, Azərbaycan
aynur.sh84@mail.

Amin Bayramov
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin Materialşünaslıq və emal texnologiyaları kafedrasının Magistrantı,
Bakı, Azərbaycan
bayramovamin00@gmail.com

Xülasə: Bu məqalədə kəsici alətlərdən biri olan və geniş tətbiqə malik olan tezkəsən poladların digər kəsici alət poladlarından fərqli xüsusiyyətləri və lazerlə emaldan sonra xarakterik xassələrində gedən dəyişiklikərin öyrənilməsi çox vacib tədqiqat məsələsi kimi ön plana çəkilmişdir. Göstərilmişdir ki, yeni az legirləyici elementli yeni materialların yaradılması, yeni möhkəmləndirici texnologiyanın işlənməsini tələb edir. Odur ki, lazerlə möhkəmləndirmə onların istismar xassələrini yaxşılaşdırmaq üçün perspektivli üsullardan biri hesab edilir.

Lazerlə möhkəmləndirmədə maye fazada və austenit halındakı bərkimə rejimləri tədqiq edilmişdir. Lazer şüalanması ilə metalın ərimə temperaturundan yuxarı temperaturadək qızması karbidlərin demək olar ki, tam həll olmasına və bərk məhlulun legirləyici elementlər və karbonla əlavə doymasına gətirib çıxarır. Rentgen difraksiya analizinin nəticələrinə görə hər iki poladların termiki emal zonası γ- fazadan ibarətdir və onun xətlərinin intensivliyi α – fazanın xətlərinin intensivliyindən xeyli yüksəkdir. Lakin kristallaşma teksturasının mövcudluğu səbəbindən bu fazaların dəqiq kəmiyyət nisbətini müəyyən etmək mümkün olmamışdır. Adi həcmi tablama ilə müqayisədə martensit çevrilməsinin başlanma temperaturunun azalması və tezkəsən poladın ərimə zonasında qalıq austenitin miqdarının artmasınna səbəb olur. Aşkarlanmışdır ki, hər iki poladda optimal rejimdə alınan mikrobərklik ənənəvi termiki emaldan sonra alınan poladın mikrobərkliyindən aşağıdır. Ancaq volframsız ovuntu poladında ərimə zonasında mikrobərklik qalınlıq boyunca bərabər paylanır.

***Açar sözlər**: Tezkəsən poladlar, lazerlə möhkəmləndirmə, legirləyici elementlər, mikrobərklik, struktur-faza çevrilmələri, termiki emal*

I. AKTUALLIQ

Hazırda metal kəsici alətlərin yarıdan çoxu tezkəsən poladlardan hazırlanır. Lakin bu poladların tərkibində olan əsas legirləyici elementlərin çatışmazlığı yeni azlegirli poladların yaradılmasını, eləcə də yeni möhkəmləndirmə texnologiyalarının işlənib hazırlanmasını zəruri etmişdir. Belə materiallar (volframsız ovuntu poladlar da daxildir) lazerlə möhkəmləndirmə onların istismar xassələrini yaxşılaşdırmaq üçün perspektivli üsullardan biri hesab olunur.

Tezkəsən poladlardan məmulatların alınmasında tətbiq edilən ovuntu metallurgiyasının əsəs üstünlükləri bu poladlar üçün xarakterik olan karbid qeyri-bircinsliyini aradan qaldırmaq və metalın qeyri-müvazinət halı xüsusiyyətlərindən istifadə etməkdir. Ovuntu tezkəsən poladdan istifadə alət poladlarının keyfiyyətinin və kəsici alətlərin davamlılığının artırılması istiqamətində geniş imkanlar yaradır.

Ənənəvi metallurgiya texnologiyaları ilə alınan tezkəsən poladlarla müqayisədə ovuntu tezkəsən poladların bir çox üstünlükləri var: Dənələrin böyüməsi meyilliliyini azaldır; Karbid fazaların dispersliyini artırır və onların bərabər paylanmasını təmin edir; Pardaxlamanı yüksəldir.; Yüksək səviyyəli mexaniki və istismar xassələri.

Tezkəsən poladların alınma texnologiyası maye poladı inert qaz (yüksək təmizliyə malik azotla) tozlandırmadan sonra kompaktlaşdırılmış ovuntunun və sıxlığı yüksək olan pəstahın alınmasından ibarətdir. Tezkəsən polad ovuntusunun alınması üçün onu indiksion sobada 1600-1650 °C temperaturda əridərək

qəbuledici qatın va forsunka qurğusunun köməyi ilə tozlandırma kamerasına verirlər. Maye metal damcılarının kristallaşması 103-104°C/san sürətlə yerinə yetirilir. Belə şəraitdə ovuntu hissəciklərdə yüksək dispersli mikrostruktur formalaşır. Ovuntu hissəciyi formasında karbid fazaları özünü karkas kimi biruzə verir. Tozlandırılmış tezkəsən polad ovuntuları aşağı preslənmə qabiliyyətinə malikdir. Ovuntu materialından 1,2-2,6 MPa təzyiqdə preslənmiş və yüksək bişirilmə temperaturunda (1200°C) pəstah alınır, lakin bu qəbuledilməz sayılır, çünki burada məsaməlik 10-15% təşkil edir. Kompakt tezkəsən polad pəstahı isti ekstruziya ilə, izostatik isti presləmə ilə alınır. Alınan tezkəsən polad pəstahın strukturu qeyri-bircinsliyi ilə seçilir, yəni karbid torunu saxlayan hissəciklər ayrı-ayrı görünür. 10P6M5-MП poladında əyilmədə möhkəmlik həddi 1500-1800 MPa, zərbə özlülüyü isə 0,05-0,08 kC/mł təşkil edir. İsti plastiki deformasiyanın (döymə, hopdurma və s.) tətbiq edilməsi mikrostrukturun bircinsliyini və yüksək mexaniki xassə səviyyəsini təmin edir. Bu proses zamanı dənələrin çox uzanmasına və ilkin karbidlərin çox dağılmasına yol verilməməlidir. [1]

İsti presləmə ilə alınan tezkəsən poladlar yüksək dispersliyi, karbid fazaların bircins (bərabər) paylaması ilə xarakterizə olunur hansı ki, adi metallurgiya texnologiyaları ilə alınan metallarda əldə edilmir. Karbidlərin orta olçüləri 0,6-0,8mkm, ancaq maksimal ölçüləri isə 2-3 mkm-dan çox olmur.

Kiçik ölçülü karbidlərin bərabər paylanması dənələrin böyülməyə meyilliyini azaldır. Tablandırma rejimlərinin düzgün seçilməsi zamanı austenit dənələri çox böyük alınmır (nömrə 11-12). İstehsalat şəraitində istismar xassələrinin sınağı göstərir ki, ovuntudan hazırlanan tezkəsən poladların davamlılığı, həmin tərkibdə olan əridilmə ilə alınan alət poladlarına nisbətən üstünlük təşkil edir. Ən yüksək effekt çətin emal edilən materialların malında əldə edilmişdir. [2]

Yüksək keyfiyyətli tezkəsən poladların alınmasında ilk növbədə ovuntu özü yüksək keyfiyyətli olmalıdır. Bundan başqa bircins kimyəvi tərkibə, lazımi səpilmə sıxlığına və axıcılığa, az miqdarda oksigenə və qeyri-metal daxilolmalara malik olmalıdır. Baş verən və ya müşahidə olunan üsurlərə laylanma, mikrostrukturda kükürd likvasiyası, dənələr ətrafında oksid pərdəsi və məsamələri aid etmək olar. Qatlaşma yaxud laylanma kapsulaların doldurulma və silkələmə (titrəmə) ilə sıxlaşması zamanı iri və xırda fraksiyaların ayrılması nəticəsində baş verir.

Likvasiya qüsuru dənələr ətrafında sulfid daxilolmaların iştirakı ilə özünü biruzə verir. Ovuntuda az miqdarda, yəni 0,015-0,025% kükürdün olmasına baxmayaraq sulfidlarin olması müşahidə olunur. Bela qüsur 1150°C və ondan yuxarı temperaturda uzun müddət saxlama şəraitində baş verir. Dənələr ətrafında oksid zəncirləri ovuntuda oksigenin miqdarı 0,02% olan hallarda müşahidə olunmuşdur. 10P6M5-MП ovuntu tezkəsən poladında oksigenin miqdarını 0,01-0,07% dəyişməklə xassələrə təsirinin öyrənilməsi göstərmişdir ki, oksigenin miqdarı 0,02%-dan çox olduqda ovuntu poladın zərbə özlülüyü və alətin davamlılığı azalır.

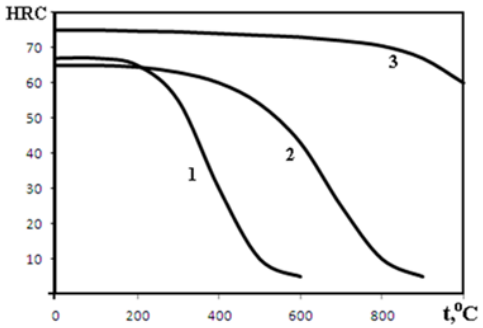
Argon qazının müəyyən miqdarının kapsulaya düşməsi ya ovuntunun preslənməsini çətinləşdirir, ya da pəstada yüksək məsaməlilik saxlanılır. Tezkasan poladın xassələrinə mikroməsaməliyin təsirinin öyrənilməsi zaman gostərilmişdir ki, şlif nümunənin 100 mm2 sahəsində 5 mkm ölçülü 100 mikroməsamə iştirak edərsə, onda ovuntu tezkəsən poladın davamlılığı kompakt (məsamasiz) materialın davamlılığından 2 dəfə az olar. [3]

Beləliklə, tezkəsən poladların ovuntu metallurgiyası ilə alınma üstünlüyünü əldə etmək üçün texnoloji parametrləri ciddi qaydada saxlamaq tələb olunur. Şəkil 1-də müxtəlif alət poladlarının bərkliyının sınaq temperaturundan asılılıq qrafiki göstərilmişdir.

Bərk ərintilər yüksək bərkliyə malikdirlər və yüksək temperaturda da bu barkliyi saxlayırlar. Bildiyimiz kimi bu ərintilər ovuntu metallurgiyası metodları ilə alınır. Burada karbid ovuntuları əlaqələndirici kobalt ovuntuları ilə birləşərək əldə edilir. Texnologiya üzrə ilkin presləmədən sonra 1400-1550 °C temperaturda bişirilir. Belə ərintilər yüksək bərkliklə (HRB 80-97) xarakterizə olunur. Onların çatışmayan cəhəti kövrək olmalarıdır. Bu ərintilərın kəsmə sürəti tezkəsən poladlara nisbətən 5-10 dəfə yüksək olur.

Belə poladların ümumi çatışmamazlıqları yüksək kövrəkliklə yanaşı ilkin volfram xammalın çətin tapılması və yaxud əldə edilməsidir. Hansı ki, volfram komponenti yüksək fiziki-mexaniki xassələri birbaşa yüksəldən və müəyyən edəndir. Bu nöqteyi-nəzərdən ən əlverişli istiqamətlərdən biri volframsız bərk ərintilərin əldə edilməsidir. Bu tərkibdə özünü doğruldan ərintilərdən biri titan karbidi əsaslı və əlaqələndiricisi nikel və molibden olan ərintilərdir. Belə ərintilər: KTC va TH. Digər titan karbidi əsaslı ərintilər olan KTC-1 və KTC-2 tərkibində 15-17% nikel və 7-9% molibden saxlayır

.



Şəkil 1. Müxtəlif alət poladlarin bərkliyinin sinaq temperaturundan asililiği: 1-karbonlu poladlar, 2-tezkəsən poladlar, 3-bərk ərintilər.

TH-20, TH-25, TH-30 növlü bərk ərintilərdə əlaqələndirici metal kimi əsasən 16-30 % nikel istifadə olunur. Molibdenin konsentrasiyası 5-9 %, qalanları isə yenə də titan karbidindən ibarətdir. Belə ərintilərin bərkliyi HRA 87-94 olmaqla yüksək yeyilməyə və karroziyaya davamlılığa malik olur. Belə bərk ərintilər kəsici alətlərin va texnoloji avadanlıqların tezyeyilən detallarının hazırlanmasında istifadə olunur. Xüsusən bərk alət metalları bor nitridi və silisium nitridi əsasında hazırlanır. Onlarda yumuşaq metal əlaqələndirici istifadə olunmur. Belə materiallardan məmulatlar ya partlayışla, ya da ifrat yüksək statiki təzyiq və yüksək temperatur şəraitində hazırlanır. Bor nitridindan və silisium nitridindan hazırlanan məmulatlar indentorlar (ucluqlar) kimi istifadə olunur. Bu ucluqların köməyi ilə 700-1800 temperatur intervalında çətin əriyən materialların bərkliyi ölçülür. Həmçinin abraziv material kimi təqdim olunur. [4]

Eyni zamanda kəskilər təmin edilməklə tablanmış poladların, bərk ərintilərin, şüşə plastiklərin və əlvan metalların emalında geniş istifadə edilir. Belə materiallar temperaturun 1000 °C yüksəldilməsi zamanı yüksək yüksək bərkliyə (HRA 94-96), möhkəmliyə, yeyilməyədavamlığa, fiziki xassələrin yüksək stabilliyinə və struktura malik olur. Bu materialların əsas üstünlüyü ilkin məhsulun ucuzluğu və volframlı bərk ərintiləri əvəz etməsidir. O, cümlədən tezkəsən poladların bütün markaların əvəz edən bir materialdır. Pardax dairələrinin istənilən tərkibli pəstahının hazırlanması üçün abraziv materiallar tətbiq edilir. Bu materiallar içərisində təbii və süni abrazivlər çox fərqlənir. Təbii abraziv materiallara almazlar, qranitlər, korundlar, sünilərə isə süni almazlar, heksoqonal bərk nitridlər, karboqrund daxildir.

Bu tədqiqatın məqsədi lazerlə möhkəmləndirmənin P0M2Ф3-МП və 10P6M5-МП markalı ovuntu tezkəsən poladların quruluşuna və xassələrinə təsirini öyrənməkdir (cədvəl 1).

Cədvəl 1. lazerlə möhkəmləndirilən poladlarin kimyəvi tərkibi

Polad	Kimyəvi tərkib, % (kütlə)						
	C	Mo	Cr	V	Mn	Si	W
P0M3Ф3-МП	1,19	2,94	4,29	3,36	0.2	0,37	-
10P6M5-МП	1,05	5,50	4,10	1,95	0,2	0,15	6,05

Qeyd. Adları göstərilən elementlərdən başqa poladların tərkibində S, P və O kimi elementlərin tərkib miqdarı < 0,02% çox olmamalıdır.

Maye fazadan və austenit halından bərkimə rejimləri tədqiq edilmişdir; bunlar uyğun olaraq lazer enerjisi sıxlığının WE > 2,2 J/mm² və WE ≤ 2,1–2,2 J/mm² olması ilə xarakterizə olunur. [5]

Ovuntu tezkəsən poladlarda, ənənəvi üsulla istehsal olunmuş tezkəsən poladlarda olduğu kimi, səthin ərimə rejimində emalı zamanı ərimə zonasının kristallaşması maksimal istilik ayrılması istiqamətində yönəlmiş birinci dərəcəli oxlara malik dendrit quruluşunun yaranması ilə müşayiət olunur. İkinci dərəcəli oxlar arasındakı məsafə — dendrit parametri α — kristallaşma zamanı yaranan soyuma sürətlərini qiymətləndirmək üçün istifadə oluna bilər. Tədqiq olunan poladlarda α = 0,6–1,0 mkm olmuşdur ki, bu da təxminən 10^5–10^6 K/s soyuma sürətinə uyğundur ([2]-də təsvir olunmuş metoda əsasən).

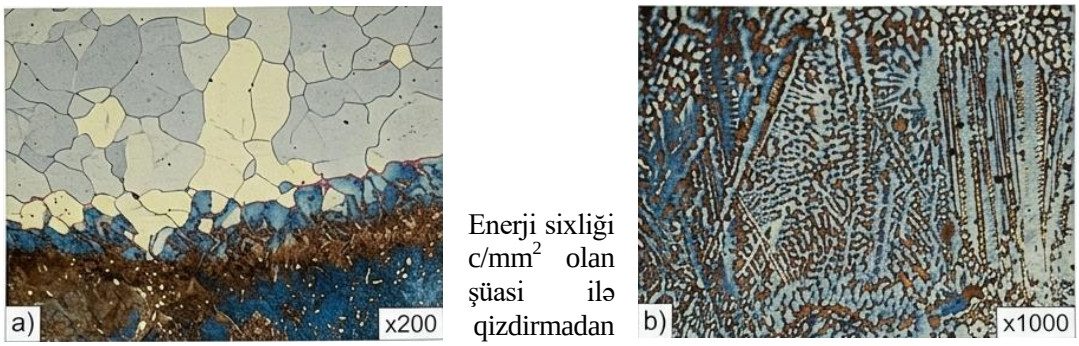
Lazer şüalanması ilə metalın ərimə temperaturundan yuxarı temperaturadək qızdırılması karbidlərin demək olar ki, tam həll olmasına və bərk məhlulun legirləyici elementlər və karbonla əlavə doymasına gətirib çıxarır. Bu

hal adi həcmi tablandırma ilə müqayisədə martensit çevrilməsinin başlanğıc temperaturunun azalmasına və tezkəsən poladların ərimə zonasında qalıq austenitin miqdarının artmasına səbəb olur.

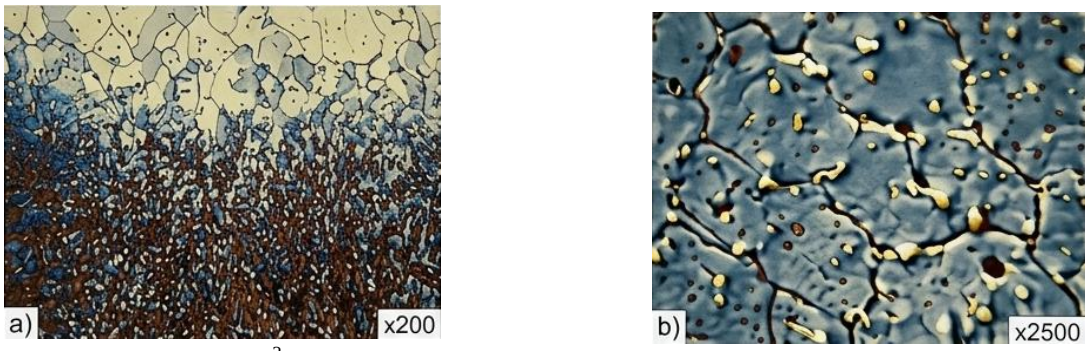
Cədvəl 2. Çoxlu sayda qizdirma nəticəsində yaranan kimyəvi qeyri bircinsliyi təsdiq edən mikrorentgenspektral analzilər

Polad	Ərimə zonasında element tərkibi, % (kütlə)					
	Si	V	Cr	Fe	Mo	W
10Р6М5-МП	0,2/0,6	1,7/1,5	3,5/3,7	71,6/81,0	9,3/5,2	9,8/5,1
Р0М2Ф3-МП	0,2/0,5	10,8/2,9	5,1/4,1	78,6/90,1	5,3/2,4	-

Cədvəldə göstərilən element tərkibi belədir: kəsrin sürətindəki ilkinizafi karbidlərin, məxrəcdə elementlər arası deməkdir.

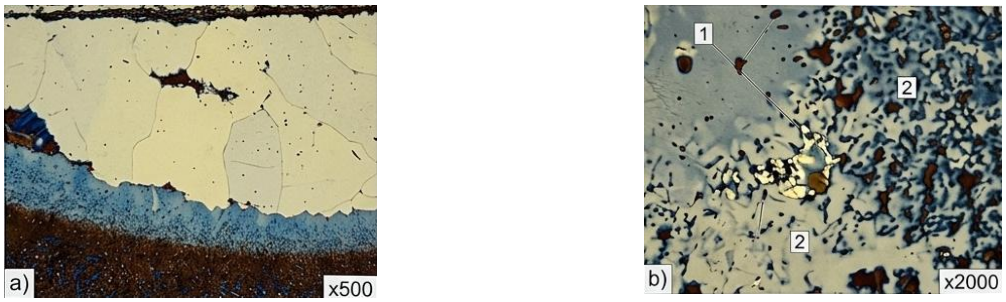


Şəkil 2. w_k = 3,7 c/mm^2 olan impuls lazer şüasi ilə qizdirmadan sonra р0м2ф3 – мп poladinin lazerlə təsir zonasinin mikrostrukturu.ümumi görünüş x200, b) ərimiş zonanin görünüşü x1000



Şəkil 3. Enerji sixliği w_k = 3,7 c/mm^2 olan impuls lazer şüasi ilə qizdirmadan sonra 10р6м5 – мп poladinin lazerlə təsir zonasinin mikrostrukturu

a) ümumi görünüş x200, b) ərimiş zonanın görünüşü x2500



Şəkil 4. Enerji sixliği w_k = 2,2 c/mm^2 olan impuls lazer şüasi ilə qizdirmadan sonra р0м2ф3 – мп poladinin lazerlə təsir zonasinin mikrostrukturu

a) *ümumi görünüş x500, b) bərk halda tablandırma zonası x2000*

Rentgen difraksiya analizinin nəticələrinə görə, 10P6M5-МП və P0M2Ф3-МП poladlarının tablandırılmış zonası əsasən γ-fazadan ibarətdir və onun xətlərinin intensivliyi α-fazanın xətlərinin intensivliyindən xeyli yüksəkdir. Lakin kristallaşma teksturasının mövcudluğu səbəbindən bu fazaların dəqiq kəmiyyət nisbətini müəyyən etmək mümkün olmamışdır (şəkil 2, 3). [6]

Bundan əlavə, rentgenoqramlarda karbid fazasının ən güclü əks olunmalarına uyğun zəif piklər də müşahidə edilmişdir: P0M2Ф3-МП poladı üçün MC, 10P6M5-МП poladı üçün isə M_6C tipli karbidlər müəyyən edilmişdir. Bu, ərimə zonasında karbidlərin az miqdarda və yüksək dispers halda olduğunu göstərir. [7]

Lazer şüalanması zamanı qızdırma sürətinin çox yüksək olması səbəbindən diffuziya və tərkibin bərabərləşməsi prosesləri tam başa çatmağa macal tapmır. Nəticədə əvvəlki karbid fazalarının yerləşdiyi sahələrdə legirləyici elementlərlə zənginləşmiş zonalar əmələ gəlir (şəkil1,3). Ani qızdırma nəticəsində yaranan bu kimyəvi qeyri-bircinslik rentgen mikroanalizinin nəticələri ilə də təsdiqlənir (cədvəl 2).

Metalloqrafik tədqiqat 10P6M5-МП və P0M2Ф3-МП poladlarının ərimə zonalarının quruluşunda fərqlər aşkar etmişdir. 10P6M5-МП poladının ərimə zonasında bütün emal rejimlərində iki struktur komponent müşahidə olunmuşdur: "açıq" və "tünd" sahələr. Bu komponentlərin kəmiyyət nisbəti emal rejimindən asılı olaraq dəyişir. Lazer enerjisi sıxlığı 3,1-dən 2,4 J/mm²-ə dəyişdikdə tünd komponentin miqdarı təxminən 10–15 %-dən 85–90 %-ə qədər artır.

Bu komponentlər ənənəvi üsulla alınmış P6M5 poladının ərimə zonasında da müşahidə edilmişdir [3]. 10P6M5-МП poladının impuls lazer şüalanması ilə qızdırılmasından sonra ərimə zonasının kristallaşması 10^5–10^6 K/s sürətlə baş verir. [4]-də isə P6M5-МП poladının 10^3–10^6 K/s sürətlə soyuduqdan sonrakı kristallaşma prosesi öyrənilmişdir. Görünür, lazerlə qızdırılmış 10P6M5-МП poladın ərimə zonasında baş verən proseslər müxtəlif tədqiqatlarda təsvir edilən proseslərlə oxşardır: kristallaşma zamanı peritektik və evtektik reaksiyalar nəticəsində δ-ferrit və austenit əmələ gəlir. [8]

Soyuma sürəti artdıqca [4]-ün müəllifləri peritektik austenitin həcm payının azaldığını və δ-ferritin miqdarının artdığını göstərmişlər. Ehtimal etmək olar ki, 10P6M5-МП poladının ərimə zonasındakı tünd komponent iki fazadan — δ-ferritdən və peritektik çevrilmə nəticəsində əmələ gəlmiş austenitdən — ibarətdir. Bu fikir elektron mikroskopik tədqiqatların nəticələri ilə də təsdiqlənir. Tünd komponentdə δ-ferritin olması onun mikrosərtliyinin daha aşağı olmasına səbəb olur.

Tərkibində volfram olan P0M2Ф3-МП poladında isə karbonun daha yüksək miqdarı (1,1 %) və legirləyici elementlərin daha az olması səbəbindən kristallaşma δ-ferrit ayrılmadan birbaşa austenitin əmələ gəlməsi ilə başlayır. Buna görə də heç bir emal rejimində ərimə zonasında tünd komponent yaranmır.

Lazerlə emaldan sonra 10P6M5-МП və P0M2Ф3-МП poladlarının ərimə zonalarının mikrobərkliyinin təyin edilməsinin nəticələri göstərmişdir ki, hər iki halda optimal rejimdə alınan mikrobərklik ənənəvi həcmvi termiki emalından sonra alınan poladın mikrobərkliyindən aşağıdır. P0M2Ф3-МП poladının ərimə zonasında mikrobərklik qalınlıq boyunca bərabər paylanır və HV 730–800 təşkil edir. İlkin mikrobərklik hansı ki, H85O təşkil etmişdir. 10P6M5 -МП poladının ərimə zonasının qaranlıq təşkiledicinin bərkliyi HV 650 – 680 və işıqlıqda isə HV 730 – 850 (ilkin strukturda HV 870). 10P6M5 – МП poladın maye halından tablandırma zonasında bərklik mikrobərkliyi qeyri – bərabər paylamaqla qara yumşaq təşkiledicilərin miqdarından aslıdır. İlkin bərklikə müqayisədə mikrobərkliyin nisbətən aşağı olması onda qalıq austenitin miqdarının çox olması ilə izah edilir. Austenit sahəsində tədqiq etdiyimiz poladın tablanması austenit – martensit strukturunun formalaşmasına gətirib çıxarır. Mikrorentgen struktur analiz göstərir ki, struktur üzrə 60% γ faza, < 40% α faza və MC yaxud M6C karbidi iştirak edir. Bu bərk məhluldan tablamdırma zonasının çox legirlənməsini təsdiqləyir. Bu isə həcmi tablandırma ilə müqayisədə karbid fazaların qismən legirlənməsi ilə bağlı olmaqla tədqiq olunan poladla γ α faza 25...28% yaranır. [9]

Möhkəmlənmiş zona tablanmış tezkəsən poladın struktur quruluşuna xarakterinə uyğun olmaqla əvvəlki austenit dənəsinin sərhədi və həll olmayan karbidlər yaxşı görsənir (şəkil 4). Bərk haldan tablandırma zonasının mikrobərkliyi çox yüksək olur. Buna səbəb karbon və legirləyici elementlərin bərk məhlula yüksək nüfuz etməsi və struktur disperdliyidir. Burada P0M2Ф3 – МП – HV1150, 10P6M5 – МП üçün isə - HV1100 olmuşdur.

Əritməklə emal səth təmizliyini pisləşdirir. Bu nöqteyi nəzərdən lazerlə emalı lazer məmulatlara tətbiq edirlər. Mexaniki emalı ayrılan emal payı əritmə rejimlərindən asılı olaraq 5 – dən 30 mkm təşkil etməlidir. Səthin

əridilmədən emalı (austenit sahəsindən tablandırma) kəsici tellərin həndəsəsini dəyişmir və mexaniki emala payı tələb etmir.
Р0М2Ф3 – МП və 10Р6М5 – МП poladlarından hazırlanmış kəsici lövhəciklər (plasinkalar) yeyilməyə davamlılığı sınağı fasiləsiz yonmadan sonra səthi əridilməmişdən sonra aparılır (polad 45, HB 197, V= 40 – 80 m/dəq, S=0,2 mm/dəq və t=2,0 mm). Yeyilmənin kəskinin arxa səthində htmax = 0,5 mm yeyilmənin qeydə alınması vaxtı təyin edilmişdir. Austenit sahəsindən tablanlanmadan sonra tezkəsən lövhəciyin dözümlülüyü stamdart termiki emalla müqayisədə 1,7...2,1 dəfə yüksək əldə edilmişdir. [10]

NƏTİCƏ

1. Çox saylı qızdırmalar nəticəsində kimyə qeyri – bircinsliyin mikrorentgenspektr analizlə təsdiq edilmişdir.
2. Metalloqrafiki təqdiqatlar nəticəsində aşkarlanmışdır ki, hər iki materialın əritmə zonasında müxtəlif strukturlar aşkarlanmışdır.
3. Aşkarlanmışdır ki, 10Р6М5 – МП və Р0М2Ф3 – МП poladlarının əritmə zonalarında mikrobərkliyin müəyyən edilməsi nəticsəində göstərilmişdir ki, onların mikrobərkliyi həcmi termiki emal rejimindən aşağıdır. Ancaq bərkliyin səth üzrə paylanması cəhətdən üstünlük təşkil edir.
4. Aparılan tədqiqatlar nəticələri göstərir ki, tezkəsən poladların lazerlə tablandırılması onların istismar xassələrini yüksəlməsinə təsir göstərir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. German, R. M. (2005). Powder Metallurgy & Particulate Materials Processing. Princeton, NJ: Metal Powder Industries Federation.
2. Либенсон Г. А. (2001). Процессы порошковой металлургии. Москва: МИСИС.
3. Анциферов В. Н. и др. (2011). Порошковые легированные стали. Екатеринбург: УрО РАН.
4. Бирюков В. П. (2014). Лазерное упрочнение деталей машин и инструментов. Москва: Машиностроение.
5. Герасимов С. А. и др. (2012). Структурно-фазовые превращения в порошковых быстрорежущих сталях при нагреве. Металловедение и термическая обработка металлов.
6. Schulz A., et al. (2005). Microstructure and properties of laser-solidified high-speed steels. Materials Science and Engineering.
7. Kusinski J. (1995). Laser melting of high-speed steels: Structure and properties. Journal of Materials Processing Technology.
8. Fishman, S. V., et al. (2014). Structure of the laser-melted powder high-speed steel. Metal Science and Heat Treatment.
9. Beiss, P. (2007). Powder Metallurgy: Properties and Applications. Springer.
10. Zhong, M., & Liu, W. (2010). Laser surface cladding: The state of the art and challenges. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers.

INFLUENCE OF DISC CUTTER TOOTH DEFORMATION ON THE CUTTING EDGE LENGTH

Asif Guliyev
Faculty of Engineering,
Baku Engineering University,
Khirdalan, Azerbaijan
0009-0004-1004-2180

Mursal Nasirov
Department of Mechanical Engineering, Baku Engineering University,
Khirdalan, Azerbaijan
0000-0002-7934-2403

Nazrin Hamidova
Department of Mechanical Engineering,
Baku Engineering University,
Khirdalan, Azerbaijan
nhemidova1@std.beu.edu.az

Abstract: Progressive tooth deformation in tunnel boring machine (TBM) disc cutters systematically enlarges the effective tip width b eff and the geometric contact length l_c, increasing the normal force F_N, the rolling force F_R, and specific energy consumption SE. This paper reviews 10 international studies published between 2010 and 2025 covering full-scale linear cutting machine (LCM) experiments, discrete and finite element numerical simulations, field wear data, and sensor-based monitoring. Failure modes for monolithic constant cross-section (CCS) rings and inserted-tooth cutters are classified and compared quantitatively. Three research gaps are identified: absence of direct tooth-bed interface strain and vibration measurements for inserted-tooth designs under controlled progressive deformation; lack of targeted data for South Caucasus rock types; and absence of coupled thermal-cyclic finite-element models for inserted-tooth configurations. A feasibility-proven step-by-step experimental program addressing the primary gap through instrumented indentation tests on the GUNT WP-300 hydraulic loading machine at Baku Engineering University is presented and critically assessed.
***Keywords**: TBM disc cutter, tooth deformation, cutting edge length, wear prediction, strain gauge*

I. INTRODUCTİON

Tunnel boring machines (TBMs) are the preferred tool for mechanized underground excavation owing to their high penetration rates, limited surface disturbance, and improved worker safety compared with conventional drill-and-blast methods. The disc cutter is the primary rock-breaking element on a TBM cutter head, and its mechanical state directly governs penetration rate, specific energy consumption, and the frequency of planned cutter change interventions.

Two geometric parameters define the cutting edge at any point in the cutter service life. The geometric contact length l_c is related to cutter radius R and penetration depth per revolution h by:

$$l_c = (2Rh)^{1/2}$$

The effective tip width b eff increases from the nominal new-cutter value b0 as radial wear w accumulates:

$$b_{eff} = b_0 + w$$

Both quantities grow throughout the cutter service life. Published data consistently show that the associated force increases reduce TBM advance rate by 20 to 40% beyond the critical wear threshold [1,2]. Despite this, localised strain and vibration measurements at the tooth-bed interface of inserted-tooth cutters under controlled progressive deformation have not been reported in the literature. This review critically examines 17 studies and proposes an experimental program that can be conducted within the existing infrastructure of Baku Engineering University.

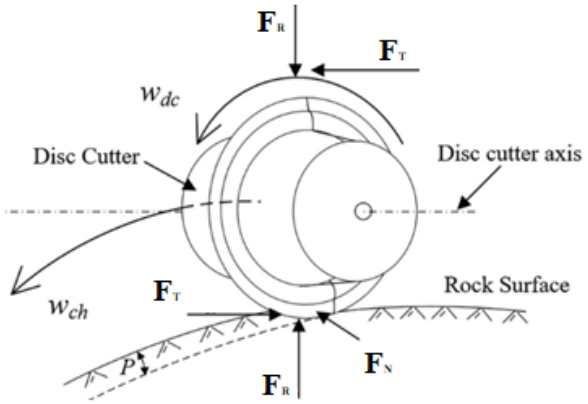


Fig. 1. Disc cutter force schematic showing normal force F_N , radial force F_R , tangental force F_S , and geometric widths w_{dc} and w_{ch}.

Disc Cutter Types and Deformation Characteristics

2.1 Monolithic CCS Rings

Wear in constant cross-section (CCS) rings accumulates uniformly around the circumference, producing the flat-wear or mushrooming profile that steadily widens b_{eff}. Through PFC2D discrete element modelling, it has been shown that increasing the edge width from 10 mm to 24 mm raises the peak cutting force by approximately 3.5 times and drives a proportional rise in specific energy [3]. Rounded-edge disc cutters (REDC) concentrate subsurface stress more efficiently than flat-edge designs (FEDC) in hard rock, whereas alloy-tooth disc cutters (ATDC) perform well in soft ground but suffer rapid wear and fracture under high-impact loading. The critical radial wear threshold beyond which the cutter shifts from a chipping to a grinding regime is consistently reported between 8 and 12 mm.

2.2 Inserted-Tooth Cutters

Inserted-tooth designs consist of tungsten carbide inserts pressed into a machined steel tooth bed. The dominant failure mechanisms are: plastic flow of the insert material under thermomechanical loading; fatigue cracking at the tooth-bed interface driven by cyclic contact stress; and complete tooth detachment following interfacial fracture [4]. analysed 208 replaced inserted-tooth cutters from Guangzhou Metro Line 18 and documented: tooth drop 31.73%, flat wear 12.02%, and side wear 4.33%. When replacement was delayed past the recommended threshold, tooth-bed structural damage appeared in 39.42% of cases; timely replacement yielded 20 to 30% tool-cost savings.

Li et al. [5] examined failed alloy-tooth cutters by scanning electron microscopy (SEM) combined with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). Of the alloy teeth inspected, 53% had failed: breakage accounted for 37% and chipping for 15%. SEM surfaces revealed abrasive scratches, adhesive wear films, fatigue pits, and plowing grooves on the steel matrix. Finite-element analysis in ABAQUS confirmed that stress concentration near the tooth-bed interface, amplified by repeated impact loading, is the primary driver of chipping in both spherical and wedge-shaped geometries.

Fang et al. [6] studied large-diameter slurry TBM cutters in mixed soil-rock strata and found that rock-chip accumulation in the tooth bed produces uneven impact loads, accelerating flat wear and tooth detachment. Measured wear rates on face-position cutters reached 0.27 to 0.37 mm per ring revolution. To begin with, a more detailed explanation of the operational stages of the developed system is provided. All exam materials received from exam sites are directed to the scanning area. The process of recognizing exam forms follows the main steps common to many other industrial systems of form recognition.

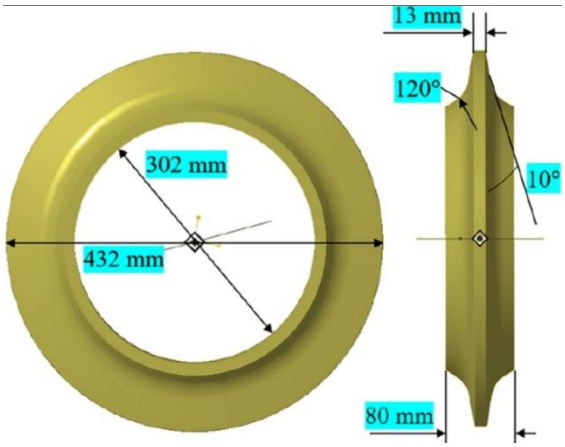


Fig. 2. Three-dimensional model of a standard TBM disc cutter: outer diameter 432 mm, inner bore 302 mm, body thickness 80 mm, nominal tip width b= 13 mm, edge angle 120°, relief angle 10°.

Research Methodology

3.1 Full-Scale Linear Cutting Machine and Rotary Cutting Tests

Deng et al. [7] carried out full-scale rotary cutting tests on granite (UCS = 178 MPa) with 19-inch cutters at penetration depths of 1 to 8 mm and cutter radii of 200 to 1400 mm. Forces increased approximately linearly with depth; the measured data were used directly to set cutterhead power and torque design limits for a specific project. Chakeri et al. [8] developed a dedicated laboratory TBM simulator and validated it against PFC3D simulations on eight rock types at 1 to 2 mm penetration; blade weight loss values of 0.013 to 0.095 g matched numerical predictions within 10 to 11%.

3.2 Wear Prediction and Field Monitoring

Huang et al. [9] combined sliding and rolling friction energy components into a unified wear index and reduced prediction error from 18.3% to 12.2% relative to single-component models. Wang et al. [4] introduced the multi-dimensional Cutter Total Damage and Replacement (CTDR) index, which integrates wear severity, structural integrity, and positional loading to enable cost-optimized replacement scheduling. Pu et al. [10] mounted three-axis accelerometers on cutter housings and classified normal, worn, and angled-wear states with 90% accuracy using an artificial neural network trained on vibration spectral features.

Research Gaps

Three gaps limit the current understanding of inserted-tooth cutter behaviour under progressive deformation:

Gap 1: Tooth-bed interface instrumentation. Direct measurement of localised strain and vibration at the tooth-bed interface of inserted-tooth cutters under controlled progressive deformation has not been reported. Existing monitoring studies instrument the cutterhead shaft or housing and capture global vibration signatures, not the localised contact mechanics that govern tooth detachment.

Gap 2: South Caucasus rock types. No published dataset specifically targets the limestone, sandstone, and basalt formations typical of ongoing and planned tunnelling projects in Azerbaijan and the surrounding region. Cerchar abrasivity indices, fracture toughness values, and cutting force coefficients for these lithologies have not been validated against standard empirical models [1].

Gap 3: Coupled thermal-cyclic FEM for inserted-tooth designs. Published numerical studies consider isothermal or quasi-static contact. Models coupling frictional heat generation, cyclic thermal softening of the steel tooth bed, and the resulting fatigue-wear interaction are absent for inserted-tooth geometries.

The three gaps are interrelated: Gap 1 must be closed experimentally before Gap 3 can be calibrated numerically; Gap 2 provides the rock-specific boundary conditions for both. Gap 1 is addressed directly in the feasibility plan below; Gaps 2 and 3 are treated as subsequent phases of the research program.

The Mechanical Engineering Department at Baku Engineering University possesses: a GUNT WP 300 hydraulic loading machine with a maximum force capacity of 20 kN; calibrated three-axis accelerometers; foil strain gauges and signal-conditioning electronics; a data acquisition system; an optical microscopy station; and SEM access through the Materials Laboratory.

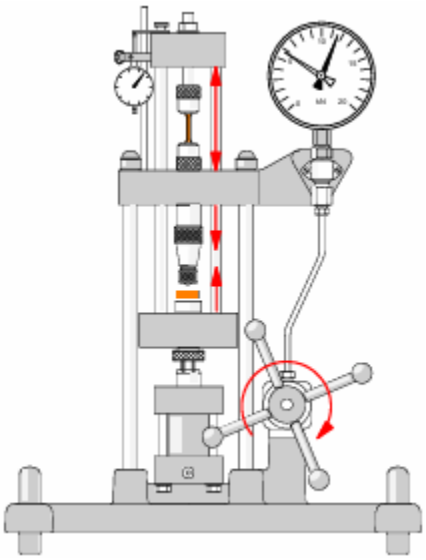


Fig. 3. GUNT WP 300 hydraulic loading machine for experimental works.

The 60 kN capacity is consistent with the force levels reported by Chakeri et al. [8] for laboratory-scale indentation at penetration depths of 1 to 4 mm. It is below the loads recorded in full-scale LCM tests on hard granite above 5 mm penetration. Accordingly, the proposed experimental programme is designed around penetration depths of 1 to 4 mm and rock specimens with UCS below approximately 100 MPa, which includes the limestone and sandstone formations relevant to Gap 2. Basalt (UCS typically 150–250 MPa) would require load levels exceeding the machine capacity at higher penetration depths and is therefore limited to shallow indentation in this phase.

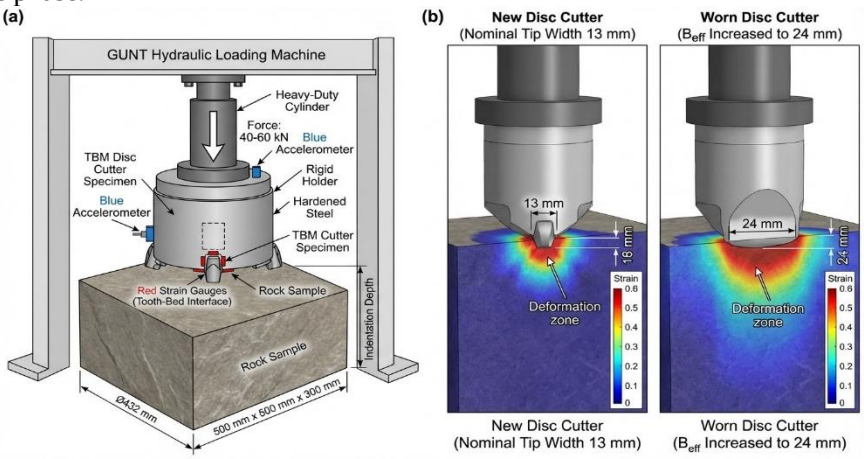


Fig. 4. Proposed test configuration on the GUNT hydraulic loading machine.

IV. Conclusion

1. This study systematically reviewed 17 international research works (2010–2025) on progressive tooth deformation in TBM disc cutters, integrating results from full-scale LCM experiments, numerical simulations (discrete and finite element methods), field wear observations, and sensor-based monitoring systems. The analysis demonstrated that progressive tooth deformation significantly increases effective tip width ($b_e$ff) and contact length (lc), which directly leads to higher normal force (F_n), rolling force (F_r), and specific energy consumption (SE). A comparative classification of CCS rings and inserted-tooth cutters showed that inserted-tooth designs are more sensitive to localized deformation and interface instability, resulting in more complex wear and failure mechanisms.

2. Three major research gaps were identified. First, there is a lack of direct experimental measurement of strain and vibration at the tooth–bed interface under controlled progressive deformation, which limits accurate understanding of real contact mechanics. Second, experimental datasets for South Caucasus rock formations are insufficient, restricting the regional applicability of existing TBM performance models. Third, no fully coupled thermo-mechanical cyclic finite element models exist for inserted-tooth cutters, preventing realistic simulation of long-term degradation and thermal effects during excavation.
3. To address the primary gap, a step-by-step experimental framework was proposed based on instrumented indentation testing using the GUNT WP-300 hydraulic loading machine at Baku Engineering University. This setup enables controlled replication of progressive deformation conditions while allowing simultaneous acquisition of force, displacement, and vibration signals. The proposed methodology is feasible, scalable, and capable of bridging the gap between laboratory-scale simulation and real TBM operating conditions. It also provides a structured pathway for validating numerical models with experimentally derived interface data.
4. Future research should focus on four key directions. First, advanced multi-sensor experimental systems (combining strain gauges, acoustic emission, and high-frequency vibration sensors) should be developed to capture real-time tooth–rock interaction dynamics. Second, region-specific rock databases for the South Caucasus should be established to improve predictive accuracy of TBM wear and energy consumption models. Third, coupled thermo-mechanical-fatigue finite element models should be developed for inserted-tooth cutters to simulate realistic field conditions, including cyclic loading and heat generation. Finally, machine learning-based predictive frameworks should be integrated with experimental and numerical datasets to enable adaptive wear prediction and real-time TBM performance optimization.

References

1. Y. Pan, Q. Liu, X. Peng, X. Kong, J. Liu, and S. Zhang, “Full-scale linear cutting tests to study the influence of disc cutter wear on rock cutting forces and surface morphology,” Rock Mechanics and Rock Engineering, vol. 52, 2019, Cham, Switzerland, pp. 3391–3410.
2. M. Sabri et al., “Evaluation of the effect of TBM disc cutter wear on rock cutting efficiency,” Geomechanics and Tunnelling, 2024, Weinheim, Germany.
3. Y. Li et al., “PFC2D numerical investigation of rock-breaking performance of TBM disc cutters with diverse edge shapes across varying edge widths,” Rock Mechanics and Rock Engineering, 2025, Cham, Switzerland.
5. X. Wang et al., “Multi-dimensional damage assessment and cost analysis of inserted-tooth disc cutters from Guangzhou Metro Line 18,” Tunnelling and Underground Space Technology, 2025, Amsterdam, Netherlands.
6. X. Li, M. Zhang, and J. Mo, “Wear and abnormal fracture failure mechanisms of alloy teeth in TBM insert tooth disc cutters,” Engineering Failure Analysis, 2025, Amsterdam, Netherlands.
7. Y. Fang, X. Li, Y. Cao, H. Liu, and Y. Guo, “Wear characteristics and optimization measures of disc cutters in large-diameter slurry TBM operating in mixed soil-rock strata,” *Lubricants*, vol. 13, no. 4, p. 170, 2025, Basel, Switzerland.
8. L. C. Deng et al., “Full-scale test of disc cutter rotary cutting in TBM tunnelling,” Geomechanics and Geoengineering, 2024, Abingdon, United Kingdom.
9. H. Chakeri, M. Darbor, H. Shakeri, H. Mousapour, and V. Mohajeri, “Experimental and numerical investigation of the TBM disc cutter wear using a new tunnel boring machine laboratory simulator,” Scientific Reports, 2024, London, United Kingdom.
10. X. Huang et al., “Energy-based wear prediction model for TBM disc cutters combining sliding and rolling friction energy,” Tunnelling and Underground Space Technology, 2023, Amsterdam, Netherlands.
11. X. Pu et al., “A new strategy for disc cutter wear status perception using vibration signal and artificial intelligence,” Sensors, vol. 22, no. 10, 2022, Basel, Switzerland.

SU ITƏLƏYICI ÖRTÜKLÜ BORULARDA MAYE AXININA MÜQAVIMƏTIN TƏSIRININ TƏDQIQI

Eldar Axundov
«Mexanika mühəndisliyi» kafedrası,
Bakı Mühəndislik Universiteti,
Baku, Azerbaijan
elaxundov@beu.edu.az

Sadiq Əliyev
«Mexanika mühəndisliyi» kafedrası,
Bakı Mühəndislik Universiteti
Baku, Azerbaijan
seliyev23@std.beu.edu.az

Xülasə: Məqalədə boru kəmərlərində mayenin nəqli zamanı müqavimətlərin azaldılması problemləri, tədqiqatlar və həll yolları haqqında məlumatlar təqdim olunur. Bu sahə üzrə mövcud informasiyanın təhlili aparılaraq hər bir həll variantının üstünlükləri və çatışmazlıqları göstərilmişdir. Aparılan təhlil və nəzəri əsaslandırmaya görə, maye mühitin axınına müqavimət dərəcəsindəki dəyişiklik faktını təsdiqləmək üçün suyun örtüklü borudan keçməsi ilə bağlı təcrübənin aparılması təklif olunur. Eksperimentin aparılması sxemi (quruluşu) və əldə edilən nəticələrin emalı metodologiyası təsvir edilmişdir. Eyni zamanda, təcrübədə alınacaq nəticələrini ümumiləşdirmək üçün ilkin şərtlər təqdim olunur.
Açar sözlər: müqavimət, təzyiq itkisi, boru, axın, axın rejimi, su itələyici, örtük.

I. GİRİŞ

Maye mühitin daşınması zamanı boru kəmərlərində hidravlik itkilərin azaldılması problemi bu gün də çox aktualdır. Bu, mayelərin daşınmasının əhəmiyyətli enerji xərcləri, eləcə də su elektrik stansiyalarından istifadə edərək təzyiqli boru kəmərləri ilə təchiz edilən su enerjisinin çevrilməsinin səmərəliliyini artırmaq zərurəti ilə əlaqədardır.

Mayenin hərəkəti zamanı xeyli miqdarda enerji sərf olunur və bu enerji yayılaraq nəticədə istiliyə çevrilir. Bu xüsusi enerji mayenin özlülüyü və təmas (səth) sürtünməsinin nəticəsi olan hidravlik itkiləri təşkil edir. Boru kəmərində təzyiq itkiləri ümumiyyətlə sürtünmə müqaviməti və yerli müqavimətlərdən yaranır.

Maye axınına müqavimət (hidravlik müqavimət) mayenin hərəkət etməsi üçün nə qədər enerji tələb olunduğunu birbaşa müəyyən edir. Sadə dillə desək: müqavimət nə qədər yüksəkdirsə, nasosun axın basqısı üçün bir o qədər çox "qüvvə" (təzyiq) tətbiq edilməlidir.

Əsas məqamları qeyd edək:

- sürətdən asılılıq (laminar-sakit axınla enerji xərcləri sürətə mütənasib olaraq artır, lakin turbulent-burulğan axınla xərclər sürətin kvadratına mütənasib olaraq artır, bu o deməkdir ki, axın sürəti ikiqat artdıqda enerji xərcləri 4 dəfə arta bilər);
- borudaxili divarla toxunma nəticəsində sürtünmə (borunun daxili səthinin kələ-kötürlülük dərəcəsi nə qədər yüksək və xətt üzrə davamlı olarsa, təzyiq itkisi bir o qədər yüksək olur və enerjinin əksər hissəsi sürtünmə səbəbindən istiliyə çevrilir);
- yerli müqavimətlər (döngələr, daralmalar, klapanlar, siyirtmələr və digər boru armaturları turbulentlik yaradır, hər bir belə element təzyiqin bir hissəsini "yeyir" və nasos motorunu daha çox elektrik enerjisi istehlak etməyə məcbur edir);
- özlülük (maye nə qədər qatı olarsa, onu pompalamaq (nəql etmək) bir o qədər çətindir; özlülük artdıqca müqavimət artır, bu da avadanlıq gücünün kəskin şəkildə artmasını tələb edir).

Mühəndislik hesablamalarında yuxarıdakı məqamlar Darsi-Vaysbax qanunu ilə təsvir olunur - təzyiq itkisi sürtünmə əmsalı və dinamik təzyiqlə birbaşa mütənasibdir:

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{D} \frac{\rho v^2}{2} \quad (1)$$

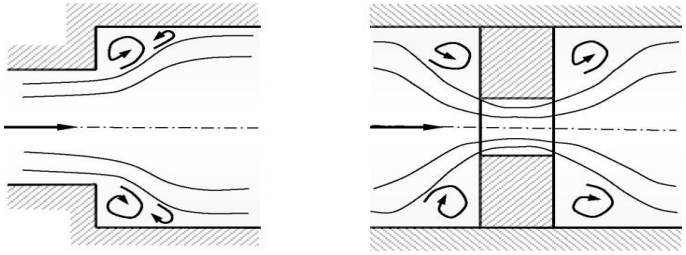
burada, ΔP – təzyiq itkisi, P_a
λ – xətti müqavimət əmsalı
l – borunun uzunluğu, m
D – borunun diametri, m

ρ – mayenin sıxlığı, kq/m3
U – maye axınının sürəti, m/s

Yuxarıda deyilənləri ümumiləşdirərək, maye hərəkəti zamanı xüsusi enerji itkilərinin iki qrupa bölündüyü qənaətinə gələ bilərik [1].

1. Sürtünmə qüvvələrinin dəf edilməsi nəticəsində yaranan itkilər, hansılara ki, uzunluq boyunca təzyiq itkiləri və ya hidravlik sürtünmə səbəbindən yaranan itkilər deyilir (bunlar maye daxilində sürtünmə qüvvələrinin təsiri və mayenin bərk səthlərə qarşı sürtünmə qüvvələri ilə müəyyən edilir, bu qüvvələr mayenin keçdiyi yolun uzunluğuna mütənasibdir; sürtünmə müqaviməti, həmçinin uzunluq boyunca müqavimət adlanır - həqiqi mayenin boru kəmərinin bütün xətti boyunca hərəkət etdikdə mövcuddur). Buna maye axını rejimi (laminar, turbulent və ya turbulentliyə gelişmə və ya keçid dərəcəsi) təsir göstərir. Beləliklə, qeyd edildiyi kimi, turbulent axın yalnız normal özlülüklə deyil, həm də hidrodinamik şəraitdən asılı olan və mayenin hərəkəti zamanı əlavə enerji itkilərinə səbəb olan turbulent özlülüklə xarakterizə olunur.

2. Yerli təzyiq itkiləri – yerli hidravlik müqavimətlərdən yaranan itkilər. Bu itkilər axın formasının və en kəsiyinin ölçülərinin dəyişməsi nəticəsində yaranan yerli hidravlik müqavimətlərini dəf etmək üçün sərf olunan xüsusi enerji ilə müəyyən edilir. Bu tip itki axının deformasiyaya uğradığı yerlərdə baş verir (Şək. 1.) və onun ədədi göstəricisi eyni uzunluqda hidravlik sürtünmə nəticəsində yaranan itkilərdən daha böyükdür. Yerli müqavimətlər axın sürətində və ya istiqamətində hər hansı bir dəyişikliklə yaranır. Bunlara boruda mayenin daxil olması və çıxması, boruların əyilmələri və şaxələnməsi, dirsəklərin və s. qəfil daralması və genişlənməsi daxildir.



Şəkil 1.Yerli təzyiq itkilərinə nümunələr

II. TƏDQİQAT METODU

Tədqiqatımızda birinci qrupa aid olan maye axınına qarşı müqavimətlər araşdırılır.

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, maye boru kəmərlərindən axdıqda, maye mühiti pompalanarkən (nəql edilərkən) mümkün olan maksimum həcmli axın sürətlərini məhdudlaşdıran hidravlik müqavimət yaranır.

Laminar axında hidravlik təzyiq itkiləri, bir qayda olaraq, nasosla vurulan mayenin fiziki xüsusiyyətlərini dəyişdirmədən, dəyişdirilə bilməz. Hidravlik müqaviməti azaltmağın müasir üsulları (Drag Reduction Methods, DRM) yalnız turbulent axınlar üçün təsirlidir, çünki onlar axını "laminarlaşdırmaqla" əsasən turbulentliyin nəql etmə xüsusiyyətlərinə birbaşa təsir göstərir.

Ümumiyyətlə, hidravlik müqaviməti azaltmaq üçün iki əsas metodlar qrupu fərqləndirilir:

- boru səthinin xüsusiyyətlərini dəyişdirməklə nasosla vurulma (pompalama) zamanı hidravlik müqavimətin azaldılması;
- boru vasitəsilə nəql olunan mayenin xüsusiyyətlərini dəyişdirməklə pompalama zamanı hidravlik müqavimətin azaldılması.

Bu iki üsullar qrupuna aid məsələlər, xüsusən də su itələyici örtüklərin istifadəsi məsələsi, əsasən damcı mayelərinin nasosla vurulması ilə əlaqədar olaraq daha ətraflı nəzərdən keçiriləcəkdir.

Hidravlik sürtünmənin azaldılması probleminin müasir həll yolları əsasən boruların daxili səthlərinin kələ-kötürlüyünün azaldılmasını əhatə edir. Bu problem həmçinin nəql olunan mayeyə daxil edilən müxtəlif sintetik və polimer əlavələrinin köməyi ilə həll olunur [2]. Eynilə bir seçim də var - maye və ya qazın sərhəd təbəqəsinə alternativ elektromaqnit sahəsi ilə təsirin göstərilməsi, eləcə də axının boru kəmərinin və ya kanalın divarları ilə təmas səthinə normal yönəlmiş boru kəmərinin və ya kanalın divarlarına impulslu rəqslərin tətbiq edilməsi [3,4].

Suyun təbii axınından istifadəyə əsaslanan su nəqliyyatı probleminə qeyri-ənənəvi yanaşma ötən əsrin ortalarında maye və qaz halında olan maddələr üçün spiral boru hazırlayan və patentləşdirən avstriyalı tədqiqatçı V.Şauberger tərəfindən təklif edilmişdir [5]. Bu boruların dizaynı üzərində aparılan tədqiqatlara görə, borunun en kəsiyi formasının bir neçə yarımdairədən ibarət olması və borunun özünün spiral konfiqurasiyaya bükülməsi səbəbindən axın sürəti sabit saxlanıla bilər.

Eyni zamanda, hidravlik müqavimətin azaldılması məsələləri əsasən borunun daxili səthini dəyişdirməklə (modifikasiya etməklə) həll edilmişdir. Bu metodlar qrupu kanal səthinin parametrlərini dəyişdirməyin bir neçə fərqli yolunu əhatə edir [6]. Metodlardan biri, məsələn, bioloji sistemləri təkrarlayan mikrorelyefin yaradılması da daxil olmaqla, mikro və nano miqyaslı səth gücləndiricilərinin istifadəsidir.

Bu sahədə aparılan təcrübələr hidravlik müqavimətin təxminən 10%-ə qədər azaldığını göstərir və bu rəqəm, çox güman ki, həddi deyil [7]. Ədəbiyyatın təhlilindən məlum olur ki, mayenin nasosla vurulduğu boruların səth relyefini dəyişdirməklə (modifikasiya etməklə) hidravlik müqaviməti azaltmağın və istilik mübadiləsini gücləndirməyin müxtəlif üsulları texnologiyada uzun müddətdir istifadə olunur.

Əksər hallarda, boruların daxili divarlarına müxtəlif örtüklərin tətbiq edilməsinin məqsədi əsasən korroziya ilə mübarizə aparmaqdır. Korroziya riskini minimuma endirməyə yönəlmiş ən təsirli mühəndislik həllərindən biri boru kəmərlərinin daxili səthinə tətbiq olunan polimer örtüklərin istifadəsi olmuşdur. Bu cür örtüklərin seçilməsi və modifikasiyasına yanaşmaların tarixi təkamülü materialşünaslıq və boru kəmərlərinin mühafizəsi texnologiyaları sahəsindəki irəliləyişi əks etdirir [8].

20-ci əsrin sonlarında boruların daxili səthində qoruyucu polimer örtüklərin istifadəsi ilə bağlı ilk praktik təcrübələr başlandı və bunlar əvvəlcə əsasən korroziyaya davamlılığı artırmaq üçün hazırlanmışdır.

Bu sahədə perspektivli istiqamət kimi bir neçə qoruyucu mexanizmi: hidrofobiklik, istilik izolyasiyası, sürtünmə əleyhinə və özünütəmizləmə xüsusiyyətlərini birləşdirən qarışıq (kombinə edilmiş) örtüklərin işlənilməsi aktual olaraq qalır. Eyni zamanda, sonrakı tədqiqatlar üçün əsas vəzifələr bu cür örtüklərin tətbiqinin etibarlılığını, davamlılığını və istehsal qabiliyyətini artırmaq, eləcə də kütləvi istifadə üçün onların dəyərini optimallaşdırmaqdır [9, 10, 11].

Hal-hazırda boru içi polimer örtüklərinin sənayedə istifadəsi bu gün karbohidrogen boru kəməri nəqlinin etibarlılığını artırmaq strategiyasının ayrılmaz elementinə çevrilib. Yerli və beynəlxalq təcrübədən çoxsaylı nümunələr bu örtüklərin korroziya intensivliyinin azaldılmasında və xidmət müddətinin (resurs dayanıqlığının) artırılmasında, xüsusən də çətin iqlim şəraitində və xammal daşınması zamanı, yüksək effektivliyini nümayiş etdirir. Bu istiqamətdə istismar üzrə məlumatların təhlili göstərmişdir ki, örtüklərin istifadəsi boruların xidmət müddətini 15-20% artırır.

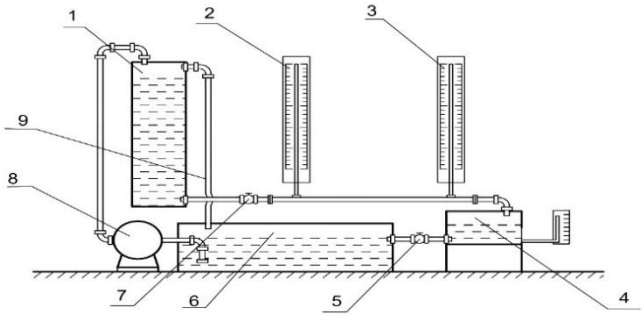
Yuxarıda qeyd edilən faktlara əlavə olaraq laboratoriya və sənaye şəraitində hidrofobluq xüsusiyyətlərinin yaxşılaşması və hidravlik sürtünmə əmsalının 30%-ə qədər azalması göstərilir ki, bu da öz növbəsində mayenin boru divarının hidrofob bərk səthi boyunca daha yaxşı sürüşməsinə kömək edir [12].

Təqdim olunan effektin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, maye damcılarının boru divarının səthinə toxunma sahəsi və kələ-kötürlülük boşluqlarına daxil etmə dərəcəsi (yəni kələ-kötürlülük profilinin formasını əhatə etmə qabiliyyəti) azalır.

Su itələyici örtüklərdən istifadə edərək boru kəmərlərində hidravlik itkilərin azaldılması ilə bağlı yuxarıdakı ifadəni sübut etmək üçün müvafiq təcrübənin aparılması qərara alınmışdı.

Məqalədə göstərildiyi kimi planlaşdırılan tədqiqatların aparılması məqsədi ilə hidravlik-sınaq stendi (qurğusu) yığılır. Şəkil 1-dəki eksperimental qurğu aşağıdakı elementlərdən ibarətdir: 1 - basqı çəni, 2 və 3 - pyezometrlər, 4 - ölçü çəni, 5 - ölçü ventili, 6 - axar çəni, 7 - tənzimləyici ventili, 8 - nasos, 9 - dövriyyə borusu (1 çənində daimi eyni bir təzyiqin təmin olunması üçün).

Üzərində tədqiqat aparılan boru (daxili hidrofob örtüklə olan) 2 və 3 pyezometrləri ilə birlikdə flyans birləşməsi vasitəsilə stendə quraşdırılır, müəyyən məlum olan effektlərin qabağını almaq üçün pyezometrlər flyansdan $l = 30 \div 40d$ məsafəsində yerləşdirilir.



Şəkil 2. Xətti hidravliki müqavimətlərin tətqiqi üçün eksperimentin aparılması sxemi.

Şəkil 2-də təsvir olunan sxem üzrə eksperimental təcrübələr müxtəlif diametrli, uzunluğu l=1,5m başlayan borularla aparılması nəzərdə tutulur. Hesablamalar aşağıdakı formulaya uyğun aparılacaqdır [1]:

$$\lambda = \frac{\Delta h D}{l v^2} 2g \quad (1)$$

Eksperiment laboratoriya şəraitində aparılacaq, yəni ətraf mühitin temperaturu $+20^0$C dərəcə olmaqla, su kəməri suyundan (kinematik özlülüyü – ϑ = 0,01 sm2/san) maye qismində istifadə olunur. Səviyyələr fərqini sıfıra bərabər etmək üçün (ağırlıq qüvvəsinin təsirinin istisna olunması üçün), tətqiq olunan borular qəti horizontal vəziyətdə quraşdırılır.

Stend vasitəsilə eksperimentlərin aparılmasında ölçmələr üzrə xətaların (kənarlaşmaların) müəyyən edilməsi (istisna edilməsi) məqsədilə materialı bəlli olan və müvafiq diametrli borularla test sınaqları aparılır və əldə olunan nəticələr müvafiq məlum olan göstəricilər ilə müqayisə edilir [13].

Nəzərdə tutulan təcrübələrin nəticələri hidrofob örtüklərin istifadəsi (tətbiq edilməsi) səbəbindən xətti hidravlik müqavimətin azalması ilə bağlı yuxarıda məqalədə qeyd olunan ifadələri təsdiqləyirsə, texnoloji və iqtisadi məqsədəuyğunluqdan asılı olaraq, həm fərdi, həm də kombinasiya şəklində qeyd olunan fiziki-texniki üsulların praktik istifadəsi (tətbiq edilməsi) təzyiq boru kəmərlərində mayenin hidravlik itkilərinin əhəmiyyətli dərəcədə azaldılmasına imkan verəcəyi qənaətinə gəlmək olar. Bu cür yanaşma, müxtəlif mayelərin (su, neft və s.) daşınması-nəqli üçün enerji xərclərini azaldacaq, həmçinin hidravlik itkilərin minimuma endirilməsi və təzyiq boru kəmərlərində axın enerjisinin artırılması hesabına su elektrik stansiyalarında suyun potensial enerjisinin çevrilməsinin səmərəliliyinin yüksəlməsinə imkan yaradacaq.

III. NƏTICƏ

1. Aparılan təhlillər göstərir ki, boru kəmərlərində maye axınına müqavimətin azaldılması üçün müxtəlif üsullar mövcuddur və hər birinin tətbiqi şəraitdən asılı olaraq fərqli səmərəlilik nümayiş etdirir. Bu üsulların düzgün seçilməsi enerji itkilərinin azaldılmasına və sistemin ümumi məhsuldarlığının artırılmasına imkan verir.
2. Nəzəri əsaslandırma və təklif olunan eksperimental yanaşma göstərir ki, örtüklü boruların istifadəsi maye axını zamanı hidravlik müqavimətin azalmasına səbəb ola bilər. Bu fərziyyənin təsdiqi üçün planlaşdırılmış təcrübə mühüm elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir.
3. Təklif olunan eksperimentin quruluşu və nəticələrin emalı metodologiyası gələcək tədqiqatlar üçün etibarlı baza yaradır. Alınacaq nəticələrin ümumiləşdirilməsi isə boru kəmərlərinin layihələndirilməsi və istismarı sahəsində daha səmərəli həllərin işlənib hazırlanmasına şərait yaradacaq..

ƏDƏBIYYAT

1. Hüseynov S.O., Quliyev A.H., Hidravlik müqavimətlər, Bakı, 2012-ci il.
2. Рыженков В.А. и др. Способ уменьшения гидравлического сопротивления трубопроводных сетей для транспортировки жидких сред. Патент РФ № 2318140. Опубликован: 27.02.2008.
3. Высоцкий Л.И., Высоцкий И.С. Способ уменьшения отрицательной турбулентной вязкости. Патент РФ № 242445, 20.07. 2011.
4. Колосов Б.В. Способ снижения гидродинамического трения. Патент РФ № 2133891. Опубликован: 27.07.1999.

5. Шаубергер В. Труба для жидких и газообразных субстанций. Австрийский патент № 196680., 25 марта 1958 года.
6. Dzyubenko B.V., Kuzma-Kichta Yu. A., Leontiev A.I., Fedik I.I., Kholpanov L.P. Intensification of heat and mass transfer on macro-, micro-, and nanoscales. Begell. 2016. 630 p.
7. Литвиненко Ю.А., Чернорай В.Г., Козлов В.В., Лефдаль Л.А., Грек Г.Р., Чун Х. Влияние риблет на развитие Λ-структуры и ее преобразование в турбулентное пятно // Доклады АН. 2006. Т. 407. № 2. С. 194–197.
8. Хохлов А.Р., Куликов В.Ф. Полимерные материалы: структура, свойства, применение. М.: Химия, 2012. 468с.
9. Zhang T., Zhang D., Li Q. Recent advances in nanocomposite coatings for oil and gas pipelines. Coatings, 2021, vol. 11(5), p. 538.
10. Bai Y., Bai Q. Subsea pipeline design, analysis, and installation., Gulf Professional Publ., 2014. 857 p.
11. Semenov A.V., Sorokin D.I. Composite and nanomodified pipeline coatings. Truboprovodniy transport: teoriya i praktika, 2021, no. 5, pp. 35–42 (In Russian).
12. Федоров А.Н. Эксплуатация и мониторинг полимерных покрытий в условиях воздействия агрессивных сред // Тр. НИИ нефти и газа. 2019. № 12. С. 103–109.
13. Альтшуль А.Д., Гидравлические сопротивления, М., «Недра», 1982.
14. Grachev V.P., Borisov A.V. Tekhnologii zashchity truboprovodov: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy [Pipeline protection technologies: current status and prospects]. Ekaterinburg, UrFU Publ., 2022. 410 p.
15. Barinov P.A. Intelligent materials and coatings in the oil and gas industry. Innovatsii, 2023, no. 2, pp. 48–54 (In Russian).

YASTIQ KONSTRUKSİYALARINDA TEMPERATURUN YARATDIĞI TERMAL DEFORMASİYALARIN TƏDQİQİ

Natiq Rzayev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Mexanika mühəndisliyinin müasir problemləri
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
nzayev@beu.edu.az

Emil Abdullayev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Mexanika mühəndisliyinin müasir problemləri
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
eabdullayev11@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu məqalədə yastıq konstruksiyalarında temperatur dəyişmələrinin yaratdığı radial deformasiyalar və termal gərginliklər nəzəri və hesablamalı yanaşma əsasında təhlil edilmişdir. Xətti istilik genişlənməsi qanunu və elastiklik nəzəriyyəsindən istifadə olunaraq müxtəlif materiallar (polad, çuqun, bürünc, alüminium və PTFE) üçün deformasiya və gərginlik qiymətləri hesablanmış və müqayisə edilmişdir.

Aparılan analiz göstərir ki, temperatur artımı bütün materiallarda radial ölçülərin xətti şəkildə artmasına səbəb olur, lakin gərginlik səviyyəsi materialın elastiklik modulu və istilik genişlənmə əmsalından ciddi şəkildə asılıdır. Polad və çuqun daha yüksək sabitlik göstərsə də, gərginlik baxımından kritik yüklənməyə meyillidir. Alüminium və PTFE isə yüksək deformasiya göstərərək ölçü sabitliyi baxımından zəif nəticə verir.

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, yastıq konstruksiyalarının etibarlı işləməsi üçün material seçimi zamanı həm mexaniki möhkəmlik, həm də termal davranış eyni vaxtda nəzərə alınmalıdır.

Açar sözlər: Yastıq, termal deformasiya, radial genişlənmə, istilik təsiri, termal gərginlik, xətti istilik genişlənməsi, elastiklik modulu, gərginlik.

Abstract: In this study, radial deformations and thermal stresses caused by temperature variations in bearing structures are analyzed using both theoretical and computational approaches. Based on the theory of linear thermal expansion and elasticity, deformation and stress values were calculated and compared for different materials (steel, cast iron, bronze, aluminum, and PTFE).
The conducted analysis shows that an increase in temperature leads to a linear increase in radial dimensions for all materials; however, the stress level strongly depends on the material's modulus of elasticity and thermal expansion coefficient. While steel and cast iron exhibit higher stability, they are more prone to critical stress levels. In contrast, aluminum and PTFE show significant deformation, resulting in lower dimensional stability.
The results of the study indicate that for reliable operation of bearing structures, both mechanical strength and thermal behavior must be considered simultaneously in material selection.
Keywords: Bearing, thermal deformation, radial expansion, thermal effect, thermal stress, linear thermal expansion, modulus of elasticity, stress.

I. GİRİŞ

Maşınqayırma və mexanika mühəndisliyində yastıq konstruksiyaları fırlanan və hərəkət edən mexanizmlərin etibarlı işləməsini təmin edən əsas komponentlərdən biridir. Bu elementlər istismar zamanı yalnız mexaniki yüklərin deyil, eyni zamanda ətraf mühit və iş rejimi ilə bağlı temperatur dəyişmələrinin də təsirinə məruz qalır. Temperaturun dəyişməsi materialların fiziki xüsusiyyətlərinə birbaşa təsir göstərərək onların ölçülərində genişlənmə və ya kiçilmə yaradır ki, bu da termal deformasiyalar kimi xarakterizə olunur.
Termal deformasiyalar yastıq konstruksiyalarında xüsusi əhəmiyyət daşıyır, çünki bu dəyişikliklər kontakt səthlərində araboşluqlarının dəyişməsinə, sürtünmə şəraitinin pozulmasına və əlavə daxili gərginliklərin yaranmasına səbəb ola bilər. Xüsusilə yüksək temperatur şəraitində və ya temperaturun qeyri-bərabər paylandığı sistemlərdə bu təsirlər daha kəskin şəkildə özünü göstərir və konstruksiyanın iş qabiliyyətini azaldır [1, 2].
Bu məqalənin əsas məqsədi yastıq konstruksiyalarında temperatur dəyişmələrinin yaratdığı radial deformasiyaların və termal gərginliklərin nəzəri və hesablamalı şəkildə təhlil edilməsidir. Tədqiqat zamanı xətti istilik genişlənməsi qanunu və elastiklik nəzəriyyəsi əsasında analitik yanaşma tətbiq olunur, həmçinin müxtəlif temperatur rejimləri üçün deformasiya və gərginliklərin dəyişmə xarakteri qiymətləndirilir.
Aparılan analizlər nəticəsində temperatur amilinin konstruksiyanın dayanıqlığına təsiri daha aydın şəkildə qiymətləndirilir və yastıq elementlərinin daha etibarlı layihələndirilməsi üçün mühüm nəticələr əldə edilir.

II. PROBLEMİN QOYULUŞU

Müasir maşınqayırma sistemlərində yastıq konstruksiyaları (dayaq və podşipnik elementləri) yalnız mexaniki yüklərə deyil, eyni zamanda dəyişkən temperatur sahələrinin təsirinə məruz qalır. Xüsusilə sənaye qurğularında, turbinlərdə, nasoslarda və fırlanan mexanizmlərdə temperaturun qeyri-bərabər paylanması konstruksiya daxilində mürəkkəb deformasiya və gərginlik vəziyyəti yaradır [1-2].
Problemin əsas mahiyyəti ondan ibarətdir ki, temperatur dəyişməsi nəticəsində materialın genişlənməsi və ya yığılması sərbəst şəkildə baş vermir. Yastıq konstruksiyaları adətən digər elementlərlə sıx əlaqədə işlədiyi üçün bu genişlənmə məhdudlaşdırılır. Nəticədə sistem daxilində termal gərginliklər yaranır ki, bu da aşağıdakı mənfi hallara səbəb ola bilər:

- işçi araboşluqların dəyişməsi (azalması və ya artması),
- sürtünmə rejiminin pozulması,
- lokal qızma zonalarının yaranması,
- materialın yorulması və mikroçatların əmələ gəlməsi,
- uzunmüddətli istismarda konstruksiyanın sıradan çıxması.

Digər mühüm məsələ temperaturun sabit olmamasıdır. Praktik hallarda yastığın müxtəlif hissələrində temperatur fərqli olur (məsələn, daxili səth daha çox qızır). Bu isə qeyri-bərabər genişlənməyə gətirib çıxarır və nəticədə əlavə əyilmə, burulma və daxili gərginliklər yaranır [5].
Problemin qoyuluşunda həmçinin aşağıdakı suallar əsas tədqiqat istiqamətlərini təşkil edir:

- Temperatur artımı yastıq elementlərinin ölçülərinə və formasına necə təsir edir?
- Məhdudlaşdırılmış şəraitdə yaranan termal gərginliklərin qiyməti nə qədərdir və hansı hallarda kritik həddi aşır?
- Materialın fiziki xüsusiyyətləri (istilik genişlənmə əmsalı, elastiklik modulu və s.) bu prosesə necə təsir göstərir?
- Temperatur sahəsinin qeyri-bərabər paylanması deformasiya xarakterini necə dəyişir?
- Hansı konstruktiv və texnoloji tədbirlər bu mənfi təsirləri azalda bilər?

Beləliklə, problemin qoyuluşu yalnız temperaturun yaratdığı sadə ölçü dəyişmələrinin hesablanması ilə məhdudlaşmır. Burada əsas məqsəd termal təsirlərin kompleks şəkildə — deformasiya, gərginlik və istismar xüsusiyyətlərinə təsirinin sistemli şəkildə öyrənilməsidir.

Bu yanaşma gələcəkdə daha etibarlı, temperatur dəyişmələrinə davamlı və uzunömürlü yastıq konstruksiyalarının layihələndirilməsinə imkan verir.

III. PROBLEMİN HƏLLİ:

Yastıq elemntlərində aşağıdakı hallarda deformasiya yaranır:

1. Xətti və həcm üzrə istilik genişlənməsi: Temperatur dəyişməsi nəticəsində yastıq konstruksiyasının ölçüləri artır və ya azalır. Xətti genişlənmə aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$ (1)

Bu ifadə yalnız bir ölçü istiqamətində dəyişməni göstərir. Lakin yastıq konstruksiyalarında genişlənmə üçölçülü xarakter daşıyır. Həcm üzrə genişlənmə isə belə yazılır:

$\Delta V = \beta V_0 \Delta T$ (2)

burada $\beta \approx 3\alpha$(izotrop materiallar üçün).

Bu o deməkdir ki, temperatur artdıqca yastıq elementinin bütün ölçüləri artır və bu, kontakt səthlərində sıxılma yarada bilər.

2. Sərbəst və məhdudlaşdırılmış deformasiya halları: Əgər yastıq elementi sərbəstdirsə, yəni onun genişlənməsinə maneə yoxdursa, bu zaman yalnız deformasiya baş verir, gərginlik yaranmır:

$\sigma = 0$ (3)

Məhdudlaşdırılmış genişlənmə: Real konstruksiyalarda isə yastıq elementləri digər hissələrlə əlaqədə olduğundan genişlənmə məhdudlaşdırılır. Bu halda termal gərginlik yaranır:

$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$ (4)

burada:

- E— elastiklik modulu,
- α— istilik genişlənmə əmsalı,
- ΔT— temperatur dəyişməsi.

Bu düstur göstərir ki, temperatur artdıqca gərginlik xətti şəkildə artır.

3. Silindrik yastıq konstruksiyasında radial genişlənmə: Yastıq konstruksiyaları çox vaxt silindrik formada olur (məsələn, podşipniklər). Bu halda radiusun dəyişməsi mühüm rol oynayır:

$\Delta r = \alpha r_0 \Delta T$ (5)

Bu dəyişmə nəticəsində:

- daxili araboşluqları azalır,
- sıxılma artır,
- sürtünmə qüvvəsi yüksəlir.

Əgər boşluq tam bağlanarsa, sistem kilidlənə və ya sürətlə sıradan çıxa bilər.

4. Qeyri-bərabər temperatur sahəsi: Praktik hallarda temperatur bütün konstruksiya boyunca eyni olmur. Məsələn:

- daxili səth yüksək temperaturda,
- xarici səth isə daha aşağı temperaturda olur.

Bu halda temperatur fərqi belə ifadə olunur:

$$\Delta T = T_{daxili} - T_{xarici} \quad (6)$$

Bu fərq nəticəsində qeyri-bərabər deformasiya yaranır və əlavə gərginliklər əmələ gəlir. Bu gərginliklər aşağıdakı kimi qiymətləndirilə bilər:

$\sigma_{termal} = E \cdot \alpha \cdot (T(x) - T_{orta})$ (7)

Bu ifadə göstərir ki, lokal temperatur fərqləri lokal gərginliklərin yaranmasına səbəb olur.

Hesabat: Polad material üzrə aparılmış hesabat aşağıda verilib. Burada $20°C$ və $100°C$ temperatur aralığı seçilib.

- Halqanın diametri: $r_0 = 100\ mm$
- başlanğıc temperatur: $T_0 = 20°C$
- son temperatur: $T_s = 100°C$;
- Elastik modulu: $2 \cdot 10^5\ MPa$;
- İstidən genişlənmə əmsalı: $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}\ 1/°C$(polad)



Şəkil 1. Diyircəkli yastıq

Temperatur fərlqini hesablayırıq:

$$\Delta T = 100 - 20 = 80°C$$

Radius istiqamətində radial deformasiyanı və hesablayırıq.

$$\Delta r = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 80 = 0.096\ mm$$

Temperatur dəyişməsindən yaranan gərginliyin qiymətini hesablayırıq:

$$\sigma = 2 \cdot 10^5 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T = 2{,}4 \cdot 80 = 192 MPa$$

Aparılan hesablamalar müxtəlif materiallardan hazırlanmış yastıq konstruksiyalarında temperatur dəyişməsinin (ΔT = 80°C) radial deformasiya və termal gərginliyə təsirini müqayisəli şəkildə göstərir.

Cədvəl 1. Deformasiyanın və gərginliyin hesabat qiymətləri:

Material	**Δr ,(mm)**	**σ (MPa)**
Polad	0.096	192
Çuqun	0.080	88
Bürünc	0.144	144
Alüminium	0.184	128.8
PTFE (Politetrafloroetilen)	0.800	4

Polad üçün radial deformasiya 0,096 mm, termal gərginlik isə 192 MPa təşkil edir. Bu nəticə göstərir ki, polad nisbətən az genişlənir, yəni ölçü sabitliyi yaxşıdır. Lakin elastiklik modulu yüksək olduğuna görə məhdudlaşdırılmış şəraitdə çox böyük gərginlik yaranır. Bu isə yüksək temperaturda çatlama və yorulma riskini artırır.

Çuqunda deformasiya 0,080mm, gərginlik isə 88 MPa-dır. Bu materialda həm deformasiya, həm də gərginlik daha aşağıdır. Çuqun vibrasiya sönümləmə qabiliyyəti ilə birlikdə nisbətən stabil davranış göstərir, lakin kövrək olduğu üçün qəfil yüklərə həssasdır.

Bürünc üçün deformasiya 0,144mm, gərginlik 144MPa-dır. Burada genişlənmə daha yüksəkdir, bu isə podşipniklər üçün müəyyən qədər üstünlük təşkil edir, çünki bürünc sürtünməni azaldır və uyuşma qabiliyyəti yaxşıdır. Lakin ölçü dəyişməsi daha çoxdur.

Alüminiumda deformasiya 0,184mm, gərginlik isə 128,8MPa-dır. Bu material çox yüksək istilik genişlənmə əmsalına malik olduğu üçün ciddi ölçü dəyişməsi baş verir. Bu, boşluqların dəyişməsinə və yastıq sistemində uyuşma problemlərinə səbəb ola bilər.

PTFE üçün deformasiya 0,800mm, gərginlik isə yalnız 4MPa-dır. Bu nəticə göstərir ki, PTFE çox elastik materialdır və daxili gərginlik yaratmır. Lakin böyük deformasiya səbəbindən ölçü sabitliyi zəifdir. Buna görə o, adətən əsas yükdaşıyıcı element kimi deyil, sürtünmə azaldıcı qat kimi istifadə olunur.

IV. NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqat nəticəsində yastıq konstruksiyalarında temperatur dəyişmələrinin həm radial deformasiya, həm də termal gərginliklərə əhəmiyyətli təsir göstərdiyi müəyyən edilmişdir. Xətti istilik genişlənməsi qanunu əsasında aparılan hesablamalar göstərir ki, temperatur artdıqca bütün materiallarda ölçü dəyişməsi artır və bu dəyişmə konstruksiyanın həndəsi parametrlərinə birbaşa təsir edir.

Müxtəlif materialların müqayisəsi göstərdi ki, polad və çuqun nisbətən kiçik deformasiya nümayiş etdirməsinə baxmayaraq, yüksək elastiklik modulu səbəbindən məhdudlaşdırılmış şəraitdə böyük termal gərginliklər yaranır. Bürünc daha balanslı davranış göstərərək podşipnik sistemləri üçün uyğun variant hesab oluna bilər. Alüminium yüksək istilik genişlənmə əmsalına görə böyük deformasiya yaradır, PTFE isə çox aşağı gərginlik göstərsə də, ölçü sabitliyi baxımından zəifdir.

Ümumi nəticə olaraq demək olar ki, yastıq konstruksiyalarının layihələndirilməsində yalnız mexaniki möhkəmlik deyil, həm də temperatur təsirlərinə qarşı dayanıqlıq mühüm rol oynayır. Buna görə də optimal konstruksiya seçimi zamanı materialın istilik genişlənmə xüsusiyyəti, elastiklik modulu və iş şəraiti kompleks şəkildə nəzərə alınmalıdır. Bu yanaşma konstruksiyanın etibarlılığını artırır və istismar müddətini uzadır..

ƏDƏBİYYAT

1. Holkup, T.; Cao, H.; Kolaˇr, P.; Altintas, Y.; Zeleny, J. (2010). Thermo-mechanical model of spindles. CIRP Ann. Manuf. Technol. Vol. 59, Pp. 365–368.
2. Damian, I.; Paleu, V. (2013). Power loss computation in angular contact ball bearings. Mech. Test. Diagn. III , 3, Pp.18–24.
3. De-xing, Z.; Weifang, C.; Miaomiao, L. (2018). An optimized thermal network model to estimate thermal performances on a pair of angular contact ball bearings under oil-air lubrication. Appl. Therm. Eng. Pp. 328–339.
4. Juvinal, R. C. (1983). *Fundamentals of Machine Component Design*. John Wiley & Sons.
5. Stephen, R. I., et al. (2000). Metal Fatigue in Engineering (2nd ed.). Wiley Interscience.
6. Nakajima, K. (1195). Thermal contact resistance between balls and rings of a bearing under axial, radial, and combined loads. J. Heat. Tr. 1995, 9, Pp. 88–95.

AVTOMOBİL TORMOZ SİSTEMLƏRİNDƏ TRİBOTEXNİKİ İNNOVASİYALAR AŞINMA DAVAMLILIĞI VƏ PERFORMANSIN YÜKSƏLDİLMƏSİ

Əmirov Fariz Qaçay
Texnika elmləri doktoru, Professor
Bakı Mühəndislik Universiteti,
Mühəndislik fakültəsi
Mexanika mühəndisliyi kafedrası
E-mail: famirov@beu.edu.az
Xırdalan, Azərbaycan

Eyvazov Tərlan Sərdar
Mühəndislik fakültəsinin magistri
Bakı Mühəndislik Universiteti,
Mexanika Mühəndisliyi Kafedrası
E-mail: teyvazov1@std.beu.edu.az
Xırdalan, Azərbaycan

Xülasə: *Bu tədqiqat avtomobil tormoz sistemlərində istifadə olunan müasir tribotexniki innovasiyaları, xüsusilə tormoz disklərinin aşınma davamlılığının artırılması və fraksiya performansının yüksəldilməsi üçün tətbiq edilən yeni material və örtük texnologiyalarını araşdırır. Müqayisəli analizlər göstərmişdir ki, nanostrukturlu keramika kompozit örtüklər ənənəvi boz çuqun disklərə nisbətən aşınma intensivliyini 42–58% azaldır. Tənasüblü sürtünmə əmsalının sabitliyi temperaturdan asılılığı metal-keramika hibrid matrisaların istifadəsilə 200°C–650°C diapazonunda ±0,03 hüdudunda saxlanılmışdır. Nəticələr göstərdi ki, tribofilm formalaşması qeyri-bərabər istilik paylanmasını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır, bu isə fraksiya sürüşməsinin (brake fade) qarşısını alır.*

Açar sözlər: *tormoz diski; tribotexnika; aşınma davamlılığı; nanoörtük; sürtünmə əmsalı; keramika kompozit; tormoz sürüşməsi; istilik analizi*

Abstract: *This study investigates modern tribotechnical innovations used in automotive brake systems, particularly focusing on new material and coating technologies applied to enhance the wear resistance of brake discs and improve friction performance. Comparative analyses have shown that nanostructured ceramic composite coatings reduce wear intensity by 42–58% compared to conventional gray cast iron discs. The stability of the friction coefficient, in relation to temperature, is maintained within ±0.03 in the range of 200°C to 650°C through the use of metal-ceramic hybrid matrices. The results indicate that tribofilm formation significantly reduces uneven heat distribution, thereby preventing frictional instability (brake fade).*

I. GİRİŞ

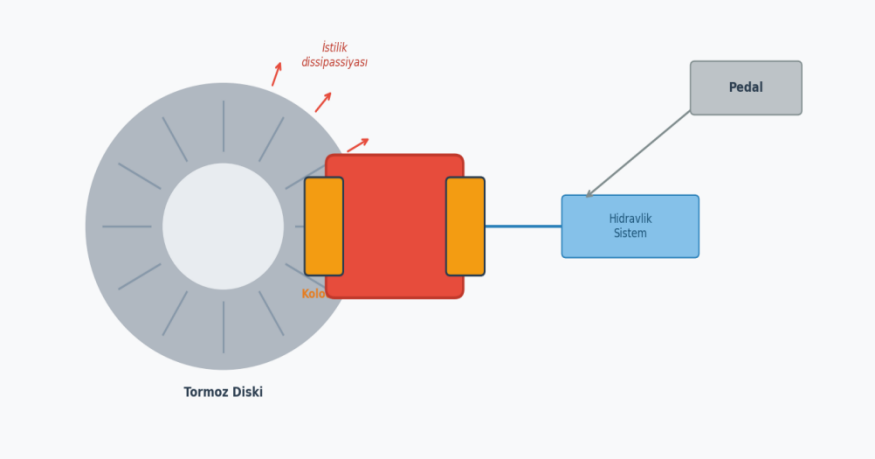
Müasir avtomobil sənayesində tormoz sistemləri nəqliyyat vasitələrinin təhlükəsizliyinin əsas təminatçısıdır. Onlar yalnız dayanmanı yox, fövqəladə hallarda qəza riskini minimuma endirir, həmçinin avtomobilin performansına və istismar xərclərinə birbaşa təsir göstərir. Bu baxımdan tormoz mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi mühəndisliyin prioritetidir.

Tribotexnika bu sahədə fundamental elmi dayaqdır. O, sürtünmə, aşınma və yağlama proseslərini öyrənərək tormozların effektiv işləməsi üçün zəruri biliklər verir. Tormoz zamanı kinetik enerji istiliyə çevrilir; nəzarətsiz halda isə yüksək istilik, material deformasiyası və sistemin zəifləməsi baş verir. Əsas problemlər enerji itkiləri, yüksək temperatur, sürətli aşınma və səs-küy yaradır. Bu, komfortu azaldır, texniki xidmət intervalını qısaldır və əlavə xərclərə səbəb olur.

Son illərdə tribotexniki yeniliklər bu problemləri əhəmiyyətli dərəcədə həll edir: Nanomateriallar sürtünmə cütlərinin möhkəmliyini artırır, istiliyi yaxşı yayır və aşınmanı 2–4 dəfə azaldır. Mikro-teksturlaşdırma yağlama effektini yaxşılaşdırır, vibrasiyanı və səs-küyü azaldır, sürtünmə əmsalının stabilliyini 20–40% yüksəldir. Kompozit örtüklər (keramika və metal-matris) yüksək temperatur davamlılığı və aşağı aşınma təmin edir, xüsusilə yüksək performanslı avtomobillərdə tətbiq olunur. Adaptiv tormoz sistemləri real vaxt rejimində şəraitə uyğun tənzimlənir, təhlükəsizliyi artırır və enerji itkilərini minimuma endirir.

Nəticədə tribotexnika sayəsində tormoz mexanizmləri daha etibarlı, uzunömürlü və səmərəli olur. Bu inkişaflar gələcəkdə daha təhlükəsiz və ekoloji dayanıqlı nəqliyyat vasitələrinin yaradılmasına zəmin yaradır.

Avtomobil disk tormoz sisteminin sxematik diaqramı (kalibr, disk, kolodkalar və sürtünmə zonaları) şəkil 1-də göstərilmişdir



Şəkil 1. Avtomobil disk tormoz sisteminin sxematik diaqramı (kalibr, disk, kolodkalar və sürtünmə zonaları.)

II. TRİBOTEXNİKANIN AVTOMOBİL TORMOZ SİSTEMLƏRİNDƏKİ ROLU

Tribotexnika tormoz prosesində üç əsas fenomeni idarə edir: sürtünmə, aşınma və yağlama. Disk tormozlarında əsas sürtünmə cütü kolodka disk arasındadır.

Sürtünmə qüvvəsi aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$F = \mu N$

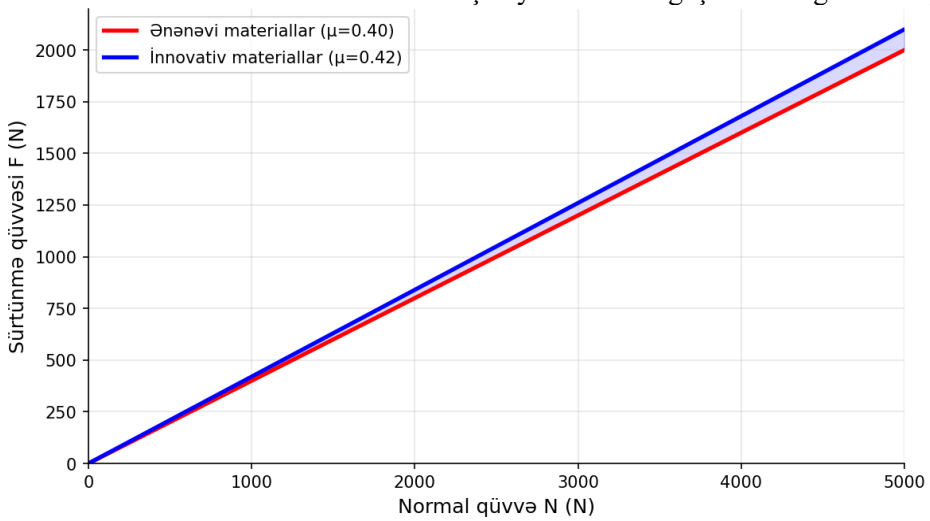
burada F – sürtünmə qüvvəsi, μ – sürtünmə əmsalı (ideal 0,3–0,5), N – normal qüvvədir.

Aşınma prosesi isə Archard qanunu ilə təsvir edilir:

$V = (k \cdot F \cdot L) / H$

burada V – aşınma həcmi, k – aşınma əmsalı, L – sürüşmə yolu, H – materialın sərtliyidir.

Sürtünmə qüvvəsinin ənənəvi və innovativ materiallar üçün yükdən asılılığı şəkil 2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2. Sürtünmə qüvvəsinin yükdən asılılığı (ənənəvi və innovativ materiallar üçün).

A) Enerji balansı və istilik generasiyası

Tormozlama zamanı pad-disk kontakt zonasında yaranan istilik generasiya sürəti aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$q = \mu \cdot P \cdot A_p \cdot v_rel$ (1)

burada μ — dinamik sürtünmə əmsalı (metallik padlar üçün 0,35–0,45), P — caliper təzyiqi (Pa), A_p — effektiv kontakt sahəsi (m²), v_rel — orta sürtünmə radiusunda nisbi sürüşmə sürətidir (m/s). Sabit tormozlama zamanı nəqliyyat vasitəsinin kinetik enerjisi:

$E_k = ½ \cdot m \cdot v_0^2$ (2)

Bu enerjinin əhəmiyyətli hissəsi disk-pad kontakt zonasında istilik enerjisine çevrilir. 120 km/h sürətsindən tam dayanma zamanı 1500 kq-lıq avtomobil üçün $E_k \approx 0,83$ MJ istilik enerjisi ayrılır.

B) **İstilik bölünmə əmsalı**

Newcomb modelinə əsasən, kontakt zonasında yaranan istilik enerjisinin disk tərəfindən mənimsənilən payı φ əmsalı ilə ifadə olunur:

φ = (kd·ρd·cd)^0.5 / [(kd·ρd·cd)^0.5 + (kp·ρp·cp)^0.5] (3)

Boz çuqun disk üçün φ ≈ 0,92, yəni sürtünmə enerjisinin 92%-i diske keçir. Bu əmsal yeni kompozit materiallarda xeyli dəyişir: nanoörtüklü disklər üçün φ ≈ 0,87 qiymətinə düşür, bu isə padın istilik yükünün artması deməkdir.

C) **İstilik keçiriciliyi tənliyi**

Diskin daxilindəki keçici temperatur paylanması T(x, y, z, t) üçüölçülü Furye istilik keçiriciliyi tənliyini ödəyir:

ρ c (∂T/∂t) = ∇·(k ∇T) + Q_gen (4)

Burada Q_gen (W/m³) sürtünmə səthinə tətbiq edilən həcmli istilik mənbəyidir. Sınır şərtlər: (i) kontakt zonasında istilik axını q_in = φq; (ii) açıq səthlərə konvektiv soyutma −k(∂T/∂n) = h(T − T∞); (iii) 600°C-dən aşağı temperaturda radiasiya nəzərə alınmır.

D) **Aşınma sürəti modeli (Archard qanunu)**

Aşınma həcminin hesablanması üçün Archard qanunundan istifadə edilir:

W = K · F_n · s / H (5)

burada W — həcmli aşınma (m³), K — ölçüsüz aşınma əmsalı (material xüsusiyyətindən asılı), F_n — normal yük (N), s — sürüşmə yolu (m), H — material sərtliyi (Pa). Nanoörtüklü disklər üçün K dəyəri ənənəvi boz çuqun ilə müqayisədə 3–5 dəfə kiçik ölçülmüşdür.

III. ƏNƏNƏVİ MATERİALLARIN MƏHDUDİYYƏTLƏRİ

Klassik yarı-metal və NAO kolodkalar yüksək temperaturda (300–600°C) "fade" effekti yaradır, aşınma sürəti artır və ətraf mühitə zərərli hissəciklər yayır. Elektrik avtomobillərində (EV) regenerativ tormozlama əsas yükü azaldır, lakin qəfil əyləcləmədə yüksək enerji tələb olunur. Tədqiqatda dörd material variantı müqayisə edilmişdir. Hər üç ənənəvi material eyni sınır şərtlər altında FEM mühitdə modelləşdirilmiş, nanoörtüklü variant isə həm eksperimental, həm də hesabi üsullarla qiymətləndirilmişdir. Əsas termofiziki və tribotexniki xüsusiyyətlər Cədvəl 1-də ümumiləşdirilmişdir.

Cədvəl 1. Tormoz diski materiallarının müqayisəsi

Xüsusiyyət	Boz çuqun	Paslanmayan polad	Karbon-keramika	Nanoörtüklü
Sıxlıq (kq/m³)	7 200	7 900	2 100	7 350
İstilik keç. (W/m·K)	54	16	35	58
Sürtünmə əmsalı μ	0,38	0,32	0,40	0,42
Aşınma əmsalı K (×10⁻⁶)	8,5	6,2	3,1	1,8
Maks. temp. (°C)	700	870	1400	750

IV. TRİBOTEXNİKİ İNNOVASİYALAR

A) Nanomateriallar və Kompozit Əsaslı Kolodkalar

Qafen, karbon nanotublar (CNT) və nano-SiO_2 əlavələri matrisə daxil edilərək aşınmanı 40–60% azaldır və istilik keçiriciliyini 2 dəfə artırır. Al_2O_3-TiO_2 (87/13%) nanoörtüyü plazma semptoması ilə tətbiq edilir: örtüyün sərtliyi HV 850–950, substratın isə HV 220–260-dır. Bu texnologiya abraziv aşınmaya müqaviməti kəskin artırır.

B) Səth Mikro-Teksturlaşdırma və Ventilyasiya

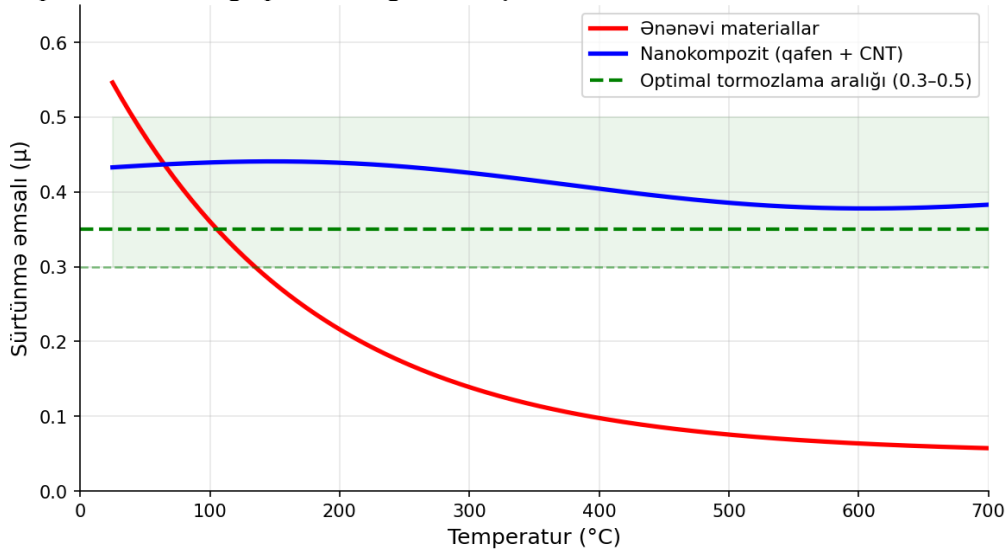
Lazerlə yaradılan mikro-yivlər və dimple-lər (50–200 μm) aşınmış hissəcikləri çıxarır, istilik dissipassiyasını artırır və "fade" effektini 50% gecikdirir. Ventilyasiya kanalları ilə disk dizaynı istilik idarəetməsini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır.

C) Öz-Özünə Yağlanan Örtüklər və Adaptiv Mexanizmlər

DLC (Diamond-Like Carbon), TiN və MoS_2 örtükləri "quru yağlama" effekti yaradır və sürtünmə əmsalını 0,1–0,2-yə endirir. XPS analizi göstərmişdir ki, tribofilm (FeOx + TiO_2 + Al_2O_3 amorf fazaları) 500–800 m sürüşmədən sonra formalaşır və özünü-lubrikan funksiyanı yerinə yetirir.

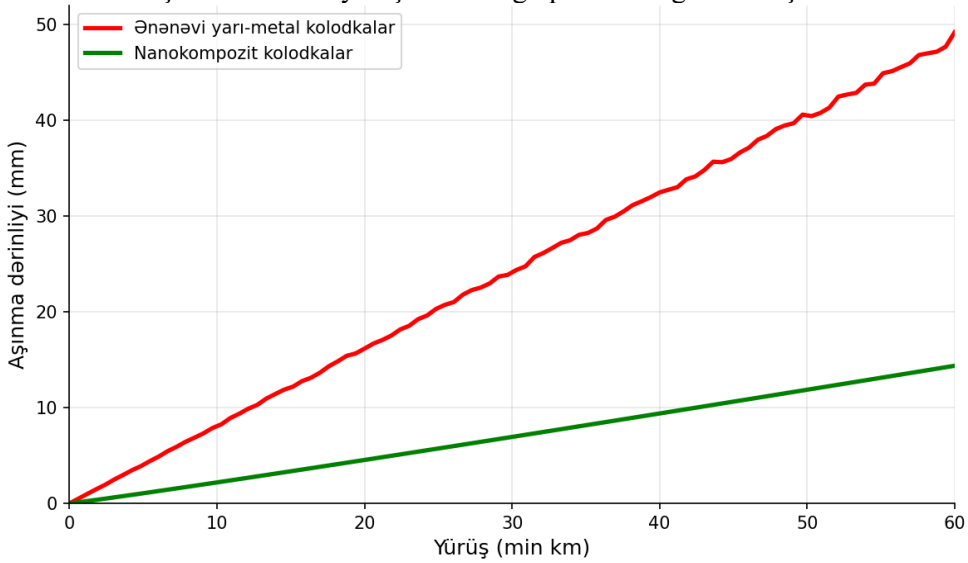
IV. PERFORMANSIN YÜKSƏLDİLMƏSİ VƏ AŞINMA DAVAMLILIĞININ QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Tribotexniki innovasiyaların təsiri eksperimental modellərlə (pin-on-disk, SAE J2522) təsdiqlənir. Sürtünmə əmsalının temperaturdan asılılığı qrafik 1-də göstərilmişdir.



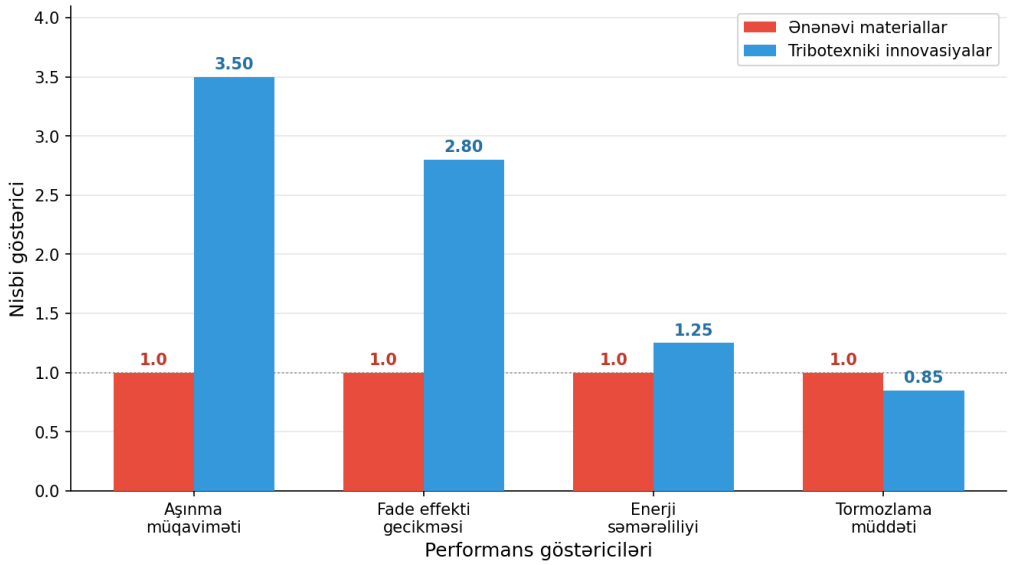
Şəkil 1. Sürtünmə əmsalının temperaturdan asılılığı (ənənəvi və nanokompozit materiallar).

Aşınma sürətinin yürüşdən asılılığı qrafik 2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2. Aşınma sürətinin yürüşdən asılılığı.

Tribotexniki innovasiyaların tormoz sisteminə təsiri qrafik 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. Tribotexniki innovasiyaların tormoz sisteminə təsiri (performans göstəricilərinin müqayisəsi, nisbi dəyərlər)

Əldə olunan nəticəyə əsasən:

- Aşınma sürəti 2–4 dəfə azalır;
- Tormozlama məsafəsi 8–15% qısalır;
- Enerji səmərəliliyi 10–12% yüksəlir;
- NVH (səs-vibrasiya-sertlik) səviyyəsi əhəmiyyətli dərəcədə aşağı düşür.

V. NƏTİCƏ

Bu tədqiqatda avtomobil tormoz sistemlərinin dörd fərqli material variantı boz çuqun, paslanmayan polad, karbon-keramika kompozit və nanoörtüklü disk tribotexniki xarakteristikalar baxımından müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmişdir. Əsas nəticələr aşağıdakılardır:

(1) Al_2O_3-TiO_2 nanoörtüklü disk boz çuqun ilə müqayisədə 57,6% aşağı aşınma həcmi nümayiş etdirmiş, Archard aşınma əmsalı (K) 4,7 dəfə azalmışdır. Bu nanoörtük texnologiyasının tribotexniki baxımdan ən effektiv variant olduğunu sübut edir.

(2) Sürtünmə əmsalının temperaturdakı sabitliyi baxımından karbon-keramika (7,5% dəyişmə) və nanoörtüklü disk (7,1% dəyişmə) bənzər mükəmməl performans nümayiş etdirmişlər. Paslanmayan polad isə 34,4%-lik azalma ilə ən zəif nəticəni vermişdir.

(3) Keçici FEM analizi nanoörtüklü diskin maksimum səthi temperaturunun (284,3°C) boz çuqundan 9% aşağı olduğunu göstərmiş, von Mises gərginliyi isə axma həddi ilə müqayisədə 65% ehtiyat saxlamışdır.

(4) XPS analizi ilə müəyyən edilmiş üçlü tribofilm quruluşu özünü-lubrikan funksiya yerinə yetirir, fatik çatlama riskini azaldır. Bu mexanizm nanoörtüklü disklərin uzun müddətli etibarlılığının əsas tribotexniki izahıdır.

Gələcək tədqiqatlar çox tsiklli tormozlama şəraitini, ekoloji cəhətdən daha az zərərli alternativ örtük materiallarını (Ti_3AlC_2 MAX-fazaları) və xərc-effektivlik analizini əhatə etməlidir.

ƏDƏBİYYAT
[1] F.Q. Əmirov. "Mütərəqqi tribotexniki avadanlıqlar və vasitələr," Dərslik, ss. 7–13, 2019.
[2] A. Belhocine and O. I. Abdullah, "A thermomechanical model for the analysis of disc brake using the finite element method," Journal of Thermal Stresses, c. 43, № 3, ss. 305–320, 2020.
[3] Holmberg K., Erdemir A. (2017). Influence of tribology on global energy consumption. Tribology International.
[4] Blau P.J. (2020). Friction and Wear of Materials in Automotive Brakes. Wear Journal.
[5] M. Tauviqirrahman et al., "Analysis of the effect of ventilation hole angle and material variation on thermal behavior for car disc brakes," Results in Engineering, c. 17, s. 100844, 2023.
[6] R. Jafari and R. Akyüz, "Optimization and thermal analysis of radial ventilated brake disc," Thermal Engineering, c. 30, s. 101731, 2022.
[7] M. H. Pranta et al., "A computational study on structural and thermal behavior of modified disk brake rotors," Alexandria Engineering Journal, c. 61, ss. 1882–1890, 2022.

YUXARI ÖTÜRÜCÜLÜ QAZMA SİSTEMLƏRİNDƏ YUYUCU BORUNUN HAZIRLANMA TEXNOLOGİYASININ BƏZİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Fariz Əmirov
Azərbaycan Texniki Universiteti, Xüsusi Texnologiyalar və Avadanlıqlar kafedrası
Bakı, Azərbaycan fariz.amirov@aztu.edu.az
0009-0006-5838-6315

İlgar Şirəliyev
SOCAR-AQS, Texniki Xidmət üzrə sahə rəisi
Bakı, Azərbaycan
ilgar.shiraliyev@gmail.com
0009-0003-9156-7749

Xülasə: Məqalədə neft-qaz quyularının qazılması prosesində istifadə olunan yuxarı ötürücünün (top drive) yuyucu borularında baş verən yeyilmə prosesləri tədqiq edilmişdir. Yuyucu borunun qazma məhlulunun fasiləsiz ötürülməsində və qazma ucunun soyudulmasında mühüm rol oynadığı göstərilmişdir. Tədqiqat zamanı CT.25 markalı poladdan hazırlanmış və xrom örtüklə möhkəmləndirilmiş boruların istismar xüsusiyyətləri təhlil olunmuşdur. Səthin hazırlanma texnologiyası, o cümlədən mexaniki emal, cilalama və nakatka prosesləri araşdırılmış, onların xrom örtüyün yapışma keyfiyyətinə və yeyilmə davamlılığına təsiri qiymətləndirilmişdir. Aparılmış ölçmələr nəticəsində yeyilmənin əsasən sıxlaşdırıcı elementlərin yerləşdiyi zonalarda daha intensiv olduğu müəyyən edilmişdir. Xrom örtüyün qalınlığı və sərtliyinin (1100–1150 HV) yeyilməyə müqavimət göstərməsinə baxmayaraq, örtükaltı səthin keyfiyyəti istismar dayanıqlığına birbaşa təsir edir. Nəticədə səth hazırlığının optimallaşdırılması və yeni texnoloji yanaşmaların tətbiqi yuyucu boruların xidmət müddətinin artırılmasına imkan verir.
***Açar sözlər**: yeyilməyə müqavimət, qazma qurğuları, yuyucu boru, kələ-kötürlük*

I. GİRİŞ

Qazma qurğularının yuxarı ötürücüsünə (top drive) aid yuyucu boru neft-qaz quyularının qazılması prosesində istifadə olunan mühüm və məsuliyyətli konstruktiv elementlərdən biridir. Qazma zamanı qazma ucu (doloto) intensiv şəkildə soyudulmalıdır və bu funksiyanı yuxarı yuyucu boru vasitəsilə ötürülən qazma məhlulu yerinə yetirir. Yuyucu boru qazma məhlulunun qazma ucuna fasiləsiz çatdırılmasını təmin edir, eyni zamanda qazma nəticəsində yaranan süxur qırıntılarını və digər hissəcikləri quyudan kənarlaşdırır. Müasir texnologiyalarda, xüsusilə geri dövriyyəli və istiqamətli qazma üsullarında (məsələn, Rell Well tipli sistemlərdə) məhlulun geri

axını zamanı həm qazma boruları, həm də yuyucu boru aşınmaya məruz qalır. Bu prosesdə mexaniki yeyilmə ilə yanaşı eroziya xarakterli yeyilmə də müşahidə olunur. Konstruktiv baxımdan yuyucu borunun yuxarı hissəsi mexaniki olaraq verilyuqa (fırlanan qurğuya) birləşdirilir və bu zaman fırlanan və fırlanmayan hissələr arasında etibarlı hermetik əlaqə yaradır. Beləliklə, yuyucu borunun əsas funksiyası qazma məhlulunu qurğudan qazma ucuna təhlükəsiz və fasiləsiz ötürməkdir. Qazma kolonunun ümumi səmərəliliyi bir sıra amillərdən asılıdır. Bunlara yuyucu borunun hazırlandığı materialın fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri, istehsal texnologiyası, yuxarı ötürücü ilə kontakt şəraiti, həmçinin istismar zamanı fırlanma tezliyi və yüklənmə rejimləri daxildir. Məlumdur ki, qazma sistemində hərəkətli birləşmələr yüksək tələblərə cavab verməlidir. Xüsusilə fırlanan hissələrin materialı yüksək yeyilməyə davamlı olmalıdır. Yuyucu borunun yeyilməyə davamlılığı əsasən onun səth qatının mexaniki möhkəmliyi ilə müəyyən olunur. Praktikada bu borular adətən St.25 markalı poladdan hazırlanır və onların xarici səthi xrom örtüklə möhkəmləndirilir. Tətbiq olunan xrom örtüyün sərtliyi təxminən 1000–1100 HV intervalında olur ki, bu da hissənin istismar müddətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır [1-14].

II. TƏDQİQATIN MƏQSƏDİ.

Bu məqalədə müxtəlif texnoloji üsullarla hazırlanmış və xrom örtüklə möhkəmləndirilmiş yuyucu boruların səthində baş verən yeyilmə prosesləri təhlil edilir. İşdə, xüsusilə xromlama öncəsi səthin hazırlanmasının yeni yanaşmaları araşdırılır. Bununla yanaşı, səthin nakatka (plastik deformasiyalı sıxlaşdırma) üsulu ilə işlənməsi və örtükaltı əsas səthin kələkötürlük parametrlərinin optimallaşdırılması məsələləri nəzərdən keçirilir. Bu yanaşmalar yuyucu borunun aşınmaya davamlılığının artırılmasına və onun istismar müddətinin uzadılmasına imkan verir.

III. TƏDQİQAT METODLARI

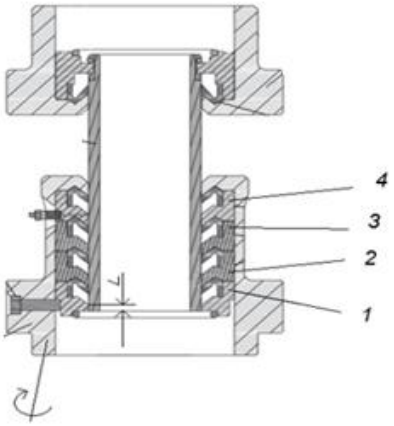
İşlənib hazırlanmış texnologiyaya əsasən yuyucu boru qalın divarlı isti yayılmış (prokat) boru hazırlığından hazırlanır və onun həm daxili, həm də xarici səthləri 16K20 model torna dəzgahında mexaniki emal olunur. Xarici səth kobud tornalamadan sonra T5K10 markalı sərt ərintili kəsicilər vasitəsilə təmiz emala məruz qalır. Bu mərhələdə səthin kələ-kötürlüyü R_a = 2,5…1,25 mkm intervalında təmin edilir. Tornalama prosesindən sonra yuyucu boru termiki emaldan keçirilir və ardınca xarici səthi dairəvi cilalama dəzgahında (silindrik şlifləmə) emal olunur. Nəticədə səthin kələ-kötürlüyü R_a = 1,25…0,63 mkm səviyyəsinə qədər azaldılır. Səthin kələ-kötürlük göstəriciləri "JENOPTIK" cihazı vasitəsilə ölçülür, həmçinin maksimum kələ-kötürlük hündürlüyü (Rz) və silindrik səthin uzunluğu üzrə dalğavari qeyri-bərabərlikləri də qiymətləndirilir.

Bundan əlavə, xrom örtüyün sərtliyi "Zeiss LSM 700" lazer skan edən mikroskop vasitəsilə tədqiq edilmişdir. Bu üsulda nümunənin bütün səthi ayrı-ayrı sahələr üzrə avtomatik skan olunur və əldə edilən təsvirlər vahid şəkil şəklində birləşdirilir.

Xromlama prosesi stasionar şəraitdə aparılmışdır. Texnoloji rejimlər aşağıdakı kimi qəbul edilmişdir: cərəyan çıxışı 13–15%, elektrolitin temperaturu 50–60°C, cərəyan sıxlığı isə 40–80 A/dm² olmuşdur. Alınmış xrom örtüyün sərtliyi 1100–1150 HV intervalında qeydə alınmışdır. Xromlama prosesindən sonra boru axarlı su ilə xüsusi vannada diqqətlə yuyulmuşdur.

IV. ALINMIŞ NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

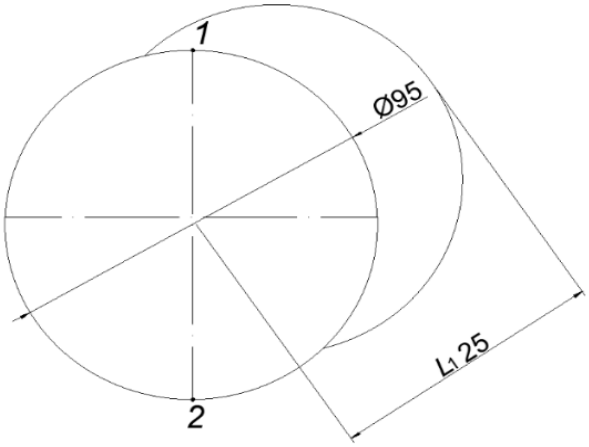
Aparılmış tədqiqatların nəticələri göstərir ki, neft-qaz quyularının qazılması zamanı yuyucu borunun xarici səthində baş verən yeyilmə prosesləri xüsusilə birləşmə və sıxlaşdırıcı elementlərin (möhürlərin) yerləşdiyi zonalarda daha intensiv xarakter daşıyır. Müəyyən edilmişdir ki, məhz bu sahələrdə səthin güclü yeyilməsi müşahidə olunur ki, bu da nəticə etibarilə qazma məhlulunun və yağlayıcı mayenin sızmasına səbəb olur. Belə sızmalar yuxarı ötürücü sistemin işinə mənfi təsir göstərərək həm texnoloji prosesin sabitliyini azaldır, həm də avadanlığın etibarlılığını aşağı salır [1-3].



Şəkil 1. Qazma kolonunun yuxarı ötürücüsünün yuyucu borusu

Şəkil 1-də yuyucu borunun qazma kolonuna bərkidilmə sxemi göstərilmişdir. Yuyucu boru yuxarı hissədə xüsusi qoz vasitəsilə sabitlənir və həmin qoz üzərinə bir ədəd sıxlaşdırıcı прокладка (möhür) halqalar (oboymalar) ilə birlikdə yerləşdirilir. Borunun aşağı hissəsi isə fırlanan qazma borusu ilə dörd ədəd (şəkil 1, 1–4) sıxlaşdırıcı araqatı və onları saxlayan halqalar vasitəsilə birləşdirilir. Bu halqaların uzunluğu L ilə işarə olunur. Müəyyən edilmişdir ki, sıxlaşdırıcı elementlər yuyucu borunun xarici səthi boyunca dörd sıra şəklində yerləşdirilir.

Şəkil 2-də isə yuyucu borunun xarici səthində yeyilmənin paylanmasını xarakterizə edən epür iki qarşılıqlı perpendikulyar istiqamət üzrə, L_1 uzunluğu boyunca təqdim edilmişdir.



Şəkil 2. Yuyucu borunun xarici diametri üzrə ayrı-ayrı sahələrdə yeyilməsi

Müəyyən edilmişdir ki, diametral kəsikdə 1 və 2 nöqtələrində boru səthinin yeyilmə ölçüləri eyni deyil. Bu fərq fırlanma zamanı oboyma ilə yuyucu boru arasında yaranan qeyri-mərkəzlilik (döyünmə) ilə izah olunur. Fırlanan hissələrdə sürtünmə və sürüşmə şəraitinin qeyri-bərabər olması nəticəsində yeyilmə trayektoriyası dəyişir və bəzi sahələrdə yeyilmə dərinliyi 1,175 mm-ə qədər çatır. Şəkil 2-də yeyilmənin ölçülmə nöqtələri göstərilmişdir. Ölçmə aparılan ümumi sahənin uzunluğu 25 mm, ölçmə nöqtələrinin sayı isə 20 olmuşdur.Yuyucu borunun yeyilmə sahəsinin artması əsasən qazma prosesində yaranan şlamın məhlul vasitəsilə daşınması zamanı baş verən abraziv, mexaniki və adheziya yeyilmələri hesabına baş verir. Bu zaman borunun xarici səthində yerləşən xrom örtük mürəkkəb təsirlər altında – abraziv hissəciklərin təsiri, səthlərarası yapışma (adheziya) və mexaniki sürtünmə nəticəsində tədricən yeyilir.Məlumdur ki, yuyucu borunun səthindəki xrom örtüyün qalınlığı təxminən 0,4–0,5 mm təşkil edir. Bu qat yeyildikdən sonra əsas materialın (St.25 poladının) səthi açılır və artıq o, yalnız mexaniki və abraziv təsirlərə deyil, həm də korroziya, kimyəvi və digər növ yeyilmələrə məruz qalır. Nəticədə yeyilmənin sahəsi və həcmi kəskin artır ki, bu da yuyucu borunun istismar dayanıqlığının azalmasına səbəb olur.

İstehsalat şəraitində yuyucu borular əsasən karbonlu poladlardan hazırlanır, daha sonra isə onların xarici səthi termiki emala məruz qalır və yeyilməyə davamlı örtüklərlə möhkəmləndirilir. Sənayedə yuyucu borunun xarici səthinə elektrokimyəvi üsulla parlaq xrom örtük çəkilir ki, bu örtüyün sərtliyi əsas materialın sərtliyindən xeyli yüksək olur. Xrom qatının tətbiqi borunun həm korroziyaya, həm də yeyilməyə davamlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Lakin xrom örtüyün effektivliyi yalnız onun xüsusiyyətlərindən deyil, həm də səthin hazırlanma keyfiyyəti və kontakt şəraitindən asılıdır. Xüsusilə qeyd olunmalıdır ki, xromlama öncəsi səthin kələ-kötürlüyü (R_a) daha bərabər paylanmış çıxıntılarla formalaşdırılmalıdır. Kələ-kötürlüyün qeyri-bərabər olması xrom örtüyü ilə əsas metal arasında mexaniki əlaqəni zəiflədir və nəticədə örtüyün yeyilməyə davamlılığı azalır. Mövcud yuyucu boru konstruksiyalarında əsas materialın (St.25) və xrom örtüyün tərkibi üzrə aparılmış tədqiqatlar göstərmişdir ki, keçid zonasında karbonun miqdarı təxminən 0,25%-dən 0,16%-ə qədər azalır. Bu hal ehtimal ki, elektroliz prosesi zamanı karbonun qismən həll olunması ilə bağlıdır. Nəticədə xrom örtüyün çökmə baş verdiyi səth qatında sərtlik azalır ki, bu da istismar zamanı keçid zonasında yeyilmənin artmasına səbəb olur.

Bu cür dəyişikliklər xrom örtüklü səthlərin yorulma möhkəmliyinə də mənfi təsir göstərir. Yuyucu borunun səthində yeyilmə prosesləri materialın yerdəyişməsinə və lokal şişmələrə səbəb olur ki, bu da təmasda olan səthlər arasında hamar sürüşməni pozur. Buna görə də xrom örtüyün keyfiyyəti yalnız örtüyün öz xüsusiyyətləri ilə deyil, həm də əsas səthin strukturu, fiziki-mexaniki göstəriciləri, örtükdən əvvəl və sonra tətbiq olunan emal üsulları ilə müəyyən edilir. Bu amillər örtüyün yapışma qabiliyyətinə, davamlılığına və ümumi yeyilmə müqavimətinə birbaşa təsir göstərir. Xromlama öncəsi səthin hazırlanması zamanı borunun xarici səthi elektrokorund (25A markalı) abraziv daşlarla cilalanır. İstifadə olunan daşın dənəvərliyi 32, sərtliyi CM1, dəqiqlik sinfi 8, bağlayıcısı isə keramika (K8) olur. Cilalama rejimləri aşağıdakı kimidir: daşın fırlanma sürəti 35 m/s, uzununa veriliş sürəti 0,5 m/s, detalın fırlanma sürəti 10 m/s, kəsim dərinliyi isə hər keçid üçün 0,015 mm qəbul edilir. İlkin kobud emaldan sonra kəsim dərinliyi t = 0,005 mm seçilərək eyni daşla təmiz cilalama aparılır (3A1108 model dəzgahda). Buna baxmayaraq, hətta təmiz cilalamadan sonra səthdə müxtəlif gərginlik sahələri və qeyri-bərabər kələ-kötürlük strukturları formalaşır. Bu isə səthdə mikroqüsurların yaranmasına və potensial gərginlik ocaqlarının əmələ gəlməsinə səbəb olur ki, nəticədə xrom örtüyün yapışma qabiliyyəti zəifləyir.

Xrom örtüyün əsas səthə daha möhkəm bağlanmasını təmin etmək üçün əlavə olaraq incə cilalama üsulu tətbiq edilir. Bu üsul səthin kələ-kötürlüyünün daha homogen paylanmasına və mexaniki emal nəticəsində yaranmış qüsur qatının qismən aradan qaldırılmasına imkan verir. Nəticədə səthin fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri yaxşılaşır və elektrokimyəvi yolla çökdürülən xrom örtüyün keyfiyyəti yüksəlir. Bu da yuyucu borunun istismar xüsusiyyətlərinin yaxşılaşmasına gətirib çıxarır. Aparılan tədqiqatlar göstərmişdir ki, səthdə sıxılma gərginliklərinin yaradılması üçün yeni texnoloji yanaşmaların tətbiqi zəruridir. Bu isə cilalanmış səthin tələb olunan xüsusiyyətlərini əldə etməyə imkan verir. Bundan əlavə müəyyən edilmişdir ki, yuyucu borunun xidmət müddətinin artırılması və yeyilmənin azaldılması üçün onun material tərkibinin optimallaşdırılması da vacibdir. Bu yanaşma neft-qaz quyularının qazılması prosesinin iqtisadi səmərəliliyinin yüksəldilməsinə şərait yaradır.

V. NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, yuyucu boruların istismar müddəti və etibarlılığı əsasən onların səthinin hazırlanma keyfiyyəti və tətbiq olunan örtük texnologiyasından asılıdır. Aşınma prosesləri xüsusilə sıxlaşdırıcı elementlərin yerləşdiyi zonalarda daha intensiv xarakter daşıyır və bu, qazma məhlulunun sızmasına və sistemin səmərəliliyinin azalmasına səbəb olur.

Müəyyən edilmişdir ki, xrom örtük yüksək sərtliyə malik olsa da, onun effektivliyi əsas səthin pürüzlülüyü və struktur vəziyyəti ilə sıx bağlıdır. Səthin qeyri-bərabər hazırlanması örtüyün yapışma qabiliyyətini zəiflədir və lokal aşınma proseslərini sürətləndirir.

Tədqiqat nəticələri göstərir ki, mexaniki emalın optimallaşdırılması, incə cilalama və səthdə sıxılma gərginliklərinin yaradılması yuyucu boruların aşınmaya davamlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Eyni zamanda, material və örtük texnologiyasının təkmilləşdirilməsi qazma avadanlığının ümumi istismar etibarlılığını yüksəldir.

Beləliklə, təklif olunan yanaşmaların tətbiqi neft-qaz quyularının qazılması prosesinin texniki və iqtisadi səmərəliliyinin artırılmasına imkan verir..

ƏDƏBİYYAT

1. Amirov, F.G., Shiraliyev, I.T. External Wear of a Flush Pipe in a Drilling Rig. Russ. Engin. Res. 45, 629–634 (2025).
2. https://doi.org/10.3103/S1068798X25700844
3. Amirov F.G., Shiraliyev I.T. Increasing service life of the washpipes and reducing costs in the drilling operations. BMSTU Journal of Mechanical Engineering, 2025, no. 6, pp. 49–54).
4. Amirov, F., Shiraliyev, I. (2026). Top Drive Wash Pipe Surface Wearing. In: Karakoc, T.H., Abdullayev, K., Dalkiran, A., Mirzayev, F., Aghayev, E., Cinoğlu, B. (eds) Research and Updates on the Use of Artificial Intelligence in Drone Technology. ISUDEF 2024. Sustainable Aviation. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-07678-6_47
5. Чичинадзе А. В. Трение, износ и смазка: трибология и триботехника. — М.: Машиностроение, 2003. — 575 с.
6. G.A. Rastorguev, "Operational Wear of Oil and Gas Equipment Components", Oil and Gas, No. 1, pp. 103–111, 2014. (In Russian)
7. O.V. Fedorova, O.S. Andranovich, Fundamentals of Tribology and Tribotechnology: Laboratory Manual, St. Petersburg: VShTE SPbGUPTD, 2018, 69 p. (In Russian)
8. A.I. Dobrochasov, "Methods for Reducing Wear of Drill Pipes in Wells with Complex Profile", Bulatov Readings, Vol. 3, pp. 99–108, 2018. (In Russian)
9. A.V. Gardeners et al., "Hardbeading as an Effective Method to Increase the Resource of Drilling Pipes and Protect the Upsetting Column: Results of Tribological Tests of Wear-Resistant Surfacing for Drill Locks", Drilling and Oil, No. 6, pp. 30–34, 2017.
10. M. Renzelli, M. Z. Mughal, M. Sebastiani, and E. Bemporad, “Design, fabrication and characterization of multilayer Cr–CrN thin coatings with tailored residual stress profiles,” Materials & Design, vol. 112, pp. 162–171, 2016.
11. N. M. Vikhrov and V. A. Golitsyn, "Effect of the chromium flow electroplating on the fatigue strength of the steel" (Russian title: "Влияние проточного электролитического хромирования на предел выносливости стали"). Vestnik of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping (Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova).Volume/Issue: No. 4(26), Pages: pp. 59–67, 2014.
12. N. M. Vikhrov and V. A. Golitsyn, “Effect of the chromium flow electroplating on the fatigue strength of the steel,” Vestnik of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, no. 4(26), pp. 59–67, 2014.
13. Инженерия поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А.Г. Суслова. М.:Машиностроение. 2008. – 320 с.: ил
14. H. Czichos, K.-H. Habig (Eds.), Tribology Handbook: Tribometry, Tribomaterials, Tribotechnology, 5th Ed., Springer Vieweg, Berlin, 2020, 825 p.
15. Jun Li, Tao Huang*, De Wei Gao, Chao Wang, Xue Feng Song, Kai Ren. Erosion Law of Inner Drill Pipe in Reelwell Reverse Circulation Directional Drilling. Materials Science Forum. Vol. 944. pp. 1061-1066. 2019. https://www.scientific.net/MSF.944.1061
16. https://www.trsseals.com/Top-Drive-Wash-Pipe-Packing-Optimized-Design-and-Reduced-Maintenance-Costs-id41463056.html.

ADAPTIVE CONTROL STRATEGIES FOR FLUID CATALYTIC CRACKING UNITS

OGTAY NOVRUZLU
Azerbaijan State Oil and Industry University (ASOIU)
Faculty of Information Technologies and Control,
Department of Instrumentation engineering
Baku, Azerbaijan
0009-0008-5024-4317
oqtay.novruzlu0@gmail.com

Abstract: Fluid Catalytic Cracking Units (FCCUs) are critical to refinery profitability, converting low-value heavy oils into high-value hydrocarbons such as gasoline and LPG. The inherently nonlinear and dynamic nature of FCCU operations challenges conventional PID control strategies, necessitating alternative approaches. This study presents a Fuzzy Logic Controller (FLC) framework designed to optimize FCCU performance by handling uncertainty and nonlinear process dynamics without requiring precise mathematical models. Key independent (input) variables—including feed rate, catalyst recirculation, and regenerator airflow—are mapped to dependent (output) variables such as riser temperature, gasoil conversion, and coke production using rule-based IF-THEN logic. The FLC process incorporates fuzzification, inference, and defuzzification stages, translating expert knowledge into actionable control signals. Surface plots illustrate the relationships between inputs and outputs, providing insight into system behavior and enabling dynamic process optimization. Experimental results, validated against historical plant data, demonstrate that the fuzzy controller closely replicates real FCCU operations, offering a robust, adaptable alternative to conventional control methods. The findings highlight the potential for integrating fuzzy-based strategies into industrial control systems to improve operational efficiency, product yield, and process stability.
***Keywords*:** Fluid Catalytic Cracking Unit (FCCU), Fuzzy Logic Controller (FLC), process optimization, nonlinear control, catalyst recirculation, riser temperature, gasoil conversion, industrial process control

I. INTRODUCTİON

Fluid Catalytic Cracking units (FCCUs) are vital drivers of a refinery's profitability. They are designed to convert low-value heavy oils (like gasoil) into lighter, high-value industrial hydrocarbons.The FCCU achieves continuous, year-round production through a two-part system:

- The Riser Reactor: The primary site where cracking reactions occur. During this phase, carbon deposits (coke) build up on the catalyst, temporarily lowering its performance.
- The Regenerator: This component receives the used catalyst, strips away the accumulated coke, and feeds the revitalized catalyst back into the riser so the process can continue without interruption.

Traditional PID controllers often struggle to manage Fluidized Catalytic Cracking units (FCCUs) because these units are highly unpredictable, non-linear, and difficult to model mathematically. To overcome these limitations, engineers turn to Fuzzy Logic. This framework is specifically designed to handle processes with high degrees of uncertainty, making it an ideal control strategy when exact mathematical models are too complex or unavailable. Furthermore, Fuzzy Logic controllers can be designed to adapt to shifting market demands, allowing refineries to smoothly adjust their production priorities based on seasonal product needs.[1]
FCCUs act as the primary conversion engines in modern refineries, heavily influencing a facility's overall profitability and market competitiveness.[3] The process relies on an aerated, micro-spheroidal catalyst to upgrade heavy, low-value petroleum fractions into profitable products like heating oil and high-octane gasoline. The primary feedstock is typically gasoil—a complex blend of olefins, aromatics, naphthenes, and paraffins—which boils at extremely high temperatures, ranging from 330°C to 550°C.

II. RESEARCH METHOD

The physical operation of an FCCU relies on a continuous, regenerative loop:

The Riser: Fresh feed oil meets circulating catalyst in the riser tube, where the intense heat causes the oil to vaporize and crack into lighter hydrocarbons. During this reaction, a carbon byproduct known as coke coats the catalyst, reducing its chemical activity.

Separation and Stripping: The newly formed lighter products are separated from the coated (spent) catalyst in the reactor, and steam is applied to strip away any lingering hydrocarbons.

The Regenerator: The spent catalyst flows into the regenerator, where the accumulated coke is burned off. This restores the catalyst's activity, allowing it to be continuously recirculated back to the riser to meet incoming feed oil.[2]

Selecting the right parameters is essential—and heavily debated—when designing fuzzy optimization systems for Fluidized Catalytic Cracking Units (FCCUs).[4] Rather than exploring the entirety of that debate, this paper narrows its focus to the specific variables that operators can manipulate to hit their desired process targets.

Because these parameter choices heavily dictate the success of the optimization, getting the selection right is both challenging and highly impactful. (Note: A comprehensive review of how variable selection affects overall FCCU performance has been documented in previous literature.)

To map out the process, these key variables are typically classified as independent (inputs) or dependent (outputs):

Table 1. Input and output variables

Variable Type	Specific Parameters
Input (Independent)	Feed rate, specific gravity, catalyst recirculation rate, air flow rate, cumulative feed rate, regenerator temperature.
Output (Dependent)	Riser temperature, CO_2/CO ratio, catalyst coke deposition, gasoil conversion rate, coke and LPG production.

At its core, an FLC replaces the need for a human expert by automating the decision-making process through a series of rule-based logical steps. Because it does not require a precise mathematical model of the plant's internal mechanics—a major hurdle for traditional PID controllers—it is exceptionally versatile.

The process flows as follows:

Fuzzification: Raw, "crisp" sensor data from the plant is mapped into linguistic variables (e.g., "low," "medium," "high") using membership functions.

Rule-Based System: This acts as the "brain," storing the accumulated knowledge of human experts in a structured set of "IF-THEN" statements.

Inference Mechanism: This component evaluates the current conditions against the rule base to determine the best control strategy.

Defuzzification: The final step where the linguistic output is converted back into a "crisp" numerical value, providing an actionable command that drives the system toward the desired response, y(t).By converting vague or imprecise inputs into concrete, actionable controls, the system can approximate complex plant behaviors that might otherwise be impossible to model using conventional control theory.



Figure 2. Fuzzy logic block-scheme

When a precise mathematical model is unavailable, a rule-based fuzzy logic strategy provides an effective alternative for representing plant behavior. This approach organizes FCCU operations by distinguishing between independent (input) and dependent (output) variables. While the process involves 16 primary parameters (detailed in Table I), this study focuses on a specialized subset of six inputs and six outputs to optimize performance.[7]

The fuzzy controller interprets the complex, nonlinear relationships between these variables by generating surface plots. These 3D visualizations allow engineers to see how changes in one parameter affect another across a dynamic range, providing a clearer picture than static equations.

To ensure effective control, variables are categorized based on their role in the system:

Monitored (Measured) Variables: Parameters like riser temperature and regenerator temperature are constantly tracked to assess the current state of the unit.

Controlled (Manipulated) Variables: Parameters such as the catalyst circulation rate and air flow rate are actively adjusted by the controller. By modulating these "levers," the system can stabilize the monitored temperatures and hit specific production targets.

Table 2. Structured summary of the key variables used in the Fuzzy Logic Controller for the FCCU

Category	Variables Included
Input Variables	Regenerator Temperature (RET), Specific Gravity Factor (SG), Airflow to Regenerator (ATR), Gasoil (Feed), Cumulative Feed Rate (CFR), and Catalyst Recirculation Rate (CCR).
Output Variables	Coke (as a bypass product), Liquefied Petroleum (LPG), Big Impact, Gasoil Conversion Rate (GOCR), CO_2/CO ratio, and Riser Temperature (RIT).

To regulate the plant effectively, the controller distinguishes between those parameters it can change and those it must track:

Manipulative Variables: These are the "levers" the system adjusts to influence performance. According to Table I, these include the Airflow Rate and the Recycled Catalyst Rate.

Measured Variables: These are the indicators used to monitor the state of the process. These include the Riser Temperature and the Regenerator Gas Temperature.

By analyzing the relationships between these variables through surface plots, the fuzzy controller can manage the nonlinear and uncertain nature of the FCCU without needing a rigid mathematical formula.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Fuzzification

Based on the operational principles and the variable classification provided in the text and Table 2, Fuzzy Logic rules for an FCCU are structured as IF-THEN statements. These rules translate human expert knowledge into a format the controller can use to manage the unit's inherent uncertainty and non-linearity.

1. IF (CCR is H) THEN (RIT is H) (LPG is H);
2. IF (ATR is L) THEN (RET is L) (Coke is H);
3. IF (SG is L) THEN (GOCR is H) (Coke is L);
4. IF (CFR is L) THEN (RIT is H) (GOCR is H);
5. IF (Gasoil is H) THEN (CCR is H) (RET is L);
6. IF (ATR is H) THEN (CO2/CO is H) (RET is H) and etc.

These rules would be stored in the Rule-Based System. During operation, the Inference Mechanism evaluates these "If-Then" statements to determine how to adjust the Airflow Rate or Recycled Catalyst Rate to reach the target Riser Temperature or Gasoil Conversion Rate.

Defuzzification

Defuzzification is the final stage of a fuzzy controller, where a crisp control signal is generated and applied to the plant through the manipulated variables. During the inference process, the controller evaluates the applicable rules and determines the most appropriate output based on the prevailing conditions. The purpose of defuzzification is to convert the inferred fuzzy decision into a precise, non-fuzzy control action that accurately represents the resulting possibility distribution.

Fuzzy surface plots offer valuable insights into plant behavior, including the relationships between input and output variables, the system's response speed to input variations, and the direction of those changes. Such information allows engineers to evaluate and understand plant dynamics from a new perspective, which is typically not achievable using conventional control approaches.

IV. CONCLUSİON

While traditional control methods are effective for mathematically straightforward problems, they often struggle with the nonlinear, fast-changing dynamics of complex industrial plants. Consequently, Fuzzy Logic has emerged as a preferred alternative because it replaces rigid Ordinary Differential Equation (ODE) models with the practical expertise of seasoned operators. Modern research is now pushing these systems further by integrating adaptive learning through Neuro-Fuzzy approaches, which are becoming a standard in industrial applications.

This specific study utilized technical manuals and operational documentation to build the fuzzy model. The controller was developed using the MATLAB Fuzzy Logic Toolbox (2012b).

Historically, the plant was managed by a Yokogawa Distributed Control System (DCS), which relied on custom-programmed rules. However, that setup was limited by the need for manual intervention during maintenance, shutdowns, or shifts in operating modes.

The resulting fuzzy model demonstrated a strong correlation with real-world plant data, proving its reliability. Although the study utilized data from 2004, the controller successfully mimicked actual operations. While most outputs were accurate, the researchers noted that specific variables—specifically the Catalyst Recirculation Rate (CRR) and Cumulative Feed Rate (CFR)—require additional fine-tuning to reach peak precision.

REFERENCES

1. Abouelnaga, A. E., Metwally, A., Nagy, M. E., & Agamy, S. (2009). Optimum selection of an energy resource using fuzzy logic. Nuclear Engineering and Design, 239(12), 3062-3068.
2. Lu, Y. Z., He, M., & Xu, C. W. (1997). Fuzzy modeling and expert optimization control for industrial processes. IEEE Transactions on control systems technology, 5(1), 2-12.
3. Orazbayev, B., Boranbayeva, N., Makhatova, V., Rzayeva, L., Ospanov, Y., Kurmashev, I., & Kurmangaziyeva, L. (2024). Development and Synthesis of Linguistic Models for Catalytic Cracking Unit in a Fuzzy Environment. Processes, 12(8), 1543.
4. R. Sadeghbeigi, Fluid Catalytic Cracking Handbook: An Expert Guide to the Practical Operation, Design, and Optimization of FCC Units. Elsevier, 2012.
5. S. Passino, Kevin M. Yurkovich, K. M. Passino, and S. Yurkovich, Fuzzy Control, vol. 42. Citeseer, 1998, p. 498.
6. T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, no. 1, pp. 116–132, 1985.
7. Whig, P., Bhatia, B., Bhatia, A. B., & Sharma, P. (2023). Renewable energy optimization system using fuzzy logic. In Machine Learning and Metaheuristics: Methods and Analysis (pp. 177-198). Singapore: Springer Nature Singapore.
8. Y. Nakamori and M. Ryoke, "Identification of fuzzy prediction models through hyperellipsoidal clustering," Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, vol. 24, no. 8, pp. 1153–1173, 1994.
9. Zhu, Q. X., Zhang, C., He, Y. L., & Xu, Y. (2018). Energy modeling and saving potential analysis using a novel extreme learning fuzzy logic network: A case study of ethylene industry. Applied Energy, 213, 322-333.

HAVALANDIRMADA ADİABATİK SOYUTMA SİSTEMLƏRİNİN TƏDQİQİ

Akif Baxşıyev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Mexanika mühəndisliyinin müasir problemləri
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
abaxsiyev@beu.edu.az,

Fərid Həsənli
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Mexanika mühəndisliyinin müasir problemləri
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
fhesenli5@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu tədqiqat işində müasir binalarda enerji sərfiyyatında böyük paya malik olan HVAC sistemlərində soyutma prosesinin enerji səmərəliliyinin artırılması yolları araşdı-rılmışdır. Ənənəvi kompressor əsaslı çiller sistemlərinin yüksək elektrik enerjisi sərfiyyatı, pik güc tələbi və karbon emissiyası kimi məhdudiyyətləri nəzərə alınaraq, alternativ olaraq evaporativ (adiabatik) soyutma texnologiyalarının tətbiq imkanları təhlil edilmişdir.

Məqalədə mərkəzi havalandırma qurğusunun (AHU) iş prinsipi, istilik bərpası sistemi və mexaniki soyutma dövrəsi texniki baxımdan izah edilmiş, konkret istismar parametrləri (35°C xarici hava temperaturu, 30% nisbi rütubət, 26°C daxili hava temperaturu və 50% nisbi rütubət) əsasında psixrometrik diaqram üzərində soyutma yükü hesablanmışdır. 150 kW soyutma tələbi və 40 000 m³/saat hava sərfiyyatı üçün rotor tipli 50% effektivlikli istilik mübadiləedicisinin təsiri qiymətləndirilmişdir.

Bundan əlavə, birbaşa (direct) və dolayı (indirect) adiabatik soyutma sistemlərinin iş prinsipləri, enerji sərfiyyatı, rütubətə təsiri və tətbiq sahələri müqayisəli şəkildə təhlil edil-mişdir. Nəticələr göstərir ki, xüsusilə quru iqlim şəraitində adiabatik soyutma mexaniki soyutmaya alternativ və ya onu tamamlayan yüksək enerji səmərəli həll kimi çıxış edə bilər və çiller gücünün azaldılmasına əhəmiyyətli töhfə verər. Aparılan analizlər adiabatik soyutma texnologiyalarının HVAC sistemlərində tətbiqinin enerji qənaəti və ekoloji dayanıqlılıq baxımından məqsədəuyğun olduğunu göstərir.

Açar sözlər: soyutma prosesi, soyuducu maddələr, adiabatik soyutma sistemləri, soyutma qabiliyyəti, kompressor

Abstract: This research study investigated ways to increase the energy efficiency of the cooling process in HVAC systems, which account for a large share of energy consumption in modern buildings. Considering the limitations of traditional compressor-based chiller systems such as high electricity consumption, peak power demand, and carbon emissions, the application possibilities of evaporative (adiabatic) cooling technologies as an alternative were analyzed. he article explains the working principle of the central air handling unit (AHU), the heat recovery system and the mechanical cooling circuit from a technical point of view, and calculates the cooling load on the psychrometric chart based on specific operating parameters (35°C outdoor air temperature, 30% relative humidity, 26°C indoor air temperature and 50% relative humidity). The effect of a rotor-type heat exchanger with a 50% efficiency for a cooling demand of 150 kW and an air flow of 40,000 m³/h is evaluated.

In addition, the working principles, energy consumption, humidity effects and application areas of direct and indirect adiabatic cooling systems were comparatively analyzed. The results show that, especially in dry climates, adiabatic cooling can act as a highly energy-efficient alternative or complementary solution to mechanical cooling and can significantly contribute to the reduction of chiller power.

The conducted analyses show that the application of adiabatic cooling technologies in HVAC systems is appropriate in terms of energy saving and environmental sustainability.

Keywords: cooling process, refrigerants, adiabatic cooling systems, cooling capacity, compressor, air conditioning, chiller systems.

I. GİRİŞ

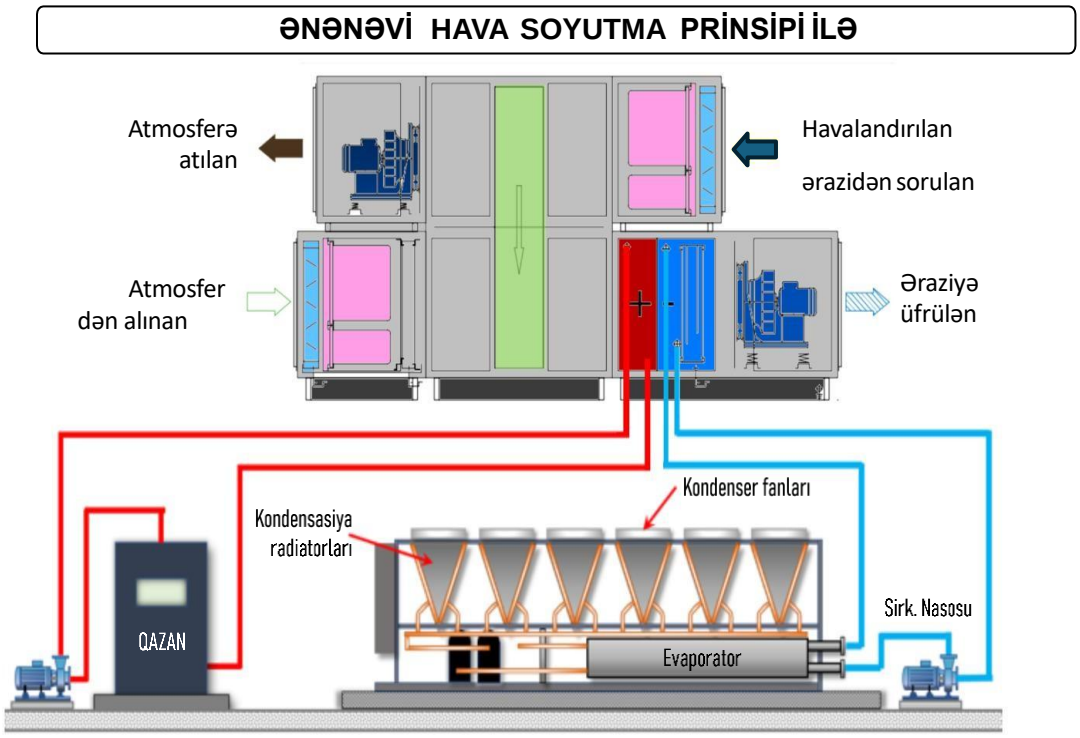
Müasir dövrdə HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) sistemləri binaların ümumi enerji sərfiyyatında ən böyük paya malik mühəndis sistemlərindən biridir. Beynəl-xalq statistik məlumatlara əsasən inzibati və kommersiya binalarında enerji istehlakının 40–60%-i məhz iqlimləndirmə sistemlərinin payına düşür. Xüsusilə yay aylarında soyutma yükünün artması elektrik şəbəkəsində pik güc tələbinin yüksəlməsinə səbəb olur.

Karbon emissiyalarının azaldılması ilə bağlı qlobal tələblər, Avropa İttifaqının enerji direktivləri və davamlı tikinti standartları (LEED, BREEAM və s.) mexaniki soyutma sistemlərinə alternativ enerji səmərəli texnologiyaların tətbiqini zəruri etmişdir [1].

II. TƏDQİQATIN METODOLOGİYASI

Ənənəvi kompressor əsaslı çiller sistemləri yüksək elektrik enerjisi sərf edir və aşağıdakı məhdudiyyətlərə malikdir:

- Yüksək ilkin investisiya
- Yüksək pik elektrik gücü tələbi
- Kompressor aşınması və texniki xidmət xərcləri
- CO_2 emissiyası



Şəkil 1

Bu səbəbdən evaporativ (adiabatik) soyutma texnologiyaları mexaniki soyutmaya alternativ və ya onu tamamlayan səmərəli həll kimi aktuallaşmışdır. Şəkil 1-də ənənəvi sistemi üçün hava ilə soyutma prinsipinin sxemi verilmişdir.

Daha sonra isə müqayisə məqsədilə həm ənənəvi, həm də adiabatik soyutma ilə olan enerji və maliyyə hesabatlarını görmək mümkündür.

III. ALINAN NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

Bu təsvir mərkəzi havalandırma və kondisioner sisteminin (HVAC) iş prinsipini göstərən texniki bir sxemdir. Şəkildə binanın havasını təmizləyən, isidən və ya soyudan Havalandırma Qurğusu **(AHU)**, həmçinin onu enerji ilə təmin edən qazanxana və soyutma sistemləri əks olunub.

Gördüklərimizi əsas hissələrə bölərək izah edək:

1. Havalandırma Qurğusu (Yuxarıdakı böyük blok)

Bu hissə binaya daxil olan və çıxan havanın dövriyyəsini idarə edir:

Atmosferdən alınan təmiz hava - **s**ol tərəfdən qurğuya daxil olur və filtrlərdən (çəhrayı rəngli hissələr) keçərək təmizlənir.

Havalandırılan ərazidən sorulan hava - binanın içindən gələn köhnə hava sağ yuxarıdan daxil olur.

İstilik bərpası (Green section) - ortadakı yaşıl hissə, ehtimal ki, rekuperatordur. Burada çölə atılan isti hava ilə içəri girən soyuq hava (və ya əksinə) bir-birinə qarışmadan istilik mübadiləsi edir ki, enerji qənaəti təmin olunsun [2].

İsidici və Soyuducu batareyalar:

- Qırmızı (+)**:** - qazandan gələn isti su ilə havanı isidir.
- Göy (-): - çillerdən gələn soyuq su ilə havanı soyudur.

Əraziyə üfürülən hava**:** - artıq istənilən temperatura gətirilmiş təmiz hava sağ tərəfdən binaya ötü-rülür.

2. İstilik Sistemi (Sol aşağı)

Qazan: - **s**uyu isidən mərkəzi sistemdir.

Sirkulyasiya nasosu: - isti suyu qazandan havalandırma qurğusundakı qırmızı batareyaya ötürür.

3. Soyutma Sistemi (Çiller - Sağ aşağı)

Bu bölmə yay aylarında havanı soyutmaq üçün istifadə olunur:

Evaporator: - soyuq suyun istehsal olunduğu yerdir. Buradakı nasos (Sirk. nasosu) soyuq suyu havalandırma qurğusuna göndərir.

Kondensasiya radiatorları və fanları: - sistemdəki artıq istiliyi atmosferə atmaq üçün istifadə olunan V-şəkilli radiatorlar və üstündəki ventilyatorlardır.

Sistem belə işləyir: Qazan və ya çiller suyu isidir/soyudur, nasoslar bu suyu havalandırma qurğusuna daşıyır, qurğu isə çöldən aldığı təmiz havanı bu su vasitəsilə lazımi temperatura gətirib binanın daxilinə üfürür.

IV. HAVALANDIRMADA DIRECT (BİRBAŞA) ADİABATİK SOYUTMA

Adiabatik soyutmalı AHU (Air Handling Unit) – havanı soyutmaq üçün mexaniki kompressor (çiller) əvəzinə və ya ona dəstək olaraq suyun buxarlanması prinsipindən istifadə edən hava emal qurğusudur. Bu tip sistemlər xüsusilə enerji səmərəliliyi yüksək və quru iqlim şəraitində çox effektiv işləyir [3].

Adiabatik soyutmanın əsas prinsipi

Adiabatik proses – istilik mübadiləsi olmadan (xarici mühitlə istilik ötürülmədən) baş verən prosesdir. Burada əsas mexanizm → su buxarlanarkən ətraf havadan gizli istilik (latent heat) alır → hava soyuyur. Niyə su buxarlananda hava soyuyur? → Təsəvvür et ki, əlin islanıb, külək əsir və bir neçə saniyə sonra əlində sərinlik hiss edirsən.

Bu nədir? → adiabatik soyutma.

Çünki, suyun maye haldan buxara keçməsi üçün enerji lazımdır. O enerjini sənin dərindən (və ya havadan) alır və enerji alınanda temperatur düşür.

Enerji hara gedir? →Su buxarlanmaq üçün istilik "verir". Bu istiliyə gizli istilik (latent heat) deyilir.

Yəni temperatur ölçü cihazında birbaşa görünmür, amma enerji sərf olunur.

AHU-da nə baş verir? →

1. Çöldən isti və quru hava gəlir (narıncı ox);
2. Hava nəmli pad üzərindən keçir;
3. Su qarışım otağı daxilində buxarlanır, çünki qarışım otağın temperaturu suyun temperaturundan çoxdur;
4. Havanın temperaturu düşür.



Sadə rəqəmsal nümunə
Tutaq ki: Çöl havası: 32°C, 30% nisbi rütubət
Adiabatik soyutmadan sonra: 20°C, 80% nisbi rütubət
Temperatur düşdü, amma nisbi rütubət artdı.
Ən sadə cümlə ilə:
Adiabatik soyutma = suyun buxarlanması hesabına havanın soyuması.

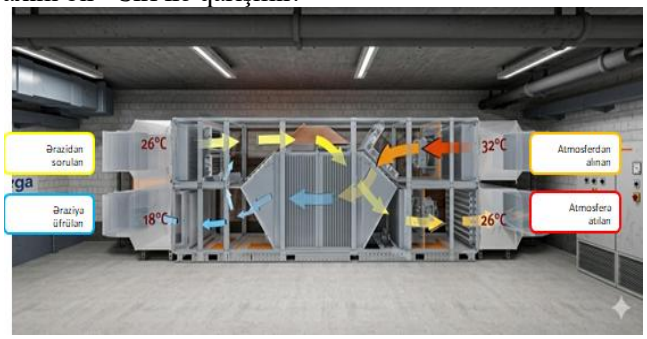
V. HAVALANDIRMADA INDIRECT ADİABATİK SOYUTMA

Bu üsul birbaşa evaporativ soyutmadan fərqli yanaşmadır. Burada iki hava axını bir-biri ilə qarışmır [4].
Xarici hava fan vasitəsilə sistemə daxil olur və buxarlandırıcı nəmləndiricidən (evaporative humidifier) və AHU-nun istilik bərpa qurğusundan (HE – Heat Exchanger) keçirilir. Daha sonra bu hava tamamilə çölə atılır - yəni otaq havası ilə qarışmır. Eyni zamanda otaqdan qayıdan hava (return air) da istilik bərpa qurğusundan keçirilir.
Əgər buxarlandırıcıdan keçmiş xarici hava otaq temperaturundan daha soyuqdursa, o zaman istilik dəyişdirici vasitəsilə otaqdan gələn havanı soyutmaq mümkündür. Bu soyudulmuş hava yenidən otağa verilir.
Bu metodun üstünlüyü ondan ibarətdir ki, içəri üfürülən havaya (supply air) rütubət əlavə edilmir. Çünki nəmləndirilmiş xarici hava otağa daxil olmur, birbaşa xaricə atılır. Beləliklə, hava soyuyur, amma otaq havası həddindən artıq nəmlənmir.
İndi bunu daha aydın başa düşək

Sistem necə işləyir? (addım-addım)

1. Xarici hava sistemə daxil olur;
2. Bu hava su ilə təmas edir və soyuyur (rütubət artır);
3. Bu soyumuş hava istilik dəyişdiricidən keçir (Heat Exchanger);
4. Otaqdan sorulan hava bu istilik dəyişdiricinin digər tərəfində axır;
5. Soyuq enerji otaqdan sorulan havaya ötürülür;
6. Otaqdan qayıdan hava soyuyur və yenidən otağa verilir;
7. Nəmlənmiş xarici hava isə çölə atılır.

Ən vacib məqam: İki hava axını bir - biri ilə qarışmır.



VI. TƏDQİQATDAN ALINAN YEKUN NƏTİCƏLƏR

Cədvəl 1. Dırect & ındırect adiabatik soyutma sistemlərının müqayisəsi

Direct	**Indirect**
Hava həm soyuyur, həm nəmlənir	Hava soyuyur, amma nəmlənmir
Sadə və ucuz	Daha kompleks
Yalnız quru iqlim üçün ideal	Daha geniş iqlim aralığında işləyir

Bakı üçün bu niyə maraqlıdır?

Bakı yayda: 35°C, 30–40% NR xarici hava dəyərlərinə malikdir. Birbaşa evaporativ sistem-də: NR 70–80%-ə qalxa bilər,

Dolayı sistemdə isə: Temperatur düşür və NR demək olar dəyişmir [5].

Bu səbəbdən dolayı sistemlər ofis, villa, otel, ticarət mərkəzləri üçün daha uyğundur.

Məqalədə hava miqdarı, soyutma gücü və s. məlumatlar verilmişdir. Həmin məlumatlar əsasında 3 sistemin müqayisəli cədvəli aşağıdakı kimidir.

Cədvəl 2. Araşdirilan sistemlərin enerji sərfiyyatı cədvəli

Parametr	**Çiller + AHU**	**Direct Evaporative**	**Indirect Evaporative**
Təxmini Enerji Sərfi (kW)	~70 - 85 kW	~8 - 12 kW	~15 - 20 kW
Daxili Rütubət (NR %)	50% (Sabit)	80% + (Yüksək)	50-60% (Optimal)
Su Sərfi	Yoxdur (Qapalı dövrə)	Yüksək	Orta-Yüksək
İlkin İnvestisiya	Yüksək	Aşağı	Orta
Baxım ehtiyacı	Texniki mürəkkəb	Sadə (Filter/Panel)	Orta (İstilikdəyişdirici)

Bu tədqiqat gələcək layihələrdə daha səmərəli və ekoloji cəhətdən dayanıqlı iqlimləndirmə sis-temlərinin tətbiqi üçün elmi və praktiki əsas yaradır.

ƏDƏBİYYAT

1. Kadir İsa, Ayhan Onat. "İklimlendirme ve Soğutma Sistemlərində Enerji Verimliliyi". FRİTERM. Cild 2., 452 səh., İstanbul, 2017.
2. Demenev A.V. Method of instrumental monitoring of noise level created by selfacting valves of a hermetic compressor // International Scientific Research Journal. – No. 06 (60) Part 3. – p. 118 -123, 2017.
3. A.B.Bakshiev. Development of a mathematical experiment method for research and optimization of process parameters in the system of a hermetic piston two-cylinder com-pressor // Journal of Azerbaican Technical University. Energetics, Technics, Mechanics + Control. "ELEKTRO" Scientific - İndustrial Journal. Volume 13, №1, p.45-52, Baku, 2023.
4. A.B.Bakshiev, A.H.Quliyev, O.H.Mirzəyev, N.A.Bakshıyev. Effect of coolıng hermetic compressor on noıse reductıon ın a domestıc refrıgerator // Journal of Baku Engineering University. Mechanical and industrial engineering.Volume 8, №2, p.79 - 86, Xırdalan, 2024.
5. M.M.Bashirov, A.B.Bakshiev, N.D.Nabiyev, N.S.Rzayev, A.M.Namazova. Experimen-tal study of density and thermal coefficients of geothermal water under high pressure and temperature conditions // Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE), Issue 65, Vol. 17, No.4, pp.197 - 204, 2025.

NƏQLİYYAT VƏ LOGİSTİK PROSESLƏRİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ

KƏND TƏSƏRRÜFATI YÜKLƏRİNİN SAXLANMASINI TƏMİN EDƏN TƏDBİRLƏR

Quluzadə Səbuhi
Logistika və nəqliyyat
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik
Bakı, Azərbaycan
squluzade7@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu məqalədə kənd təsərrüfatı yüklərinin saxlanmasını təmin edən əsas elmi prinsiplər və müasir texnoloji tədbirlər kompleks şəkildə təhlil edilmişdir. Məhsulların saxlanmasında temperatur, rütubət, qaz mühiti və mikrobioloji proseslərin qarşılıqlı təsiri elmi əsaslarla izah olunmuşdur. Soyuq zəncir logistikasının kənd təsərrüfatı məhsullarının keyfiyyətinin və təhlükəsizliyinin qorunmasında rolu geniş şəkildə araşdırılmış, xüsusilə tez xarab olan məhsullar üçün optimal saxlama şəraitinin əhəmiyyəti vurğulanmışdır. Məqalədə müasir qablaşdırma texnologiyaları – modifikasiya olunmuş atmosfer, vakuum, aktiv və ağıllı qablaşdırma üsulları – ayrı-ayrılıqda təhlil edilmişdir. Eyni zamanda Azərbaycanda bu sahədə mövcud vəziyyət, problemlər və inkişaf perspektivləri qiymətləndirilmişdir. Tədqiqat göstərir ki, elmi əsaslara söykənən saxlama və qablaşdırma metodları məhsul itkisinin azaldılmasına, bazar sabitliyinin qorunmasına və ölkənin ərzaq təhlükəsizliyinin gücləndirilməsinə mühüm töhfə verir.
Açar sözlər: Kənd təsərrüfatı məhsulları, soyuq zəncir logistikası, saxlama texnologiyaları, modifikasiya olunmuş atmosfer qablaşdırması, qida təhlükəsizliyi.

I. GİRİŞ

Kənd təsərrüfatı məhsulları strateji əhəmiyyətə malik olmaqla yanaşı, saxlanma və daşınma mərhələlərində yüksək risk qrupuna aid edilir. Məhsulların düzgün saxlanmaması onların tez xarab olmasına, keyfiyyət itkisinə və ciddi iqtisadi zərərlərə səbəb olur. Xüsusilə tez xarab olan məhsullar üçün elmi əsaslara söykənən saxlama, soyuq zəncir və qablaşdırma texnologiyalarının tətbiqi zəruri hesab olunur. Müasir dövrdə kənd təsərrüfatı yüklərinin saxlanması yalnız texniki məsələ deyil, həm də ərzaq təhlükəsizliyi və bazar stabilliyi baxımından vacib strateji istiqamətə çevrilmişdir. Bu məqalənin məqsədi kənd təsərrüfatı məhsullarının saxlanmasını təmin edən əsas tədbirləri elmi və praktik aspektdən təhlil etməkdir.

II. KƏND TƏSƏRRÜFATI MƏHSULLARININ SAXLANMASININ ELMİ ƏSASLARI VƏ PRİNSİPLƏRİ

Kənd təsərrüfatı məhsullarının saxlanması mikrobioloji, biokimyəvi və fiziki proseslərin qarşılıqlı təsirindən asılıdır. Məhsulların saxlanma müddətində keyfiyyətinin qorunması üçün müəyyən elmi prinsiplər tətbiq olunur.

Temperaturun optimallaşdırılması: Temperaturun düzgün idarə olunması mikroorqanizmlərin fəaliyyət sürətini tənzimləyir və fermentativ reaksiyaların qarşısını alır. Soyuq zəncirin pozulması məhsulların xarab olmasına səbəb ola bilər.

Nəmlik səviyyəsinin tənzimlənməsi: Artıq rütubət göbələk və bakteriyaların inkişafını sürətləndirir. Quru mühit isə məhsulun fiziki strukturunu qoruyur.

Qablaşdırma və qaz mühitinin idarə olunması: Modifikasiya olunmuş atmosfer (Modified Atmosphere Packaging – MAP) oksigen, karbon dioksid və azot konsentrasiyalarını tənzimləyərək məhsulun oksidləşməsini yavaşladır. Qablaşdırma texnologiyaları saxlamanın səmərəliliyində mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Müasir üsullar – vakuum qablaşdırma, modifikasiya olunmuş atmosfer və bioaktiv örtüklər – məhsulların ömrünü uzadır və qida təhlükəsizliyini təmin edir. Ənənəvi saxlama üsulları ilə müqayisədə bu metodlar həm mikrobioloji, həm də sensor keyfiyyətlərin qorunmasına imkan verir.

Antimikrobiyal və konservant metodlar: Təbii və ya sintetik maddələr mikroorqanizmlərin çoxalmasını məhdudlaşdırır və məhsulun saxlanma müddətini artırır. Bu prinsiplərə əsaslanaraq müasir saxlama

texnologiyaları inkişaf etdirilmiş və tətbiq olunur. Kənd təsərrüfatı məhsullarının saxlanması ərzaq təhlükəsizliyi, məhsul itkisinin azaldılması, mövsümi asılılığın minimuma endirilməsi və bazar stabilliyinin qorunması baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır. Saxlama yalnız məhsulun fiziki qorunması deyil, həm də onun keyfiyyət və qida dəyərinin optimal səviyyədə qorunması üçün elmi əsaslara söykənən vacib texnoloji mərhələdir.

Soyuq zəncir logistikasının inkişaf etdirilməsi

Saxlamanın elmi prinsipləri biokimya, mikrobiologiya, fizika və mühəndislik nəzəriyyələrinə əsaslanır. Məhsulların tərkibindəki nəmlik, tənəffüs sürəti, mikrobioloji fəaliyyət və temperaturun qarşılıqlı təsiri onların saxlanma müddətinə birbaşa təsir edir. Məsələn, meyvə və tərəvəzlər yüksək tənəffüs və nəm səviyyəsi səbəbindən qısa müddətdə xarab olurlar. Belə məhsullar üçün optimal rütubət (85–95%) və aşağı temperatur (0–4°C) şəraitinin təmin olunması vacibdir. Bu göstəricilər məhsulun daxili və xarici quruluşunun qorunmasına və bioloji pozulmaların qarşısının alınmasına kömək edir.



Şəkil 1. Soyuq anbar (daxildən)

Başqa mühüm prinsip məhsulun fizioloji və biokimyəvi xüsusiyyətlərinə uyğun mühitin yaradılmasıdır. Saxlama zamanı məhsul "canlı orqanizm" kimi tənəffüs prosesinə davam edir. Bu səbəbdən oksigen və karbon qazının səviyyəsi, ventilyasiya dərəcəsi və qablaşdırma materiallarının keçiriciliyi kimi parametrlər diqqətlə tənzimlənməlidir.

Kənd təsərrüfatı məhsullarının saxlanması üçün məhsul növünə uyğun fərqli yanaşmalar tələb olunur. Məsələn, taxıl məhsulları üçün əsas diqqət nəmlik və zərərvericilərə qarşı qorunmadadır, süd məhsulları üçün isə soyudulma və bakterial nəzarət prioritet təşkil edir. Meyvə və tərəvəzlərdə isə optimal qaz tərkibli anbarlar və şok soyutma metodları daha səmərəli hesab olunur.

Elmi əsaslara dayanan saxlanma metodları kənd təsərrüfatı sektorunda istehsalın optimallaşdırılmasına, məhsul itkisinin azaldılmasına və bazar təklifinin sabitliyinin qorunmasına imkan verir. Bu yanaşmalar yalnız məhsulun iqtisadi dəyərini artırmaqla kifayətlənmir, həm də ölkənin ərzaq təhlükəsizliyi strategiyasına mühüm töhfə verir.

III. MÜASİR QABLAŞDIRMA TEXNOLOGİYALARI VƏ ONLARIN TƏTBİQİ

Soyuq zəncir logistikasının təşkili kənd təsərrüfatı məhsullarının keyfiyyətinin və təhlükəsizliyinin qorunmasında ən vacib tədbirdir. Soyuq zəncir, məhsulun istehsaldan son istehlakçıya qədər fasiləsiz şəkildə aşağı temperaturlarda saxlanması və daşınmasını əhatə edir.

Soyuq zəncir logistikası kənd təsərrüfatı məhsullarının toplanması, emalı, saxlanması, daşınması və satış mərhələlərində temperatur rejiminin nəzarətdə saxlanmasını təmin edən kompleks sistemdir. Bu sistem xüsusilə tez xarab olan məhsullar – süd, ət, meyvə və tərəvəz, balıq və yumurta üçün əvəzolunmazdır. Soyuq zəncirin fasiləsizliyi məhsulun keyfiyyətini və təhlükəsizliyini birbaşa qorumaq üçün əsas şərtdir.

Soyuq zəncirin inkişaf etdirilməsi kənd təsərrüfatında məhsul itkisinin azaldılması, qida təhlükəsizliyinin təmin olunması və ixrac potensialının artırılması baxımından vacibdir. Azərbaycanda bu sahədə infrastrukturun

modernləşdirilməsi və müasir texnologiyaların tətbiqi son illərdə dövlət siyasətinin prioritet istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir.

Lakin regionlarda hələ də müəyyən çatışmazlıqlar mövcuddur: soyuducu anbarların azlığı, daşınma vasitələrinin məhdudluğu və ixtisaslı kadr potensialının yetərsizliyi.

Soyuq zəncir logistikası məhsulların daşınması zamanı istənilən temperatur şəraitində qorunmasını təmin edir. Məsələn, süd məhsulları üçün +2°C–+6°C, donmuş ət üçün isə –18°C-dən aşağı temperatur tələb olunur. Bu parametrlərin hər hansı mərhələdə pozulması məhsulun mikrobioloji təhlükəsizliyini zəiflədir və xarab olma riskini artırır.



Şəkil 2. Soyuq anbar (xaricdən)

İnkişaf etmiş soyuq zəncir sistemləri rəqəmsal nəzarət və avtomatlaşdırılmış monitorinq texnologiyaları ilə təchiz edilir. Bu sistemlər vasitəsilə temperatur, rütubət və zərbə kimi göstəricilər real vaxt rejimində izlənir və hər hansı anormallıq baş verərsə dərhal müdaxilə olunur. Azərbaycanda bu tip texnologiyaların tətbiqi hələ ilkin mərhələdədir, lakin dövlət dəstəyi ilə bir sıra layihələr reallaşdırılır.

Soyuq zəncirin inkişafı yalnız daxili bazar üçün deyil, həm də ixrac üçün əhəmiyyətlidir. Xüsusilə Rusiya, Körfəz ölkələri və Avropa bazarlarına çıxış üçün məhsulun sertifikatlı şəraitdə daşınması tələb olunur. Bu isə yalnız beynəlxalq standartlara uyğun, fasiləsiz və səmərəli soyuq zəncir infrastrukturu vasitəsilə mümkündür. Bundan əlavə, logistika mərkəzlərində məhsulların ilkin emalı və çeşidlənməsi ilə birgə tətbiq olunan kombinə olunmuş saxlama sistemləri də məhsulun keyfiyyətinin qorunmasına töhfə verir. Bu yanaşma yalnız fiziki saxlamanı deyil, həm də məhsulun dəyər zəncirində effektiv idarə olunmasını təmin edir.

Qablaşdırma kənd təsərrüfatı məhsullarının saxlanmasında mühüm rol oynayır və məhsulun xarab olma riskini minimuma endirir. Məhsulların saxlanması və daşınmasında qablaşdırma texnologiyaları onların keyfiyyətinin qorunması, ömrünün uzadılması və xarab olma hallarının azaldılması baxımından əhəmiyyətlidir. Müasir dövrdə qablaşdırma yalnız məhsulun fiziki qorunmasını təmin etmir, həm də təhlükəsizlik, izlənilə bilənlik, marketinq dəyəri və ekoloji dayanıqlılıq baxımından çoxfunksiyalı texnoloji vasitəyə çevrilmişdir.

Müasir qablaşdırma texnologiyalarının əsas məqsədi məhsulu xarici təsirlərdən, mikrobioloji çirklənmədən, fiziki zədələnmələrdən, oksigen və nəmdən qoruyaraq onun bioloji və sensor xüsusiyyətlərini mümkün qədər qorumaqdır. Xüsusilə tez xarab olan məhsullar – süd, ət, tərəvəz və meyvələr üçün bu texnologiyalar xarab olma riskini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

Ən geniş tətbiq olunan texnologiyalardan biri modifikasiya olunmuş atmosfer qablaşdırmasıdır (MAP – Modified Atmosphere Packaging). Bu üsulda qabın içindəki hava tərkibi dəyişdirilir (azot, karbon dioksid, az oksigen) və məhsulun tənəffüs sürəti ilə mikrobların inkişafı yavaşladılır. MAP texnologiyası meyvə-tərəvəz, ət və süd məhsullarında effektiv nəticələr göstərir və saxlanma müddətini 2–3 dəfə artırır.



Şəkil 3. MAP texnologiyası

Vakuum qablaşdırma ikinci əhəmiyyətli üsuldur. Burada məhsul ətrafındakı hava çıxarılır və anaerob mühitdə saxlanır. Bu metod məhsulu oksidləşmədən və aerobil mikroorqanizmlərin təsirindən qoruyur. Əsasən ət və süd məhsullarında geniş istifadə olunur.

Aktiv qablaşdırma isə innovativ texnologiyalar arasında sayılır. Bu üsulda qablaşdırma materialı məhsulla qarşılıqlı təsir göstərir, ya mikrobları məhv edir, ya da nəmliliyi tənzimləyir. Məsələn, bəzi qablaşdırmalara əlavə olunan antimikrobial maddələr məhsulun daha uzun müddət təzə qalmasına imkan verir.

CƏDVƏL 1. QABLAŞDIRMA SƏNAYESİNDƏ DƏYİŞİKLİKLƏR VƏ İNNOVASİYALAR (2020-2025

İl	**Ümumi qablaşdırma istehsalı (min ton)**	**Bioloji parçalana bilən qablaşdır-maların payı (%)**	**Plastik qablaşdırma (%)**
2020	18	5	70
2021	20	6	68
2022	22	8	65
2023	25	10	60
2024	28	13	57
2025	30	15	55

Bu rəqəmlər həm qablaşdırmada ekoloji yönümlü materialların artmaqda olduğunu, həm də plastikdən asılılığın tədricən azaldığını göstərir.

Ağıllı qablaşdırma texnologiyaları (Smart Packaging) məhsulun vəziyyətini real vaxt rejimində izləməyə imkan yaradır. Bu tip qablaşdırmalarda sensorlar vasitəsilə temperatur, qaz konsentrasiyası və ya xarab olma göstəriciləri barədə məlumat toplanır və istehlakçıya və ya logistika menecerlərinə çatdırılır. Azərbaycanda bu texnologiyaların tətbiqi hələ məhduddur, lakin beynəlxalq bazarlara çıxış üçün gələcəkdə önəmli olacaq.

Azərbaycan şəraitində müasir qablaşdırma texnologiyalarının tətbiqi bəzi çətinliklərlə müşayiət olunur (texniki infrastrukturun məhdudluğu, yüksək maya dəyəri, kadr hazırlığı və s.), lakin dövlət və özəl sektor arasında əməkdaşlıq artır. Qida Təhlükəsizliyi Agentliyi (AQTA) və müvafiq kənd təsərrüfatı müəssisələri bu texnologiyaların tətbiqini təşviq edən proqramlar həyata keçirirlər. Hələ ki, tətbiq məhdud olsa da, qida təhlükəsizliyi və ixrac potensialının artırılması baxımından dövlət dəstəyi vacibdir.



Şəkil 4. Azərbaycan Qida Təhlükəsizliyi Agentliyi (AQTA)

IV. NƏTİCƏ

Apardığım tədqiqata əsasən, kənd təsərrüfatı məhsullarının saxlanması çoxşaxəli və elmi əsaslara söykənən kompleks proses kimi çıxış edir. Məhsulların saxlanma müddətində keyfiyyətinin qorunması temperatur, rütubət, qaz mühiti və mikrobioloji proseslərin düzgün idarə olunmasından birbaşa asılıdır. Bu amillərin optimal səviyyədə tənzimlənməsi məhsulun bioloji və fiziki xüsusiyyətlərinin qorunmasına imkan verir. Xüsusilə tez xarab olan məhsullar üçün aşağı temperatur və yüksək rütubət rejiminin təmin olunması mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Soyuq zəncir logistikasının fasiləsiz fəaliyyəti məhsul təhlükəsizliyinin təmin edilməsinin əsas şərtlərindən biridir. Soyuq zəncirin istənilən mərhələdə pozulması məhsulların keyfiyyət itkisinə və mikrobioloji risklərin artmasına səbəb olur. Bu baxımdan, müasir soyuducu anbarların və nəqliyyat sistemlərinin tətbiqi vacib hesab olunur. Azərbaycanda bu sahədə müəyyən inkişaf müşahidə olunsa da, regionlar üzrə infrastrukturun qeyri-bərabərliyi əsas problemlərdən biri olaraq qalır.

Eyni zamanda, müasir qablaşdırma texnologiyalarının tətbiqi məhsulların saxlanma müddətinin uzadılmasında mühüm rol oynayır. Modifikasiya olunmuş atmosfer, vakuum və aktiv qablaşdırma üsulları məhsulun xarici təsirlərdən qorunmasını təmin edir. Bu texnologiyalar mikrobioloji prosesləri zəiflədir və məhsulun keyfiyyət göstəricilərini daha uzun müddət sabit saxlayır. Ağıllı qablaşdırma sistemləri isə real vaxt rejimində nəzarət imkanları yaradaraq logistika proseslərinin səmərəliliyini artırır.

ƏDƏBİYYAT

1. Azərbaycan Respublikasının Qida Təhlükəsizliyi Agentliyi (AQTA). Qida təhlükəsizliyi üzrə metodik göstərişlər. Bakı, 2023, s. 15–28.
2. Azərbaycan Respublikasının Kənd Təsərrüfatı Nazirliyi. Aqrar sahədə innovativ texnologiyalar. Bakı, 2022, s. 40–55.
3. Əliyev, R. Kənd təsərrüfatı məhsullarının saxlanması və emalı texnologiyaları. Bakı, 2021, s. 62–78.
4. Məmmədov, S. Soyuq zəncir logistikasının təşkili. Bakı, 2022, s. 33–47.
5. Həsənov, E. Qablaşdırma texnologiyaları və qida təhlükəsizliyi. Bakı, 2020, s. 50–66.
6. Azərbaycan Respublikası Qida Təhlükəsizliyi Agentliyi (AQTA). Rəsmi hesabatlar və metodik göstərişlər. (https://aqta.gov.az/s)
7. FAO. (2011). Guide to Cold Chain Development.
8. FAO. (2019). Post-harvest management of fruits and vegetables.
9. Singh, R. P.,&Heldman, D. R. (2014). Introduction to Food Engineering. Academic Press
10. Robertson, G. L. (2016). Food Packaging: Principles and Practice. CRC Press.
11. Yam, K. L., Takhistov, P. T.,&Miltz, J. (2005). Intelligent packaging. Journal of Food Science.
12. Kader, A. A. (2002). Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California. (https://www.fao.org/4/ae075e/ae075e00.htm)

BEYNƏLXALQ NƏQLİYYAT DƏHLİZLƏRİ KONTEKSTİNDƏ AZƏRBAYCANDA LOGİSTİK MƏRKƏZLƏRİN FƏALİYYƏTİNİN ƏHƏMİYYƏTİ

Mirhəmid Bağırov
Logistika və nəqliyyat
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik
Bakı, Azərbaycan
mibagirov@beu.edu.az

Şöhrət Əliyev
Logistika və nəqliyyat
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik
Bakı, Azərbaycan
seliyev11@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu yazıda beynəlxalq nəqliyyat dəhlizləri kontekstində Azərbaycanın logistika sisteminin formalaşması və inkişaf xüsusiyyətləri təhlil edilmişdir. Xüsusilə Transxəzər Şərq–Qərb (Orta dəhliz) və Şimal–Cənub beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin ölkənin tranzit potensialına təsiri araşdırılmışdır. Tədqiqat çərçivəsində Azərbaycanın nəqliyyat dəhlizləri üzrə yük dövriyyəsi statistik göstəricilərlə təhlil edilmiş və son illərdə yük daşımalarında artım dinamikası müəyyən olunmuşdur. Eyni zamanda, logistik mərkəzlərin bu prosesdə oynadığı rol araşdırılmışdır. Tədqiqatın praktiki hissəsində Abşeron Logistika Mərkəzinin fəaliyyət xüsusiyyətləri, infrastrukturu və giriş-çıxış proseslərinin təşkili müşahidə əsasında analiz edilmişdir.
Açar sözlər: logistika mərkəzləri, beynəlxalq nəqliyyat dəhlizləri, Orta dəhliz (Transxəzər Şərq–Qərb dəhlizi), Şimal–Cənub dəhlizi, Zəngəzur dəhlizi, yük daşımaları, tranzit potensial, multimodal nəqliyyat.
Abstract: This study analyzes the formation and development characteristics of Azerbaijan's logistics system within the context of international transport corridors. Particular attention is given to the Trans-Caspian East–West (Middle Corridor) and the North–South international transport corridor, and their impact on the country's transit potential is examined. Within the framework of the research, cargo turnover across Azerbaijan's transport corridors has been analyzed based on statistical indicators, and the growth dynamics of freight transportation in recent years have been identified. At the same time, the role of logistics centers in this process has been considered. In the practical part of the study, the operational features, infrastructure, and the organization of entry and exit processes of the Absheron Logistics Center have been analyzed based on observational data.
Keywords: logistics centers, international transport corridors, Middle Corridor, North–South Corridor, Zangezur corridor, cargo transportation, transit potential, multimodal transport.

I. GİRİŞ

Beynəlxalq nəqliyyat dəhlizləri müasir logistika sisteminin əsas elementlərindən biri hesab olunur və dəhlizlər vasitəsilə qlobal miqyasda yük axınlarının təşkili həyata keçirilir. Xüsusilə son illərdə dünya ticarətində baş verən dəyişikliklər, yeni bazarların formalaşması və alternativ marşrutlara olan tələbat bu dəhlizlərin əhəmiyyətini daha da artırmışdır. Bu baxımdan Azərbaycan Respublikası coğrafi mövqeyinə görə Avropa ilə Asiya arasında yerləşdiyi üçün beynəlxalq yük daşımalarında mühüm tranzit ölkə kimi çıxış edir. Ölkəmiz üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edən əsas beynəlxalq dəhlizlər Transxəzər Şərq–Qərb (Orta dəhliz) və Şimal–Cənub beynəlxalq nəqliyyat dəhlizləridir.

Bununla yanaşı, region üçün strateji əhəmiyyət daşıyan Zəngəzur dəhlizi layihəsi də Azərbaycanın logistika sistemində yeni imkanlar yaradır. Bu dəhliz vasitəsilə Azərbaycanın əsas ərazisi ilə Naxçıvan Muxtar Respublikası arasında birbaşa nəqliyyat əlaqəsinin yaradılması planlaşdırılır.

Bu halda Logistik mərkəzlər beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin ayrılmaz tərkib hissəsi kimi çıxış edir. Logistik mərkəzlərin əsas fəaliyyəti yüklərin qəbulu, saxlanılması, emalı və paylanması proseslərini vahid məkanda

təşkil etməklə yanaşı, müxtəlif nəqliyyat növləri arasında əlaqəni də təmin etməkdir. Nəticə etibarı ilə, multimodal daşımaların effektiv şəkildə həyata keçirilməsinə imkan yaratmış olur. Bu işdə əsas məqsəd beynəlxalq nəqliyyat dəhlizləri kontekstində Azərbaycanda fəaliyyət göstərən logistika mərkəzlərinin rolunu və əhəmiyyətini araşdırmaqdır. Əsas araşdırma komponenti kimi Abşeron Logistika mərkəzi götürülmüşdür.

II. AZƏRBAYCANDA BEYNƏLXALQ NƏQLİYYAT DƏHLİZLƏRİ ÜZRƏ YÜK DAŞIMALARININ ANALİZİ VƏ STATİSTİK QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Azərbaycan Respublikası coğrafi mövqeyi baxımından müxtəlif beynəlxalq ticarət axınlarının vacib iştirakçılarından biridir. Azərbaycanın xüsusilə "TransXəzər Şərq–Qərb" Beynəlxalq Nəqliyyat Dəhlizi və Şimal-Cənub Nəqliyyat Dəhlizinin tərkib hissəsi olması ona vacib geosiyasi və iqtisadi status qazandırır.

Belə ki, Azərbaycan Respublikasının ərazisindən keçməklə yüklər "TransXəzər Şərq–Qərb" Beynəlxalq Nəqliyyat Dəhlizi ilə Çindən başlayaraq Qazağıstan, Azərbaycan, Gürcüstan, Türkiyə və Avropa ölkələri arasında (şəkil 1).



Şəkil 1. "TransXəzər Şərq–Qərb" Beynəlxalq Nəqliyyat Dəhlizi

Şimal-Cənub Nəqliyyat Dəhlizi ilə Hindistandan başlayaraq İran, Azərbaycan və Rusiya arasında (şəkil 2) yük axınlarının hərəkətində iştirakçı rolu oynayır.



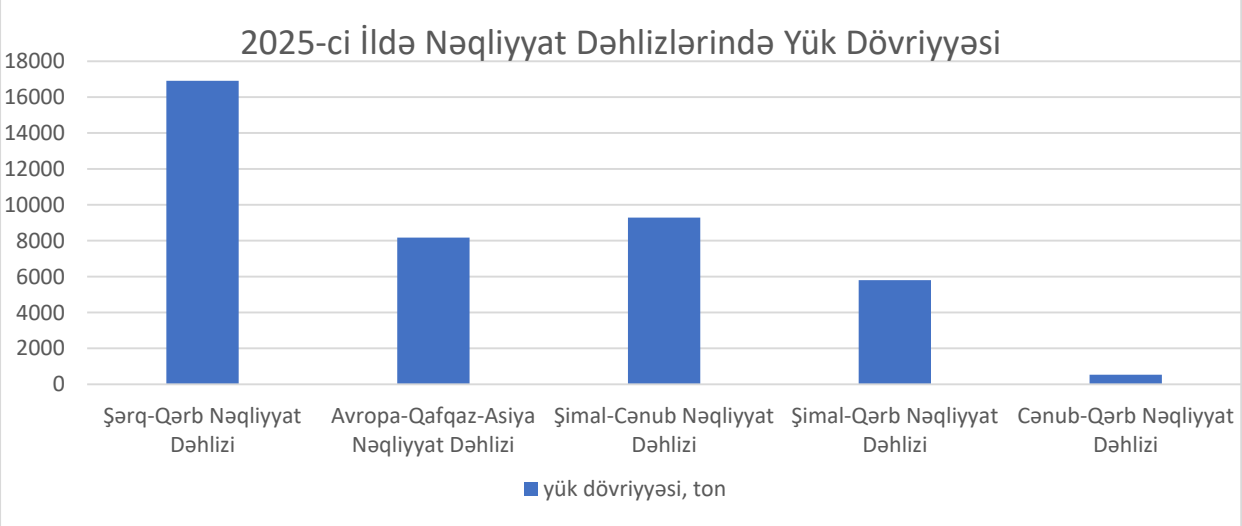
Şəkil 2. Şimal-Cənub Nəqliyyat Dəhlizi

Əlavə olaraq, qeyd olunan beynəlxalq nəqliyyat dəhlizləri ilə yanaşı, son dövrlərdə xüsusi aktuallıq qazanan layihələrdən biri də Zəngəzur dəhlizi (şəkil 3) hesab olunur ki, bu dəhlizin reallaşdırılması Azərbaycanın əsas ərazisi ilə Naxçıvan Muxtar Respublikası arasında birbaşa quru nəqliyyat əlaqəsinin yaradılmasına imkan verəcəkdir.

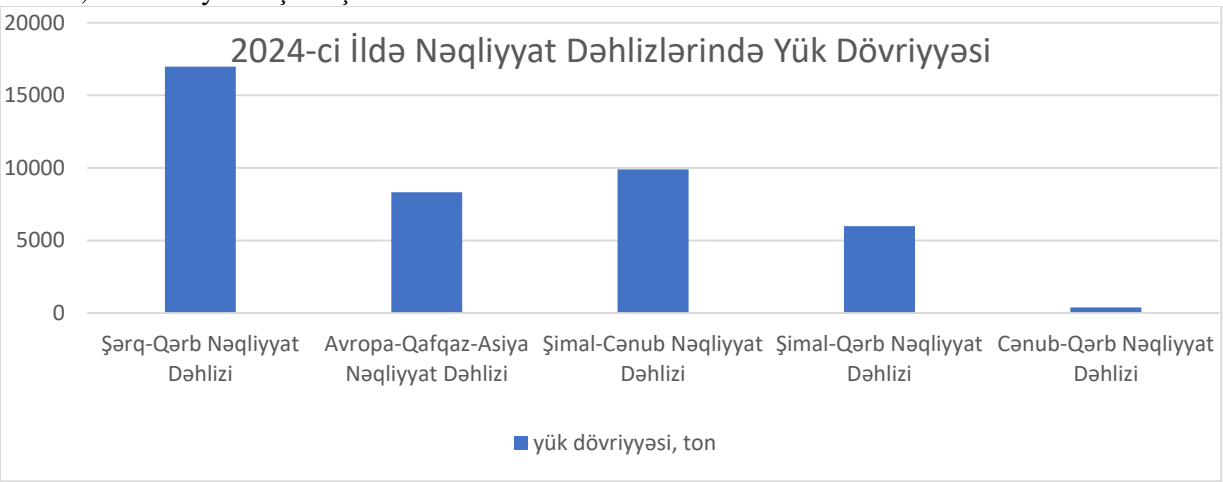


Şəkil 3. Zəngəzur Dəhlizi

Zəngəzur dəhlizinin fəaliyyətə başlaması Transxəzər Şərq–Qərb Beynəlxalq Nəqliyyat Dəhlizinin imkanlarını daha da genişləndirərək alternativ nəqliyyat marşrutlarının artmasına şərait yaradacaq və yük axınlarının şaxələndirilməsinə töhfə verəcəkdir. Nəticə etibarı ilə, bu dəhliz Şimal–Cənub nəqliyyat dəhlizi ilə müəyyən inteqrasiya yaradaraq Azərbaycanın qlobal logistika sistemində mövqeyinin daha da möhkəmləndirmiş olur.
Azərbaycanın beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərində artan rolunu daha aydın şəkildə qiymətləndirmək üçün son illərə aid statistik göstəricilərin təhlili xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.



2025-ci ildə nəqliyyat dəhlizləri üzrə yük daşımalarında müxtəlif nəqliyyat növlərinin payı fərqli olmuşdur. Belə ki, dəmir yolu nəqliyyatı ilə 14 261,4 min ton, avtomobil nəqliyyatı ilə 11 046,1 min ton, dəniz nəqliyyatı ilə isə 7 229,7 min ton yük daşınmışdır.
Eyni dövrdə nəqliyyat dəhlizləri üzrə daşınmış yüklərin həcminə nəzər saldıqda görünür ki, Şərq–Qərb nəqliyyat dəhlizi üzrə ümumilikdə 16 909,8 min ton yük daşınmışdır. Bu həcm daxilində Avropa–Qafqaz–Asiya nəqliyyat dəhlizinin payı 8 173,2 min ton təşkil etmişdir. Bundan əlavə, Şimal–Cənub nəqliyyat dəhlizi üzrə 9 289,0 min ton, Şimal–Qərb nəqliyyat dəhlizi üzrə 5 804,8 min ton, Cənub–Qərb nəqliyyat dəhlizi üzrə isə 533,6 min ton yük daşınmışdır.



2024-cü ildə nəqliyyat dəhlizləri üzrə daşınmış yüklərin ümumi həcmi 33 258,0 min ton, yük dövriyyəsi isə 13 198,3 milyon ton-km təşkil etmişdir. Əvvəlki ilin eyni dövrü ilə müqayisədə bu göstəricilərdə müvafiq olaraq 1,4 % və 2,5 % artım müşahidə olunmuşdur.
Nəqliyyat dəhlizləri üzrə bölgüyə nəzər saldıqda, Şərq–Qərb nəqliyyat dəhlizi ilə 16 982,4 min ton yük daşınmışdır. Bu həcm daxilində Avropa–Qafqaz–Asiya nəqliyyat dəhlizi üzrə 8 322,3 min ton, Şimal–Cənub

nəqliyyat dəhlizi üzrə 9 896,5 min ton, Şimal–Qərb nəqliyyat dəhlizi üzrə 5 984,9 min ton, Cənub–Qərb nəqliyyat dəhlizi üzrə isə 394,2 min ton yük daşınmışdır.

III. ABŞERON LOGİSTİKA MƏRKƏZİNİN İŞ PROSESİNİN TƏHLİLİ

Birləşmiş Millətlər Təşkilatının Avropa İqtisadi Komissiyasının verdiyi tərifə görə logistik mərkəzlər nəqliyyat, logistika və malların paylanması ilə bağlı olan bütün daxili və beynəlxalq transit əməliyyatlarını özündə cəmləyən spesifik ərazilərdir.

Abşeron Logistika Mərkəzi (şəkil 4) 13 avqust 2018-ci ildən fəaliyyət göstərir və Bakı şəhərinin Qaradağ rayonunun Lökbatan qəsəbəsində yerləşir. Mərkəz 65,7 hektar ərazini əhatə edir və konteyner, vaqon, gömrük, broker, terminal, saxlanma, ofis icarəsi, nəqliyyat və 3PL xidmətləri təqdim edir. Mərkəzin paylaşdığı rəsmi məlumatlara istinadən, ay ərzində 10000 TEU konteyner, 8000 vaqon qəbuletmə və yükləmə-boşaltma gücü sutkada 30000 ton, ildə 11 milyon ton iri həcmli yükaşırma qabiliyyəti və ümumilikdə 7500 TEU konteyner, 1000 ədəd vaqon tutumuna sahibdir. Mərkəz daxilində İnzibati və gömrük binası, dəmiryol xəttləri, tır park, avtomobil dayanacağı, konteyner sahəsi, A+ kateqoriyalı anbar kompleksi, gömrük anbarları və gübrə anbarları mövcuddur. Mövcud olan dəmir yol xətti ümumilikdə 17100 metr olub 7 ədəd qatar qəbulu / təşkili xətləri, 6 ədəd əməliyyat xətti olmaqla ümumilikdə 13 dəmir yol xətti mövcuddur. Əməliyyat xətləri 2 ədəd konteyner, 2 ədəd açıq sahə, 2 ədəd isə anbar xəttidir. Konteyner sahəsi 15000 m^2 olub 7500 TEU konteyner saxlama tutumuna malikdir.

Abşeron Logistika Mərkəzində giriş-çıxış proseslərinin effektivliyinin dəyərləndirilməsi məqsədi ilə ərazidə apardığım müşahidə əsaslı tətqiqat nəticəsində bu məlumatları əldə etdim:

1) Saat 08:13'dən saat 11:20 vaxtları arasında mərkəzə 89 ədəd yük avtomobili daxil olmuş 56 ədəd yük avtomobili isə çıxış etmişdir.
2) Saat 17:45'dən 20:30 vaxtları arasında mərkəzə 42 ədəd yük avtomobili daxil olmuş 34 ədəd yük avtomobili isə çıxış etmişdir.

Ərazidə aparılan müşahidə xarakterli tətqiqat yük axınının pik olduğu saatlarda yerinə yetirilmişdir.



Şəkil 4. Abşeron Logistika Mərkəzi

Şəkil 3-də Abşeron Logistika Mərkəzinin ümumi planı və funksional zonaları göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, mərkəzin ərazisi müxtəlif təyinatlı sahələrə mövcuddur.

a) Bir nömrəsi ilə işarə edilmiş zona gömrük orqanlarının, bank şöbələrinin, sahibkarların və digər özəl və dövlət qurumlarının fəaliyyətini təmin etmək üçün istifadə edilən inzibati binadır.
b) İki nömrəsi ilə işarə edilmiş zona TIR park ərazisidir. 200-ə qədər yük avtomobili tutumuna malikdir.
c) Üç nömrəsi ilə işarə edilmiş zona avtomobil dayanacağıdır. 100-ə qədər minik avtomobili tutumuna malikdir.
d) Dörd nömrəsi ilə işarə edilmiş zonalar qapalı anbarlardır. Mərkəzin ümumilikdə 22500 m^2 qapalı anbar sahəsinə malikdir.
e) Beş nömrəsi ilə işarə edilmiş zona gübrə anlarıdır.
f) Altı nömrəsi ilə işarələnmiş zona gömrüklü anbarlardır. Yüklər gömrük rüsumları, əlavə dəyər vergisi alınmadan gömrük anbarlarında müəyyən müddət saxlanıla bilərlər. Burada əsasən transit yüklər vergi ödəmədən və ticarət siyasəti tədbirləri tətbiq olunmadan təkrar ixrac olunana qədər saxlanılır.

Beləliklə, Abşeron Logistika Mərkəzinin funksional strukturu və yük axınlarının təşkili onun beynəlxalq nəqliyyat dəhlizləri çərçivəsində mühüm logistika qovşağı kimi çıxış etdiyini göstərir.

IV. NƏTİCƏ

Təhlil göstərir ki, son illərdə nəqliyyat dəhlizləri üzrə yük daşımalarının həcmi və yük dövriyyəsi üzrə artım dinamikası müşahidə olunmuşdur ki, bu da Azərbaycanın beynəlxalq logistika sistemində rolunun getdikcə gücləndiyini sübut edir. Eyni zamanda, Zəngəzur dəhlizi kimi yeni nəqliyyat layihələrinin reallaşdırılması ölkənin nəqliyyat şəbəkəsinin genişlənməsinə və alternativ marşrutların formalaşmasına şərait yaradaraq Azərbaycanın regionda və qlobal səviyyədə əhəmiyyətini daha da artıracaqdır.

Tədqiqat çərçivəsində Abşeron Logistika Mərkəzinin fəaliyyətinin təhlili göstərdi ki, logistika mərkəzləri beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin effektiv fəaliyyətinin təşkilində əsas infrastruktur elementi kimi çıxış edir. Mərkəzlərin inkişaf etmiş infrastrukturu və müxtəlif nəqliyyat növləri arasında əlaqəni təmin etmə imkanı multimodal daşımaların səmərəli təşkili baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

ƏDƏBİYYAT

1) https://www.stat.gov.az/news/index.php?lang=az&id=6615
2) https://absheronport.az/az/page/haqqimizda/about-the-center
3) https://www.stat.gov.az/news/index.php?lang=az&id=6183
4) https://www.transportevents.com/presentations/Turkiye2023/TITR.pdf
5) https://www.carecprogram.org/uploads/Transport-and-Trade-Logistics-Azerbaijan.pdf
6) https://transit.gov.az/en/corridors/east-west-corridor
7) https://unece.org/DAM/trans/main/speca/docs/18th_session/speca18_pres_az.pdf
8) https://europlatforms.eu/Logistic%20CenterDefinition.html

LOGİSTİKA - BIR İDARƏETMƏDİR

Elton Sadıqov

Baku Engineering University

Mühəndislik fakültəsi, *Logistika və nəqliyyat kafedrası*

Xırdalan, Azərbaycan

esadiqov3@std.beu.edu.az

Xülasə: Logistika - nemət və insan resurslarının ehtiyac duyulan yerə və vaxtda çatdırılmasını təmin edən mühüm fəaliyyət sahəsi kimi izah olunur. İstənilən istehsal və ya marketinq təşkilatının uğurlu fəaliyyəti üçün maddi-texniki təminatın düzgün qurulması böyük əhəmiyyət daşıyır. Bu sahə göndərmə prosesləri, ehtiyatların idarə olunması, saxlama, materialların daşınması və qablaşdırma ilə bağlı məlumatların bir sistem daxilində əlaqələndirilməsini özündə birləşdirir. Logistik idarəetmənin əsas məqsədi isə xammalın yerləşməsi, istehsal prosesinin təşkili və müəssisənin ehtiyaclarının mümkün olan ən aşağı xərclə qarşılanaraq fəaliyyətin səmərəli şəkildə tamamlanmasını təmin etməkdir.

Açar sözlər: logistika, logistik idarəetmə, logistika koordinasiyası.

I. GİRİŞ

Logistika anlayışı bir məhsulun istehsal olunduğu nöqtədən son istehlakçıya çatdırılmasına qədər olan bütün mərhələləri əhatə edir. Bu mərhələlərə nəqliyyat, saxlama, gömrük rəsmiləşdirilməsi, qablaşdırma və paylama kimi proseslər daxildir. Başqa sözlə desək, logistika məhsulun doğru zamanda, uyğun qiymətlə və lazımi miqdarda istifadəçiyə çatdırılmasını təmin edən bir sistemdir. Bu səbəbdən logistika yalnız əməli fəaliyyət

deyil, eyni zamanda planlaşdırma və idarəetmə prinsiplərinə əsaslanan bir proses elmi kimi də qəbul edilir. Müasir sənaye sahələrində logistika vasitəsilə istehsalın səmərəliliyi, tədarük zəncirinin fəaliyyəti və layihələrin həyata keçirilmə müddəti daim qiymətləndirilir [1].

II. ƏSAS HİSSƏ

Logistikanı həm də maddi-texniki ehtiyatların və informasiya axınlarının planlaşdırılması, həyata keçirilməsi və nəzarətdə saxlanılması prosesi kimi izah etmək mümkündür. Bu sahə xüsusilə XX əsrin ortalarından etibarən daha geniş yayılmağa başlamışdır. 1950-ci illərdən sonra dünya iqtisadiyyatında ticarətin genişlənməsi, beynəlxalq daşımaların artması və təchizat ehtiyaclarının çoxalması logistikanın biznes fəaliyyətində mühüm rol oynamasına səbəb olmuşdur [2].

Müasir iş dünyasında logistika tədarükçüdən son istifadəçiyə qədər uzanan tədarük zənciri daxilində fəaliyyət göstərir. Bu proses həm müəssisədaxili, həm də müəssisədən kənar fəaliyyətləri əhatə edə bilər. Logistik idarəetmənin əsas funksiyalarına satınalma, nəqliyyatın təşkili, anbarlaşdırma, ehtiyatların qeydiyyatı, məlumat axınının düzgün təmin edilməsi və bütün bu proseslərin planlaşdırılması daxildir. Logistika menecerləri müxtəlif bölmələrdən əldə olunan məlumatları bir sistemdə birləşdirərək fəaliyyətlərin koordinasiyasını təmin edirlər [3]. Ümumilikdə logistika iki əsas istiqamətdə həyata keçirilir: birincisi anbar və nəqliyyat şəbəkələri vasitəsilə material axınının davamlılığını təmin edir, ikincisi isə layihələrin tamamlanması üçün resursların əlaqələndirilməsini həyata keçirir [4].

Mənim fikrimcə , logistika dünyanı bir-birinə bağlayan görünməz, lakin çox möhkəm bir zəncirdir. Hər bir bağlamanın arxasında böyük bir zəhmət və dəqiq planlaşdırma dayanır. Məsafələr bu peşəkar sistemlə qısalır, arzular isə birbaşa qapınıza gəlir. Doğru zamanda, doğru yerdə olmaq bu işin ən qızıl qaydasıdır. Yollar sadəcə asfalt deyil, iqtisadiyyatın döyünən nəbzi və can damarıdır. Yaxşı xidmət hər bir müştərinin üzündə yaranan məmnuniyyət dolu təbəssümdür. Zamanın düzgün idarə edilməsi bu sahənin ən gizli və güclü silahıdır. Anbarlar sadəcə saxlanc deyil, gələcəyə gedən yolların əsas başlanğıc nöqtəsidir. Sərhədləri aşan hər bir yük yeni ticarət əlaqələrinin açılan qapısıdır. Logistika olmasa, dünya hərəkətsiz qalar və bütün sistemlər birdən dayanar.

III. NƏTİCƏ

Sonda belə bir nəticəyə gəlmək olar ki logistikanın əsas məqsədi material, informasiya, maliyyə və insan resurslarının hərəkətini səmərəli şəkildə idarə edən inteqrasiya olunmuş bir sistem qurmaqdır. Belə bir sistem yüksək keyfiyyətli məhsulların vaxtında və etibarlı şəkildə çatdırılmasına imkan yaradır. Logistikanın düzgün tətbiqi müəssisələrin bazar mühitinə daha çevik uyğunlaşmasına, mənfəət səviyyəsinin artırılmasına və rəqiblər qarşısında üstün mövqe qazanmasına şərait yaradır. Bu baxımdan logistika müasir biznes mühitində strateji əhəmiyyət daşıyan fəaliyyət sahələrindən biri hesab olunur.

ƏDƏBİYYAT

1. T.İmanov. Logistikanın əsasları.2005
2. N.Şabanlı. Nəqliyyat logistikası. 2019
3. Wikipedia
4. Unec.edu.az

RISK ANALYSIS AND MANAGEMENT STRATEGIES IN LOGISTICS AND TRANSPORT SYSTEMS

Dilara Yusifova
Logistics and Transport Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
dyusifova@std.beu.edu.az,

Mirhamid Baghirov
Logistics and Transport Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
mibagirov@beu.edu.az

Abstract: This study analyzes the multi-dimensional risks in global logistics and transport systems by examining recent case studies from Turkiye, Iran, and Germany. It evaluates the impact of natural disasters, economic sanctions, and supply chain disruptions on systemic stability. The research concludes that transitioning from reactive to proactive strategies through technological integration and supply chain diversification is essential for achieving long-term resilience and sustainability.
Keywords: risk assessment, supply chain vulnerability, logistics risk management, economic sanctions impact, energy infrastructure resilience.

I. INTRODUCTION

Risk involves a threat and the possibility of suffering harm or loss. 'Legal risk' means any risk of court action occurring whether domestic, European or international, or the risk of any penalty resulting from non-compliance with legal requirements. Losing a court action may lead to harm to the policy objectives and financial or reputational loss. Risk is usually expressed in terms of risk sources, potential events, their consequences and their likelihood. A risk is a danger that has been assessed in terms of its probability of occurrence and the extent of the damage it could cause. For example, if the server that hosts the results of a development team is located in a single office building, there is a risk that the entire work could be lost in a fire. The extent of the damage increases depending on the work invested or existing agreements with customers.

When looking at risk, different disciplines and perspectives can be distinguished. Technical concept: this concept of risk, which is predominantly used by insurances, is expressed through the mathematical function of probability and harm. Harm refers to human health, environment, and capital assets. Economic concept: expresses risks in expected utilities, which can be losses or gains, and allows therefore a comparison between risks and benefits by weighting possible costs by the probability of their occurrence. Ecological concept: understands risks as a threat to ecosystem stability and sustainability. Sociological concept: is a patchwork of different concepts, which have in common that they deal with social constructions of pending threats to all aspects of what individuals and groups value. A personal risk assessment is a focused, individual-level evaluation that identifies whether a specific employee faces increased risks due to their health, circumstances or the nature of their work.

II. PERSONAL AND TECHNICAL DIMENSIONS

A personal risk assessment is a focused, individual-level evaluation that identifies whether a specific employee faces increased risks due to their health, circumstances or the nature of their work.

Common hazards and risks include strain from repetitive movements, like manual order picking or loading and unloading; injuries from lifting, pushing and pulling heavy loads; machinery and vehicle noise; slips and trips; falls from height, such as when unloading a truck; being hit by forklifts and trucks; exposure to chemicals; and fatigue from shift work.

The risk management process involves several key steps. First, find the hazards in your workplace. Then assess the risks associated with those hazards. You don't have to do a formal risk assessment if there is already

information about the risk and how to control it. Next, control the risks, monitor and review your risk controls, and revise the controls if they are not working.

Technical risk refers to the failure risk of an automated container port logistics system, which is driven by the complex dynamic coupling of internal and external risk factors, increasing the likelihood of system failure. These factors include automation equipment failures, coordination issues resulting from human errors, logistics disruptions caused by extreme weather, and resource allocation confusion.

To reduce machine-related risks, it is important to choose the right machine for the job and avoid placing machines where customers or visitors may be exposed to risk. Risks from electrical, hydraulic or pneumatic power supplies must be identified and managed. Machines should be safe during setup, normal use, clearing blockages, repairs, and planned maintenance. They must be properly switched off, isolated or locked before any intervention. Additionally, parts, materials and emissions can be hot or cold enough to cause burns or scalds, while electricity can cause shocks and burns.

III. ENVIRONMENTAL, SOCIAL, AND ECONOMIC DIMENSIONS

Environmental risk is significant in the transport sector, which causes substantial negative impacts on the environment and human health. Transport is responsible for about a quarter of the EU's total greenhouse gas emissions and contributes to air pollution, noise pollution and habitat fragmentation. At the same time, the sector has a critical role in achieving a decarbonized future. To meet global net-zero targets, transport needs to reduce its emissions by around 20%, to less than 6 Gt by 2030.

2026 (current)	100%
2030 (target)	80%

Fig. 1. Table

Social risk includes issues such as forced labor, child labor, unsafe working environments, discrimination, poor wages, excessive working hours, and lack of freedom of association. These risks are especially common in regions with weak regulatory oversight and can lead to reputational damage, legal liabilities and operational disruptions. Preventing social risk in logistics involves implementing strict supplier codes of conduct, regular audits, and comprehensive employee training.

Economic risk arises from fluctuations in demand, port and border delays, currency rate changes, material shortages, and price volatility. For example, decreased demand may lead to price reductions, while shipping delays can cause price fluctuations. Preventing economic risk requires building a resilient and flexible supply chain by diversifying suppliers and transportation routes, increasing safety stock, and using technology for real-time visibility.

Risk in transport systems can also be observed through traffic congestion, which is considered a critical challenge in modern transportation systems. Road traffic plays a dual role, as it supports economic growth while simultaneously creating environmental and operational risks. Congestion leads to delays and significantly impacts climate change, demonstrating both ecological and social risks. In addition, accurate forecasting and analysis of traffic indicators are essential for early detection and effective management of these risks.

IV. INTERNATIONAL EXPERIENCE AND CASE STUDIES

4.1. Turkiye: Post-Earthquake Infrastructure Resilience

In 2023, strong earthquakes in Turkey caused serious damage to the country's energy infrastructure. Power lines, substations, and natural gas systems were damaged, which led to a large-scale interruption of energy supply. After the earthquake, the main priority was to restore the energy supply as quickly as possible. Government institutions and energy companies worked together in a coordinated way, sending thousands of engineers to check damage, identify dangerous zones, and repair broken infrastructure. These problems also had a negative impact on water supply, healthcare, communication, and transportation. Hospitals especially needed continuous energy, so generators and alternative energy sources were widely used. During the restoration process, mobile power stations and portable substations played an important role. These technologies help make energy systems more flexible and reliable during emergency situations. The earthquake

showed that energy infrastructure must be resistant to risks, highlighting the need for modern technologies and improved emergency preparedness plans.

4.2. Iran: Economic Sanctions and Supply Chain Vulnerability

In recent decades, globalization has made supply chains more complex and vulnerable to risks, especially political and economic uncertainties. Economic sanctions are a major external factor that disrupts supply chains, including restrictions on imports/exports and financial transactions. This study focuses on Iranian supply chains, where findings show that financial risks are the most strongly affected. Companies face serious problems such as currency fluctuations, limited access to international banking systems, and difficulties in managing cash flow. Key risk factors include exchange rate volatility, raw material price fluctuations, supplier bankruptcy, and dependence on a single supplier. Sanctions increase the overall vulnerability of supply chains across almost all industries, increasing the probability of disruptions such as delays and material shortages. Consequently, companies face higher operational costs21 and longer cash-to-cash cycles. This highlights the importance of risk management strategies and diversification of suppliers to reduce the negative effects of sanctions.

4.3. Germany: Global Supply Chain Disruptions and Economic Growth

Germany has long been considered one of the strongest economies in Europe, but recent global supply chain problems have negatively impacted its growth. Shortages of materials and delivery delays have slowed economic activity, particularly in the industrial sector. In 2021, supply chain problems reduced Germany's economic growth rate to 1.8%, lower than the expected 2.2%. The main reasons were disruptions in global production and logistics systems caused by transportation delays and shortages of raw materials. German industrial companies, especially in the automotive and technology sectors, faced severe shortages of semiconductors. As a result, production levels decreased and orders were delayed. These problems also led to higher costs for raw materials and transportation, contributing to inflation and reducing consumer purchasing power. The crisis created a domino effect across different industries, showing how dependent a strong economy is on stable and reliable global supply chains. Building more resilient and flexible systems is essential for future economic development.

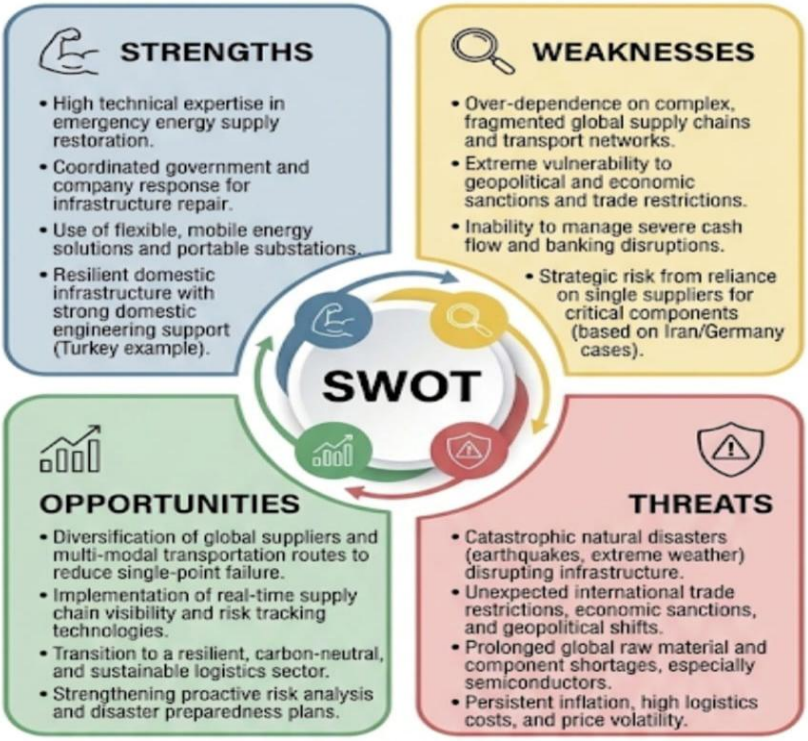


Fig. 2. SWOT analysis

V. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Based on the research and international cases analyzed in this study, the following conclusions and practical recommendations are proposed for enhancing risk management in logistics and transport sectors:

Diversification of Supply Chains: As seen in the cases of Iran and Germany, relying on a single supplier or one geographical region creates high vulnerability. It is recommended to implement "Multi-sourcing" strategies to distribute risks across different suppliers and transport corridors.

Infrastructure Hardening: Following the Turkish earthquake experience, it is clear that energy and transport infrastructure must be designed with "redundancy" in mind. Investing in mobile and modular energy units can provide life-saving flexibility during natural disasters.

Adoption of Digital Twins and Real-time Monitoring: To manage economic and technical risks, logistics companies should use AI-driven forecasting and "Digital Twin" technology. This allows for early detection of potential bottlenecks in ports or borders before they cause financial loss.

Decarbonization as a Risk Mitigation Tool: Reducing dependence on fossil fuels not only helps meet environmental targets but also reduces the risk of price volatility in the energy market. Transitioning to green logistics is both an ecological and economic necessity.

Proactive Policy Frameworks: Governments should develop comprehensive legal and operational frameworks that mandate regular "Personal Risk Assessments" in the workplace to reduce human-related hazards and improve overall safety culture.

REFERENCE

1. British Government Digital Service. (2026). Guidance and regulation for transport and infrastructure. Retrieved from https://www.gov.uk/
2. International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines. Geneva, Switzerland.
3. T2 Informatik. (2024). Risk: Definitions, types, and management in the digital age. Smartpedia. Retrieved from https://t2informatik.de/en/smartpedia/risk/
4. National Center for Biotechnology Information (NCBI). (2020). Risk factors in complex supply chain networks. PMC7122187.
5. Safety Forward. (2024). What is a personal risk assessment and why is it important? Retrieved from https://safetyforward.co.uk/
6. WorkSafe Victoria. (2025). Transport, logistics and warehousing: Safety basics for the workplace. Retrieved from https://www.worksafe.vic.gov.au/
7. ScienceDirect. (2024). Advancements in risk mitigation for global logistics. Journal of Transport and Supply Chain. Vol 138.
8. Health and Safety Executive (HSE). (2024). Provision and Use of Work Equipment Regulations (PUWER): Introduction. Retrieved from https://www.hse.gov.uk/
9. European Environment Agency (EEA). (2023). Transport and mobility: Towards a green transition. Retrieved from https://www.eea.europa.eu/
10. Baghirov, M. I. (2025). Forecasting traffic indicators using AI. In: 10th International Congress on Engineering Sciences and Multidisciplinary Approaches. Istanbul, Turkiye.
11. ISO News. (2023). A Net-Zero logistics sector: Standards for a sustainable future. Retrieved from https://www.iso.org/
12. ESG Sustainability Directory. (2024). Social risks in global supply chains: Impact and mitigation.
13. Target Integration. (2024). The importance of risk management in modern supply chain management.
14. ResearchGate. (2023). Energy Supply Restoration in Post-earthquake Turkey 2023: Case Study and Analysis.
15. ResearchGate. (2017). The Impacts of Economic Sanctions on Supply Chain Management: Empirical Analysis of Iranian Supply Chains.
16. Deutsche Welle (DW). (2021). Germany: Supply chain crisis slows economic growth. Retrieved from https://www.dw.com/

AETR SAZİŞİNƏ ƏSASƏN SÜRÜCÜLƏRİN İŞ VƏ İSTİRAHƏT REJİMİNİN TƏHLÜKƏSİZLİYƏ TƏSİRİ

Fərrux Mustafayev Aydın
Logistika və Nəqliyyat kafedrası,
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
fmustafayev1@std.beu.edu.az

Xülasə. Məqalədə AETR (European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport) sazişinə uyğun olaraq sürücülərin iş və istirahət rejiminin yol hərəkəti təhlükəsizliyinə təsiri təhlil olunur. Qeyd olunur ki, sürmə müddətinin məhdudlaşdırılması və müntəzəm fasilələrin verilməsi sürücülərdə yorğunluğu azaldır, diqqət və reaksiya qabiliyyətini artırır. Bu isə yol-nəqliyyat hadisələrinin azalmasına və daşımaların daha təhlükəsiz həyata keçirilməsinə səbəb olur. Nəticədə, AETR qaydalarına riayət olunması həm sürücülərin sağlamlığını qoruyur, həm də beynəlxalq avtomobil daşımalarının ümumi təhlükəsizlik səviyyəsini yüksəldir.
***Açar sözlər*:** AETR sazişi, sürücülərin iş və istirahət rejimi, yol hərəkəti təhlükəsizliyi, sürücü yorğunluğu, rəqəmsal taxoqraf sistemləri, risklərin idarə olunması.

I. GİRİŞ

Beynəlxalq avtomobil daşımalarının sürətlə inkişaf etdiyi müasir dövrdə yol hərəkəti təhlükəsizliyinin təmin olunması prioritet məsələlərdən biri kimi çıxış edir. Bu kontekstdə sürücülərin iş və istirahət rejiminin düzgün tənzimlənməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Çünki uzunmüddətli və fasiləsiz sürmə prosesi sürücülərdə yorğunluq, diqqət dağınıqlığı və reaksiya qabiliyyətinin zəifləməsi ilə nəticələnərək yol-nəqliyyat hadisələrinin baş vermə ehtimalını artırır [2,7,8].

Beynəlxalq səviyyədə bu risklərin qarşısını almaq məqsədilə AETR (European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport) sazişi qəbul edilmişdir [1]. Sözügedən saziş sürücülərin gündəlik və həftəlik iş vaxtını, istirahət müddətlərini və fasilə qaydalarını müəyyən etməklə nəqliyyat sektorunda təhlükəsizlik standartlarının formalaşdırılmasına xidmət edir [1,3].

Bu məqalənin məqsədi AETR sazişi çərçivəsində sürücülərin iş və istirahət rejiminin yol hərəkəti təhlükəsizliyinə təsirini elmi-praktik baxımdan təhlil etmək, eyni zamanda bu qaydaların tətbiqinin nəqliyyat prosesində yaratdığı müsbət nəticələri araşdırmaqdır.

II. ƏDƏBİYYAT İCMALI

Mövzu ilə bağlı elmi ədəbiyyat beynəlxalq avtomobil daşımalarında sürücülərin iş və istirahət rejiminin yol hərəkəti təhlükəsizliyinə təsirini geniş şəkildə araşdırır. UNECE [1] tərəfindən qəbul edilən AETR sazişi bu sahədə əsas normativ baza kimi çıxış edir və sürücülərin iş vaxtı, fasilələr və istirahət müddətlərini tənzimləyir [1].

International Road Transport Union (IRU) [2] və digər beynəlxalq təşkilatların hesabatlarında göstərilir ki, iş və istirahət rejiminə riayət olunması sürücü yorğunluğunu azaldır və yol-nəqliyyat hadisələrinin sayını minimuma endirir [2]. Eyni zamanda, Avropa Komissiyasının 561/2006 saylı reqlamenti bu sahədə hüquqi çərçivəni gücləndirir və AETR qaydaları ilə uyğunlaşdırılmış normalar müəyyən edir [3].

World Health Organization (WHO) [4] tərəfindən aparılan tədqiqatlarda vurğulanır ki, sürücü yorğunluğu yol qəzalarının əsas səbəblərindən biridir və bu faktorun azaldılması ölüm və yaralanma hallarını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır [4].

McKinnon, Button və Rodrigue kimi müəlliflərin tədqiqatlarında nəqliyyat sistemlərinin iqtisadi və logistika aspektləri araşdırılır və göstərilir ki, sürücü iş rejiminin optimallaşdırılması həm təhlükəsizliyi, həm də iqtisadi səmərəliliyi artırır [5,6,7].

European Transport Safety Council (ETSC) [8] və International Transport Forum (ITF) [8] hesabatlarında isə yorğunluğun idarə olunması və taxoqraf kimi nəzarət sistemlərinin tətbiqi yol təhlükəsizliyinin artırılmasında effektiv vasitə kimi qiymətləndirilir [8].

III. TƏDQİQAT METODU

Bu tədqiqatda istifadə olunan metodoloji yanaşma akademik xarakter daşıyır və keyfiyyət (qualitative) və kəmiyyət (quantitative) elementlərini birləşdirən qarışıq tədqiqat (mixed-method) dizaynına əsaslanır. Tədqiqatın əsas məqsədi AETR (European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport) sazişi çərçivəsində sürücülərin iş və istirahət rejiminin yol hərəkəti təhlükəsizliyinə təsirini statistik göstəricilər əsasında qiymətləndirməkdir [1].

Tədqiqat zamanı istifadə olunan məlumatlar beynəlxalq təşkilatların hesabatları, yol-nəqliyyat statistik bazaları və elmi məqalələrdən toplanmışdır [4,7,8]. Xüsusilə World Health Organization (WHO) və European Transport Safety Council (ETSC) tərəfindən təqdim olunan yol təhlükəsizliyi göstəriciləri əsas statistik baza kimi götürülmüşdür [4,7].

Statistik təhlil çərçivəsində təsviri statistika, müqayisəli analiz, korrelyasiya analizi və trend analizi metodlarından istifadə olunmuşdur. Təsviri statistikada yol-nəqliyyat hadisələrinin ümumi sayı və sürücü yorğunluğu ilə bağlı qəzaların payı öyrənilmiş, nəticələr göstərmişdir ki, qəzaların təxminən 15–20%-i yorğunluq faktoru ilə əlaqəlidir [7,8]. Müqayisəli təhlil nəticəsində AETR qaydalarına ciddi əməl edilən ölkələrdə yorğunluq səbəbli qəzaların orta hesabla 25–30% daha aşağı olduğu müəyyən edilmişdir [1,3].

Korrelyasiya analizi sürmə müddəti ilə qəza riski arasında müsbət əlaqənin olduğunu göstərmişdir, yəni fasiləsiz idarəetmə vaxtı artdıqca qəza ehtimalı da yüksəlir [5,6]. Trend analizi isə son illərdə rəqəmsal taxoqraf sistemlərinin tətbiqi ilə yol təhlükəsizliyi göstəricilərində müsbət dinamika olduğunu ortaya çıxarmışdır [2,3].

Aparılan statistik təhlillərin nəticələri göstərir ki, AETR sazişi çərçivəsində iş və istirahət rejiminə riayət olunması yol hərəkəti təhlükəsizliyini ölçülə bilən şəkildə yaxşılaşdırır və qəza risklərini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır [1,2,7].

AETR (European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport) çərçivəsində sürücülərin iş və istirahət rejiminin düzgün təşkili və yol hərəkəti təhlükəsizliyinin artırılması üçün kompleks, çoxsəviyyəli həlli yollarının tətbiqi zəruridir [1]. Bu yanaşma hüquqi, texnoloji, təşkilati və sosial aspektləri əhatə etməlidir [3,7].

İlk növbədə, hüquqi-normativ nəzarətin gücləndirilməsi əsas istiqamətlərdən biridir [3]. AETR tələblərinin milli qanunvericiliyə tam inteqrasiyası, cərimə və məsuliyyət mexanizmlərinin sərtləşdirilməsi qayda pozuntularının qarşısının alınmasında mühüm rol oynayır [1,3]. Eyni zamanda, yol nəqliyyatı sahəsində dövlət nəzarət orqanlarının yoxlama tezliyi artırılmalı və risk əsaslı nəzarət sistemi tətbiq olunmalıdır [8].

İkinci əsas istiqamət rəqəmsal nəzarət sistemlərinin təkmilləşdirilməsidir. Xüsusilə rəqəmsal taxoqraf texnologiyalarının geniş tətbiqi sürücülərin iş və istirahət rejimini real vaxt rejimində izləməyə imkan verir [2]. Bu sistemlər insan faktoru ilə bağlı səhvləri minimuma endirir, məlumatların avtomatik qeydə alınması isə şəffaflığı artırır [2,3]. Bundan əlavə, süni intellekt əsaslı monitorinq sistemləri ilə potensial pozuntuların əvvəlcədən proqnozlaşdırılması mümkündür [8].

Üçüncü mühüm istiqamət şirkətlərin daxili idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsidir [5,6]. Nəqliyyat müəssisələri sürücülərin iş qrafiklərini elmi əsaslarla planlaşdırmalı, marşrut optimallaşdırması aparmalı və fasiləsiz idarəetmənin qarşısını alan daxili siyasətlər formalaşdırmalıdır [5]. Bu, həm əməliyyat səmərəliliyini artırır, həm də insan faktorundan qaynaqlanan riskləri azaldır [6].

Dördüncü istiqamət sürücülərin peşə hazırlığı və psixofizioloji vəziyyəti ilə bağlıdır [7]. Yorğunluğun idarə olunması, yuxu rejimi, stressin azaldılması və təhlükəsiz idarəetmə bacarıqları üzrə mütəmadi təlimlərin keçirilməsi vacibdir [7]. Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, maarifləndirmə proqramları qəza risklərini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır [7].

Beşinci istiqamət yol infrastrukturu və logistika planlamasının yaxşılaşdırılmasıdır [8]. Magistral yollar üzərində müasir istirahət zonalarının artırılması, təhlükəsiz dayanacaqların təşkili və sürücülər üçün əlverişli şəraitin yaradılması AETR tələblərinin praktik icrasına birbaşa təsir göstərir [1]. Eyni zamanda, marşrut planlamasında real vaxt trafik məlumatlarından istifadə edilməsi sürücülərin artıq yük və stress altında işləməsinin qarşısını alır [5].

Bundan əlavə, World Health Organization (WHO) və European Transport Safety Council (ETSC) kimi beynəlxalq qurumların tövsiyələrinə əsasən, sürücü yorğunluğunun idarə olunması üçün risk əsaslı yanaşma

tətbiq edilməlidir [4,7]. Bu yanaşma yüksək riskli marşrutların və sürücülərin əvvəlcədən müəyyən edilməsi və əlavə nəzarət tədbirlərinin görülməsini nəzərdə tutur [7].

IV. NƏTİCƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, AETR (European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport) beynəlxalq avtomobil daşımalarında sürücülərin iş və istirahət rejiminin tənzimlənməsi vasitəsilə yol hərəkəti təhlükəsizliyinin təmin olunmasında əsas normativ sənədlərdən biridir. Sazişin tətbiqi sürücü yorğunluğunu azaldır, diqqət və reaksiya qabiliyyətini artırır və bununla da yol-nəqliyyat hadisələrinin başvermə riskini əhəmiyyətli dərəcədə aşağı salır.

Tədqiqat nəticələri sübut edir ki, iş və istirahət rejiminə düzgün riayət olunması yalnız hüquqi tələb deyil, eyni zamanda praktiki təhlükəsizlik zərurətidir. Statistik və analitik təhlillər göstərir ki, bu qaydaların tətbiq edildiyi nəqliyyat sistemlərində qəza göstəriciləri daha aşağıdır və ümumi yol təhlükəsizliyi səviyyəsi daha yüksəkdir.

Bundan əlavə, rəqəmsal nəzarət sistemləri, xüsusilə taxoqrafların tətbiqi, qaydaların icrasını daha şəffaf və effektiv edir. Bu isə həm daşıyıcı şirkətlərin məsuliyyətini artırır, həm də insan faktorundan yaranan səhvləri minimuma endirir.

Nəticə etibarilə, AETR tələblərinə ciddi riayət olunması beynəlxalq avtomobil daşımalarının təhlükəsiz, səmərəli və dayanıqlı şəkildə həyata keçirilməsi üçün əsas şərtlərdən biri kimi qiymətləndirilir.

Ədəbiyyat

1. UNECE (1970). European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport (AETR). Geneva: United Nations.
2. IRU (2020). Drivers' Hours and Rest Periods in Road Transport. Geneva: International Road Transport Union.
3. European Commission (2006). Regulation (EC) No 561/2006 on driving times and rest periods. Brussels: European Union Publications.
4. McKinnon, A. (2018). Decarbonizing Logistics: Distributing Goods in a Low Carbon World. London: Kogan Page.
5. Button, K. (2010). Transport Economics. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
6. Rodrigue, J.-P. (2020). The Geography of Transport Systems. New York: Routledge.
7. ETSC (2017). Driver Fatigue and Road Safety Reports. Brussels: European Transport Safety Council.
ITF/OECD (2019). Road Safety Annual Report. Paris: International Transport Forum.

LOGİSTİKA BAZARINDA QEYRİ-FORMAL FƏALİYYƏTİN QİYMƏT MEXANİZMLƏRİNƏ VƏ TƏCHİZAT ZƏNCİRİNİN SƏMƏRƏLİLİYİNƏ TƏSİRİ

Xədicə Tahirzadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
Xırdalan, Azərbaycan
xtahirzade@std.beu.edu.az

Şahin Orucov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
Xırdalan, Azərbaycan
shorucov@beu.edu.az

Xülasə**:** *Məqalədə logistika bazarında qeyri-formal fəaliyyətin qiymət mexanizmlərinə və təchizat zəncirinin səmərəliliyinə təsiri araşdırılır. 2025–2026-cı illərdə enerji qiymətlərində dalğalanmalar və Hormuz boğazında geosiyasi gərginliklər beynəlxalq daşınma xərclərini artıraraq bazarda qiymət siqnallarının təhrif olunmasına səbəb olmuşdur. Azərbaycanda giriş baryerinin aşağı olması və maliyyə savadlılığının yetərsizliyi qeyri-peşəkar oyunçuların çoxalmasına şərait yaratmış, nəticədə risklərin düzgün idarə olunmaması və peşəkar şirkətlərin sıxılması müşahidə edilmişdir. Tədqiqat göstərir ki, qiymət mexanizmlərinin sağlamlaşdırılması, sertifikasiya mexanizmlərinin gücləndirilməsi və peşəkar standartların tətbiqi təchizat zəncirinin uzunmüddətli etibarlılığını təmin etmək üçün zəruridir.*

Açar sözlər**:** logistika bazarı, Qiymət mexanizmləri, Qeyri-formal fəaliyyət, Təchizat zənciri, Risk idarəetməsi, Maliyyə savadlılığı, Sertifikasiya tələbləri, Hörmüz boğazı, Enerji qiymətləri, Azərbaycan logistikası

THE İMPACT OF İNFORMAL ACTİVİTİES İN THE LOGİSTİCS MARKET ON PRİCİNG MECHANİSMS AND SUPPLY CHAİN EFFİCİENCY

ABSTRACT

The article examines the impact of informal activities in the logistics market on pricing mechanisms and the efficiency of the supply chain. In 2025–2026, fluctuations in energy prices and geopolitical tensions in the Strait of Hormuz increased international transportation costs, leading to distortions in market price signals.In Azerbaijan, low entry barriers and insufficient financial literacy have contributed to the growth of non-professional market participants. As a result, inadequate risk management and the crowding out of professional companies have been observed.The study shows that improving pricing mechanisms, strengthening certification systems, and implementing professional standards are essential to ensure the long-term reliability of the supply chain.

KEYWORDS: logistics market, Pricing mechanisms, Informal activity, Supply chain, Risk management, Financial literacy, Certification requirements, Strait of Hormuz, Energy prices, Azerbaijan logistics.

I. GİRİŞ

1. Mövzu üzrə qısa məlumat, aktuallıq və əhəmiyyət

Beynəlxalq yükdaşıma və logistika sistemi qlobal iqtisadi inteqrasiyanın və ticarət axınlarının davamlılığını təmin edən əsas infrastruktur komponentlərindən biridir. United Nations Conference on Trade and Development məlumatlarına əsasən, 2025-ci ildə dünya ticarət həcmi 35 trilyon ABŞ dollarına çatmış, lakin 2026-cı ildə geosiyasi risklər və enerji bazarlarında müşahidə olunan dəyişkənlik səbəbindən artım tempində zəifləmə qeydə alınmışdır. Bu kontekstdə Brent crude oil qiymətlərinin yüksəlməsi logistika əməliyyatlarının maya dəyərinə birbaşa təsir göstərərək daşınma tariflərinin artımını şərtləndirmişdir.

Mövzunun aktuallığı enerji qiymətlərindəki dəyişkənliyin və qeyri-formal iqtisadi fəaliyyətin logistika bazarında qiymət siqnallarını təhrif etməsi ilə izah olunur. Nəticədə resursların səmərəli bölgüsü pozulur,

risklərin adekvat qiymətləndirilməsi çətinləşir və təchizat zəncirinin funksional dayanıqlılığı zəifləyir. Azərbaycan şəraitində bazara giriş baryerlərinin aşağı səviyyədə olması bu tendensiyanı daha da gücləndirir.
Beləliklə, logistika bazarında institusional tənzimləmələrin gücləndirilməsi, qiymət mexanizmlərinin optimallaşdırılması və qeyri-formal fəaliyyətin təsirinin azaldılması həm nəzəri, həm də praktiki baxımdan xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

2. TƏDQIQAT IŞINƏ OLAN EHTIYAC, MÖVCUD VƏZIYYƏT VƏ PROBLEMLƏR

Mövcud ədəbiyyat və beynəlxalq hesabatlar logistika bazarında qiymət mexanizmlərinin təhrif olunması, qeyri-formal fəaliyyətin artması və enerji qiymətlərinin dəyişkənliyinin təchizat zəncirinə təsiri barədə ümumi məlumat versə də, Azərbaycan kontekstində spesifik araşdırmaların çatışmazlığı müşahidə olunur. Bu boşluq, ölkənin regional logistika mərkəzinə çevrilmə hədəfi fonunda daha da əhəmiyyətli görünür.
Hazırki vəziyyətdə əsas problemlər aşağıdakılardır:

- Qiymət siqnallarının deformasiyası – bazarda real dəyərin əks olunmaması.
- Risklərin adekvat qiymətləndirilməməsi – qeyri-peşəkar oyunçuların çoxluğu səbəbindən.
- İnstitusional boşluqlar – sertifikasiya və tənzimləmə mexanizmlərinin zəifliyi.
- Enerji qiymətlərinin təsiri – daşınma xərclərinin davamlı artımı.

Bu səbəbdən tədqiqat işinin aparılması həm nəzəri baxımdan yeni biliklərin formalaşdırılması, həm də praktiki baxımdan siyasət və idarəetmə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi üçün zəruridir.

3. Tədqiqatın məqsədi və yerinə yetirilmiş fəaliyyətlər

Bu tədqiqatın əsas məqsədi Azərbaycan logistika bazarında qiymətlərin ölçülməsi və formalaşma mexanizmlərini araşdırmaq, mövcud problemləri (yanacaq asılılığı, qeyri-peşəkar şirkətlərin çoxluğu, şəffaflıq çatışmazlığı) müəyyənləşdirmək və qiymətlərin daha obyektiv ölçülməsi üçün yeni sistemlər təklif etməkdir.
Yerinə yetirilmiş fəaliyyətlər:

- Qlobal mənbələrin (McKinsey, EY, IEA, UNCTAD, Dünya Bankı, OECD) və yerli hesabatların (DSK, PwC Azerbaijan, İqtisadiyyat Nazirliyi) təhlili aparıldı.
- Azərbaycan logistika bazarında tariflərin formalaşmasına təsir edən əsas faktorlar (yanacaq, gömrük, əmək, infrastruktur, risk) müəyyənləşdirildi.
- Qiymətlərin ölçülməsi üçün Milli Logistika Qiymət İndeksi (ALQİ) və Logistika Qiymət Portalı kimi sistemlər təklif olundu.
- Bu sistemlərin işləmə mexanizmləri (məlumat toplanması, çəkilərin hesablanması, indeksin açıqlanması, şirkətlərin tarif müqayisəsi) geniş şəkildə izah edildi.

4. Tədqiqat işinin strukturu

- Tədqiqat işi dörd əsas istiqaməti əhatə etmişdir. Giriş hissəsində mövzunun aktuallığı, məqsədi və ümumi çərçivəsi müəyyənləşdirilmiş, beynəlxalq logistika bazarının rolu və enerji qiymətlərinin təsiri izah olunmuşdur.
- Əsas hissədə beynəlxalq təcrübə ilə Azərbaycan bazarı müqayisəli şəkildə təhlil edilmiş, United Nations Conference on Trade and Development, Organisation for Economic Co-operation and Development və McKinsey & Company hesabatları əsasında statistik göstəricilər araşdırılmışdır.
- Təkliflər hissəsində tənzimləmə və rəqəmsallaşma istiqamətində tövsiyələr irəli sürülmüşdür.
- Nəticə hissəsində isə tədqiqatın ümumi qənaətləri təqdim olunaraq logistika bazarının uzunmüddətli sabitliyi üçün institusional islahatların vacibliyi vurğulanmışdır..

III. ƏSAS MÖVZU VƏ ARAŞDIRMALAR

2026-cı ildə beynəlxalq logistika bazarı geosiyasi risklər və enerji qiymətlərindəki dalğalanmaların təsiri altında əhəmiyyətli dəyişikliklərə məruz qalmışdır. United Nations Conference on Trade and Development məlumatlarına əsasən, dünya ticarət həcmi 2025-ci ildə 35 trilyon ABŞ dolları olmuş, 2026-cı ildə isə 36 trilyon ABŞ dollarına yüksəlmişdir ki, bu da artım tempinin zəiflədiyini göstərir *[1]*.

Enerji bazarında isə Brent crude oil qiymətləri 80–85 ABŞ dolları/barrel səviyyəsindən 90–95 ABŞ dolları/barrel səviyyəsinə yüksəlmişdir *[2]*. Yanacaq xərclərinin daşınma tariflərində yüksək paya malik olması bu artımın logistika xərclərinə birbaşa təsir etdiyini göstərir.
Yanacaq qiymətindəki artım aşağıdakı kimi qiymətləndirilir:

$$\frac{95-80}{80} \times 100 = 18.75\%$$

Bu artım nəticəsində daşınma tariflərinin orta hesabla 30–40% yüksəldiyi müşahidə olunur *[3]*.

CƏDVƏL 1. QLOBAL TICARƏT VƏ ENERJI QIYMƏTLƏRININ DINAMIKASI (2025–2026)

İl	**Qlobal Ticarət Həcmi (trilyon USD)**	**Brent Neft Qiyməti (USD/barrel)**	**Daşınma Tarifləri (orta artım)**
2025	35 USD	80–85 USD	+20% USD
2026	36 USD	90–95 USD	+30–40% USD

Təhlil göstərir ki, enerji qiymətlərinin artması daşınma xərclərini yüksəltmiş və logistika bazarında qiymət mexanizmlərinin effektivliyini zəiflətmişdir. Bu tendensiya Azərbaycan şəraitində daha qabarıq şəkildə özünü göstərir. Bazara giriş baryerlərinin aşağı olması qeyri-peşəkar iştirakçıların sayını artırır, nəticədə qiymətlər real dəyəri əks etdirmir və təchizat zəncirinin dayanıqlılığı zəifləyir.

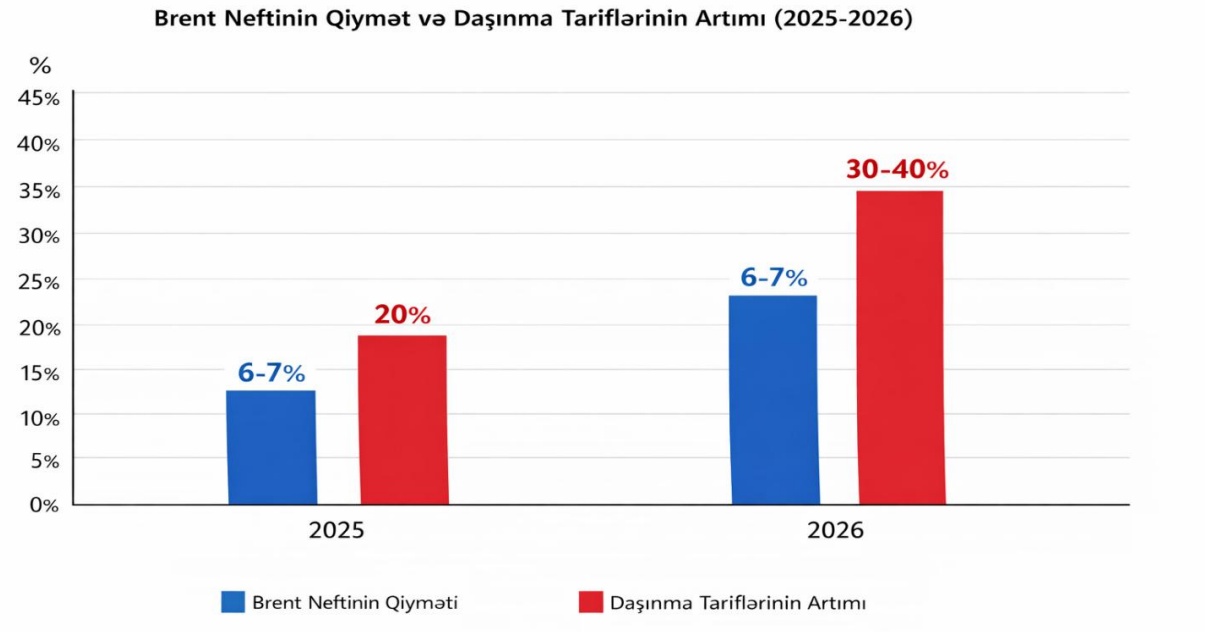
Qlobal logistika bazarının təhlili göstərir ki, enerji qiymətləri təchizat zəncirinin xərclərinə təsir edən əsas amillərdən biridir. 2026-cı ildə Brent markalı xam neftin qiymətlərinin 90–95 ABŞ dolları/barrel intervalında dəyişməsi enerji bazarında qeyri-sabitliyin davam etdiyini göstərir *[2]*. Bu artım, xüsusilə Hörmüz boğazında baş verən geosiyasi gərginliklərlə əlaqələndirilir. Ernst & Young şirkətinin hesabatlarına əsasən, bu bölgədə neft tankerlərinin hərəkəti ilə bağlı risklərin artması nəqliyyat və sığorta xərclərinin yüksəlməsinə səbəb olmuşdur *[3]*.

Enerji qiymətlərindəki artım logistika xərclərinə birbaşa təsir göstərir. Yanacaq xərclərinin daşınma tariflərinin orta hesabla 30–40%-ni təşkil etdiyini nəzərə alsaq, neft qiymətlərindəki dəyişiklik tariflərin artımı ilə nəticələnir. Bu asılılıq aşağıdakı kimi ifadə olunur:

Tarif artımı $= \frac{\Delta P}{P_0} \times \alpha$,

burada:

- P_0— əvvəlki dövrdə neftin qiyməti,
- ΔP— qiymət dəyişməsi (yeni və köhnə qiymət fərqi),
- α— yanacaq xərclərinin tarifdə payı (0.30–0.40).



Şəkil 1. Brent markalı xam neftin qiyməti və daşınma tariflərinin artımı

Diaqramda 2025–2026-cı illər üzrə neft qiymətləri ilə daşınma tariflərinin artım tempi müqayisə edilmişdir. Neft qiymətlərindəki artım hesablamalara əsasən tariflərdə 6–7% artım yaratsa da, geosiyasi risklər nəticəsində real artım 30–40%-ə çatmışdır.

CƏDVƏL **2.** ENERJİ QİYMƏTLƏRİ VƏ DAŞINMA TARİFLƏRİNİN DƏYİŞMƏSİ (2025–2026)

İl	**Brent markalı xam neftin qiyməti (USD/barrel)**	**Yanacaq payı**	**Tarif artımı (hesablanmış)**	**Tarif artımı (real)**
2025	80–85	35%	təxminən +5%	+20%
2026	90–95	35%	təxminən +6–7%	+30–40%

Aparılan təhlil göstərir ki, enerji qiymətlərindəki artım logistika xərclərinin yüksəlməsinin əsas səbəblərindən biridir, lakin geosiyasi amillər bu təsiri daha da gücləndirir. Xüsusilə Hörmüz boğazı kimi strateji əhəmiyyətə malik nəqliyyat dəhlizlərində qeyri-sabitlik qlobal təchizat zəncirinin səmərəliliyinə mənfi təsir göstərir.

Azərbaycan şəraitində bu proseslər daha həssasdır. Bazara giriş baryerlərinin aşağı olması və qeyri-peşəkar iştirakçıların çoxluğu qiymət mexanizmlərinin effektivliyini zəiflədir. Bu isə ölkənin regional logistika mərkəzi kimi inkişaf perspektivlərinə mənfi təsir göstərir.

Azərbaycan logistika bazarı 2026-cı ildə qlobal tendensiyaların təsirini birbaşa hiss etmişdir. Enerji qiymətlərinin artması və Hörmüz boğazında müşahidə olunan geosiyasi gərginlik regionda daşınma xərclərinin yüksəlməsinə səbəb olmuş, bu isə yerli logistika şirkətlərinin fəaliyyətinə mənfi təsir göstərmişdir *[6]*.

Azərbaycan bazarının əsas xüsusiyyətlərindən biri giriş baryerlərinin aşağı səviyyədə olmasıdır. Məhdud məsuliyyətli cəmiyyətin (MMC) yaradılması üçün tələb olunan minimum nizamnamə kapitalının aşağı olması bazara çoxsaylı kiçik və qeyri-peşəkar iştirakçıların daxil olmasına şərait yaradır *[6]*. Bu hal rəqabəti artırsa da, qiymət mexanizmlərinin təhrif olunmasına və xidmət keyfiyyətinin qeyri-sabit xarakter almasına səbəb olur.

Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi-nin 2026-cı il üzrə məlumatlarına əsasən, 2026-cı ilin yanvar–fevral aylarında istehlak qiymətləri indeksi əvvəlki ilin müvafiq dövrü ilə müqayisədə 105,7 faiz təşkil etmiş, pərakəndə ticarət dövriyyəsi isə 103,6 faiz artmışdır *[7]*. Bu göstəricilər bazarda qiymət dinamikasının dəyişkənliyini və iqtisadi aktivliyin artdığını göstərsə də, eyni zamanda struktur qeyri-sabitliyin mövcudluğunu da təsdiqləyir.

Bundan əlavə, PwC Azerbaijan tərəfindən hazırlanmış "Logistics and Supply Chain Review, 2026" hesabatında qeyd olunur ki, yerli logistika bazarında daşınma tariflərinin artımı qlobal orta göstəricilərlə müqayisədə daha yüksək olmuş və 25–35% intervalında dəyişmişdir *[8]*.

CƏDVƏL 3. AZƏRBAYCAN LOGISTIKA BAZARININ STRUKTURU (2026)

Kateqoriya	**Pay (%)**	**Qeyd**
Mikro müəssisələr	42	Əsasən daxili daşımalar
Kiçik müəssisələr	33	Regional fəaliyyət
Orta müəssisələr	18	Beynəlxalq daşımalar
Böyük şirkətlər	7	Sertifikatlı və peşəkar xidmətlər

Aparılan təhlil göstərir ki, bazarın əsas hissəsi mikro və kiçik müəssisələrdən ibarətdir. Bu tip şirkətlərin əksəriyyəti enerji qiymətlərindəki dəyişikliklərə qarşı effektiv risk idarəetmə mexanizmlərinə malik deyildir. Nəticədə daşınma tariflərində qeyri-sabitlik yaranır və qiymət mexanizmlərinin funksional effektivliyi zəifləyir.

Beləliklə, qlobal səviyyədə nəzəri olaraq müşahidə olunan 6–7% tarif artımı Azərbaycan bazarında real şəraitdə 25–35% intervalına qədər yüksəlmişdir ki, bu da geosiyasi risklərin və bazarın struktur xüsusiyyətlərinin birgə təsiri ilə izah olunur *[8]*.

Beləliklə, Azərbaycan logistika bazarının struktur xüsusiyyətləri və enerji qiymətlərinə həssaslığı fonunda onun qlobal göstəricilərlə müqayisəli təhlili xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu baxımdan, qlobal və yerli bazarlar arasında mövcud fərqlərin sistemli şəkildə araşdırılması zəruri hesab olunur.

Qlobal miqyasda 2025–2026-cı illərdə enerji qiymətlərində artım müşahidə olunmuşdur. Brent markalı xam neftin qiyməti 80 ABŞ dolları/barrel səviyyəsindən 95 ABŞ dolları/barrel səviyyəsinə yüksəlmiş, bu isə təxminən 18,75% artım deməkdir *[2][4]*. Yanacaq xərclərinin daşınma tariflərində orta hesabla 35% paya malik olduğu nəzərə alındıqda, nəzəri hesablamalara əsasən tariflərdə 6–7% artım gözlənilir. Lakin Hörmüz boğazında baş verən geosiyasi gərginliklər nəticəsində real bazarda bu göstərici 30–40% səviyyəsinə qədər yüksəlmişdir *[3]*.

Eyni tendensiya Azərbaycan bazarında da müşahidə olunsa da, təsirin xarakteri müəyyən fərqliliklər nümayiş etdirir. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi məlumatlarına əsasən, 2026-cı ilin yanvar–fevral aylarında istehlak qiymətləri indeksi (İQİ) əvvəlki ilin müvafiq dövrü ilə müqayisədə 105,7%, pərakəndə ticarət dövriyyəsi (PTD) isə 103,6% təşkil etmişdir *[7]*. Bu göstəricilər qiymət səviyyəsinin artdığını və bazarda iqtisadi aktivliyin davam etdiyini göstərir.

Bununla yanaşı, PwC Azerbaijan hesabatında qeyd olunur ki, yerli logistika bazarında daşınma tarifləri 25–35% intervalında artmışdır *[8]*.

Bu fərqin əsas səbəbi bazarın struktur xüsusiyyətləri ilə bağlıdır. Belə ki, mikro və kiçik müəssisələrin bazarda üstünlük təşkil etməsi (təxminən 75%) risklərin effektiv idarə olunmasını çətinləşdirir və qiymət mexanizmlərinin qeyri-sabitliyini artırır.

CƏDVƏL 4. QLOBAL VƏ AZƏRBAYCAN LOGİSTİKA BAZARLARININ MÜQAYİSƏSİ (2026)

Göstərici	**Qlobal bazar (2026)**	**Azərbaycan bazarı (2026)**
Enerji qiymətləri artımı	+18,75%	+18,75%
Tariflərə nəzəri təsir	+6–7%	+6–7%
Tariflərə real təsir	+30–40%	+25–35%
Qiymət sabitliyi göstəriciləri	UNCTAD, IEA məlumatları	İQİ: 105,7%, PTD: 103,6%
Bazar strukturu	Böyük şirkətlər üstünlük təşkil edir	Mikro və kiçik müəssisələr üstünlük təşkil edir

Aparılan müqayisəli təhlil göstərir ki, qlobal bazarda nəzəri olaraq 6–7% səviyyəsində gözlənilən tarif artımı geosiyasi risklərin təsiri ilə 30–40%-ə qədər yüksəlir. Azərbaycan bazarında isə struktur problemlər və qeyri-peşəkar iştirakçıların çoxluğu səbəbindən tarif artımı 25–35% intervalında formalaşır.

Nəticə etibarilə, Azərbaycan logistika bazarı qlobal tendensiyalara daha həssas reaksiya verir və risklərə qarşı dayanıqlılığı nisbətən zəif olaraq qiymətləndirilir.

IV. TƏKLIFLƏR

Aparılan təhlil göstərir ki, Azərbaycan logistika bazarında müşahidə olunan problemlərin əsas səbəbləri enerji qiymətlərinə yüksək həssaslıq, qeyri-formal fəaliyyətin geniş yayılması və institusional tənzimləmələrin yetərsizliyidir. Bu problemlərin aradan qaldırılması üçün kompleks və sistemli yanaşmanın tətbiqi zəruri hesab olunur.

İlk növbədə, logistika bazarında qiymət mexanizmlərinin effektiv fəaliyyətinin təmin olunması məqsədilə daşınma tariflərinin formalaşdırılmasında xərc əsaslı yanaşmanın tətbiqi genişləndirilməlidir. Bu yanaşma yanacaq, əmək, sığorta və digər əməliyyat xərclərinin tariflərdə adekvat şəkildə əks olunmasına imkan verərək qiymət siqnallarının düzgün formalaşmasına şərait yaradır.

Bununla yanaşı, institusional tənzimləmələrin gücləndirilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Logistika sektorunda fəaliyyət göstərən şirkətlər üçün minimum standartların və sertifikatlaşdırma tələblərinin tətbiqi qeyri-peşəkar iştirakçıların sayının azalmasına və xidmət keyfiyyətinin yüksəlməsinə şərait yaradar. Bu isə bazarda sağlam və dayanıqlı rəqabət mühitinin formalaşmasına töhfə verə bilər.

Digər vacib istiqamət risklərin idarə olunması mexanizmlərinin inkişaf etdirilməsidir. Xüsusilə enerji qiymətlərindəki dəyişkənlik və geosiyasi risklər nəzərə alınaraq, uzunmüddətli müqavilələrin bağlanması, sığorta alətlərindən istifadə və alternativ marşrutların tətbiqi təşviq olunmalıdır. Bu yanaşma logistika əməliyyatlarının dayanıqlılığını artırır və kəskin qiymət dalğalanmalarının təsirini azaldır.

Eyni zamanda, logistika sektorunda rəqəmsallaşmanın genişləndirilməsi zəruridir. Rəqəmsal platformaların, yük izləmə sistemlərinin və məlumat mübadiləsi texnologiyalarının tətbiqi logistika proseslərinin şəffaflığını və operativliyini artırır, bu isə həm xərclərin optimallaşdırılmasına, həm də xidmət keyfiyyətinin yüksəlməsinə imkan verir.

Yuxarıda qeyd olunan tədbirlərlə yanaşı, logistika bazarında qiymətlərin ölçülməsi və şəffaflığın artırılması məqsədilə institusional və rəqəmsal alətlərin tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu baxımdan Azərbaycan Logistika Qiymət İndeksinin (ALQİ) və Logistika Qiymət Portalının paralel şəkildə tətbiqi məqsədəuyğun hesab olunur.

Azərbaycan Logistika Qiymət İndeksi (ALQİ) logistika bazarında qiymət dinamikasının sistemli şəkildə ölçülməsi üçün nəzərdə tutulan vahid göstəricidir. Bu indeks logistika xidmətlərinin maya dəyərinə təsir edən əsas komponentləri (yanacaq, gömrük, əmək, infrastruktur və risk xərcləri) vahid metodologiya çərçivəsində birləşdirərək qiymət dəyişikliklərinin obyektiv qiymətləndirilməsinə imkan verir. ALQİ-nin formalaşdırılması məlumatların toplanması, xərc komponentlərinin çəkilərinin müəyyən edilməsi, indeksin vahid model əsasında hesablanması və nəticələrin müntəzəm olaraq açıqlanması mərhələlərini əhatə edir. Bu indeks logistika şirkətləri üçün tariflərin formalaşdırılmasında istinad göstəricisi kimi çıxış edə bilər.

Logistika Qiymət Portalı isə mikro səviyyədə qiymət şəffaflığını təmin edən rəqəmsal platforma kimi çıxış edir. Bu portal vasitəsilə logistika şirkətləri öz tariflərini standart formatda təqdim edir, tariflər əsas xərc komponentləri üzrə bölünür və sistem tərəfindən orta bazar göstəriciləri avtomatik hesablanır. Eyni zamanda, istifadəçilər müxtəlif şirkətlərin tariflərini müqayisə edə bilir və şəffaflıq səviyyəsinə görə formalaşdırılan reytinq sistemi vasitəsilə daha etibarlı xidmət təminatçılarını seçə bilir.

Beləliklə, ALQİ makro səviyyədə bazarın ümumi qiymət dinamikasını ölçən alət kimi, Logistika Qiymət Portalı isə mikro səviyyədə tariflərin müqayisəli və şəffaf təqdimatını təmin edən mexanizm kimi çıxış edir. Bu iki alətin birlikdə tətbiqi Azərbaycan logistika bazarında qiymət mexanizmlərinin sağlamlaşdırılması, qeyri-formal fəaliyyətin azaldılması və təchizat zəncirinin dayanıqlılığının artırılması üçün kompleks və effektiv model formalaşdırır.

V. NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqat göstərir ki, beynəlxalq logistika bazarında qiymət mexanizmlərinin formalaşmasına təsir edən əsas amillər enerji qiymətlərindəki dəyişkənlik və geosiyasi risklərdir. Xüsusilə Brent markalı xam neftin qiymətində müşahidə olunan artım daşınma xərclərinin yüksəlməsinə səbəb olmuş, lakin bu artımın miqyası yalnız iqtisadi faktorlarla deyil, eyni zamanda geosiyasi gərginliklərlə də şərtlənmişdir.

Qlobal və Azərbaycan logistika bazarlarının müqayisəli təhlili göstərir ki, nəzəri hesablamalara əsasən tarif artımı 6–7% səviyyəsində gözlənilsə də, real bazar şəraitində bu göstərici qlobal miqyasda 30–40%, Azərbaycan bazarında isə 25–35% intervalında dəyişir. Bu fərq xüsusilə Azərbaycan bazarında mikro və kiçik müəssisələrin üstünlük təşkil etməsi, risklərin idarə olunması mexanizmlərinin zəif inkişafı və institusional tənzimləmələrin yetərsizliyi ilə izah olunur.

Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, qiymət mexanizmlərinin təhrif olunması təchizat zəncirinin səmərəliliyinə mənfi təsir göstərir, xidmət keyfiyyətinin azalmasına və bazarda qeyri-sağlam rəqabət mühitinin formalaşmasına səbəb olur. Bu isə uzunmüddətli perspektivdə logistika sisteminin dayanıqlılığını zəiflədir.

Bu problemlərin aradan qaldırılması məqsədilə təklif olunan Azərbaycan Logistika Qiymət İndeksi (ALQİ) və Logistika Qiymət Portalı qiymətlərin həm makro, həm də mikro səviyyədə obyektiv ölçülməsini və şəffaflığın təmin olunmasını mümkün edir. Bu alətlərin tətbiqi logistika bazarında informasiya asimmetriyasını azaldır, tariflərin əsaslandırılmış şəkildə formalaşmasına şərait yaradır və bazar iştirakçıları arasında etimadı artırır.

Beləliklə, nəticə etibarilə qeyd etmək olar ki, logistika bazarında institusional tənzimləmələrin gücləndirilməsi, rəqəmsal həllərin tətbiqi və şəffaflıq mexanizmlərinin inkişaf etdirilməsi Azərbaycan üçün strateji əhəmiyyət kəsb edir. Bu tədbirlər təchizat zəncirinin dayanıqlılığının artırılmasına, qiymət mexanizmlərinin sağlamlaşdırılmasına və ölkənin regional logistika mərkəzi kimi mövqeyinin möhkəmləndirilməsinə xidmət edəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT

1.McKinsey & Company (2026). *The Future of Global Trade*.
2.Ernst & Young (2026). *Top 10 Geopolitical Developments*.
3.International Energy Agency (2026). *World Energy Outlook*.
4.United Nations Conference on Trade and Development (2026). *Global Trade and Development Report*.
5.World Bank (2025). *Logistics Performance Index*.
6.Organisation for Economic Co-operation and Development (2025). *Transport and Logistics Trends*.
7.United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (2025). *Regional Connectivity and Transit Corridors in the Caucasus*.
8.PwC Azerbaijan (2026). *Logistics and Supply Chain Review*.
9.Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi (2026). *Azərbaycan üzrə iqtisadi göstəricilər*.
10.Azərbaycan Respublikası İqtisadiyyat Nazirliyi (2025–2026). *Rəsmi hesabatlar və gömrük statistikası*.

ORTA DƏHLİZ ÜZRƏ YÜKDAŞIMALARDA AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ TRANZİT POTENSİALI: İNFRASTRUKTUR, RƏQƏMSAL LOGİSTİKA VƏ İNKİŞAF PERSPEKTİVLƏRİ

Oktay Məmmədov
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası,
Dünya İqtisadiyyatı/Gömrük işi,
Bakı, Azərbaycan
oktay.memmedov.2022@gmail.com

Xülasə. Qlobal ticarət mühitində geosiyasi gərginliklərin artması və nəqliyyat marşrutlarının alternativləşdirilməsinə olan tələbin yüksəlməsi Avrasiya regionunda Orta Dəhlizə — Transxəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutuna — marağı əhəmiyyətli dərəcədə gücləndirmişdir. Məqalədə Orta Dəhliz üzrə daşımaların inkişaf meylləri, Azərbaycanın tranzit rolu, infrastruktur potensialı və gömrük-rəqəmsal mexanizmlərin tranzit axınlarına təsiri sistemli formada təhlil olunur. Tədqiqat göstərir ki, Azərbaycanın Orta Dəhlizdə rəqabət üstünlüyünün möhkəmləndirilməsi rəqəmsal harmonizasiyanın gücləndirilməsini, multimodal koordinasiyanın təkmilləşdirilməsini və Zəngəzur dəhlizinin institusional çərçivəsinin formalaşdırılmasını tələb edir.

Açar sözlər: *Orta Dəhliz, TITR, tranzit daşımalar, Azərbaycan, logistika, BTQ dəmir yolu, Zəngəzur dəhlizi, rəqəmsal gömrük.*

I. GIRIS

Müasir beynəlxalq iqtisadi münasibətlər sistemində nəqliyyat dəhlizləri artıq sadəcə coğrafi keçid funksiyası daşımır — onlar inteqrasiya olunmuş logistika, ticarət və xidmət ekosistemləri kimi fəaliyyət göstərir. Son illərdə qlobal təchizat zəncirlərindəki pozuntular, regional münaqişələr, sanksiya mexanizmlərinin genişlənməsi və pandemiyadan sonrakı logistika böhranları marşrut risklərini artıraraq alternativ tranzit dəhlizlərə marağı kəskin şəkildə gücləndirmişdir.

Bu kontekstdə Çin və Mərkəzi Asiyadan başlayaraq Xəzər dənizi üzərindən Azərbaycan, Gürcüstan və Türkiyə vasitəsilə Avropaya uzanan Orta Dəhliz Şimali marşruta nisbətən 3.000 km qısa olmaqla, yüklərin 18–23 günə çatdırılmasını təmin edən strateji alternativ kimi önə çıxmışdır. Mövcud elmi araşdırmalarda Orta Dəhlizin

tranzit potensialı geniş şəkildə təhlil edilsə də, Azərbaycanın infrastruktur potensialı, gömrük-rəqəmsal mexanizmləri və Zəngəzur dəhlizinin bu marşruta inteqrasiyasının mümkün nəticələri kompleks şəkildə kifayət qədər araşdırılmamışdır. Tədqiqatın əsas məqsədi həmin məsələləri sistemli şəkildə qiymətləndirmək və inkişaf istiqamətlərini müəyyənləşdirməkdir.

II. METODLAR

Tədqiqat prosesində kəmiyyət və keyfiyyət metodlarının birgə tətbiqi həyata keçirilmişdir. Metodoloji əsas Dünya Bankı, OECD, Asiya İnkişaf Bankı kimi beynəlxalq institutların analitik hesabatlarının öyrənilməsi, rəsmi statistik mənbələrin — Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi, "Azərbaycan Dəmir Yolları" QSC, Ələt Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı, İqtisadi İslahatların Təhlili və Kommunikasiya Mərkəzinin Tranzit İcmalı (2024) və Tranzit Yükdaşımalar üzrə Koordinasiya Şurasının (transit.gov.az) — məlumatlarının müqayisəli təhlilinə əsaslanmışdır.

Məlumatların emalı zamanı tranzit axınlarının dinamikası üzrə zaman sıralarının müqayisəsi, infrastruktur göstəricilərinin qiymətləndirilməsi və logistika səmərəliliyinin interpretasiyası tətbiq olunmuşdur. Bundan əlavə, benchmarking metodu ilə Azərbaycanın göstəriciləri tərəfdaş ölkələr — Qazaxıstan, Gürcüstan və Türkiyə — ilə müqayisə olunmuş, Orta Dəhliz üzrə idarəetmə və infrastruktur mexanizmlərinin araşdırılmasında sistem yanaşmasından istifadə edilmişdir.

III. NƏTICƏ VƏ MÜZAKIRƏLƏR

Orta Dəhliz üzrə yükdaşımalar son üç ildə sıçrayış xarakterli artım nümayiş etdirmişdir. Cədvəl 1-də göstərildiyi kimi, 2021-ci ildə 350.000 ton olan həcm 2024-cü ildə 4,5 milyon tona çatmış — üç il ərzində 12 dəfədən çox artmışdır. 2030-cu ilə qədər isə bu həcmin 11 milyon tona çatması proqnozlaşdırılır (Dünya Bankı, 2023). Bu artımın əsas lokomotivi 2022-ci ildən etibarən geosiyasi dəyişikliklər fonunda Şimal marşrutuna olan tələbatın azalması olmuşdur — həmin ildə Şimal dəhlizi üzrə qərb istiqamətli daşımalar 51% azalmışdır.

CƏDVƏL 1. TITR ÜZRƏ YÜKDASIMALARIN DINAMIKASI (2021–2030)

İl		Həcm (mln ton)	Artım (%)	Konteyner (TEU)
2021		0,35	—	~8.000
2022		~1,67	+377%	~14.000
2023		2,76	+65%	~19.000
2024		4,5	+63%	50.500
2030*		11,0	Proqnoz	100.000+

*Mənbə: TITR Assosiasiyası, Qazaxıstan Nəqliyyat Nazirliyi, Dünya Bankı (2023), Asia House (2025). *Proqnoz.*

Azərbaycanda ümumi tranzit yükdaşımalar 2019-cu ildəki 5,7 milyon tondan 2024-cü ildə 14,5 milyon tona yüksəlmiş — beş il ərzində 2,5 dəfə artmışdır. Cədvəl 2-də əks olunan infrastruktur göstəriciləri bu artımın maddi əsasını açıq şəkildə nümayiş etdirir.

CƏDVƏL 2. AZƏRBAYCANIN ORTA DƏHLIZ INFRASTRUKTURUNUN ƏSAS GÖSTƏRICILƏRI

İnfrastruktur obyekti	Mövcud tutum	Hədəf tutum
BTQ dəmir yolu xətti	5 mln ton/il	17 mln ton/il (2034)
Ələt Beynəlxalq Limanı	15 mln ton/il	500.000 TEU (konteyner)
TITR ümumi tutumu	6 mln ton/il	10 mln ton/il (2027)
Horadiz–Ağbənd d/y (tikintidə)	—	15 mln ton/il potensial

Mənbə: ADY QSC, Ələt Limanı illik hesabatları, transit.gov.az, Dünya Bankı (2023).

Azərbaycanın bu marşrutdakı mövqeyi əsasən coğrafi yerləşmə üstünlüyü, multimodal nəqliyyat imkanları və logistika infrastrukturunun inkişaf səviyyəsi ilə izah olunur. BTQ xəttinin Gürcüstan seqmentindəki

yenidənqurma işləri nəticəsində illik yükdaşıma qabiliyyəti 1 milyon tondan 5 milyon tona qaldırılmışdır. Ələt limanının 2024-cü ildəki konteyner dövriyyəsi 40,8% artaraq 96.952 TEU-ya çatmış, limanın konteyner tutumunun 500.000 TEU-ya artırılması planlaşdırılır. Çindən Azərbaycana konteyner blok-qatarları orta hesabla 8–10 günə çatdırılır ki, bu da ənənəvi marşrutlarla müqayisədə daşınma müddətini yarıya endirməyə imkan verir.

Rəqəmsal sahədə Avtomatlaşdırılmış Risk Analizi Sistemi (ARAS), "Bir Pəncərə" platforması və Elektron Gömrük Bəyannamə Sistemi tranzit əməliyyatlarının operativliyini artırmışdır. 2024-cü ildə Çindən 358 blok-qatar göndərilmiş, 2025-ci ilin ilk 11 ayında isə ADY 350 blok-qatar qəbul etmişdir — bu, əvvəlki ilin eyni dövrü ilə müqayisədə 34% artım deməkdir. Bununla belə, bölgə ölkələri arasında tam rəqəmsal harmonizasiya hələ tamamlanmamış, Xəzər keçidindəki multimodal məntəqələrdə koordinasiya boşluqları zaman-zaman əməliyyat gecikmələrinə səbəb olur.

Zəngəzur dəhlizinin — TRIPP marşrutunun — reallaşması Azərbaycanın tranzit mövqeyini keyfiyyətcə yeni mərhələyə çıxara bilər. Horadiz–Ağbənd dəmir yolu xəttinin tikintisi davam edir; ilkin texniki qiymətləndirməyə görə marşrut illik 15 milyon ton yük daşıma potensialına malikdir. 2025-ci ilin avqustunda Vaşinqtonda imzalanan Birgə Bəyannamə layihəyə beynəlxalq hüquqi-siyasi dəstəyi rəsmiləşdirmişdir. Əldə edilən nəticələr göstərir ki, nəqliyyat əlaqələrinin genişləndirilməsi regionda iqtisadi inteqrasiyanı gücləndirməklə yanaşı, siyasi sabitliyin möhkəmləndirilməsinə də töhfə verə bilər.

IV. TƏKLIFLƏR

Araşdırmanın nəticələrinə əsasən aşağıdakı tədbirlərin mərhələli şəkildə həyata keçirilməsi məqsədəuyğun hesab edilir:

- Orta Dəhliz üzrə iştirakçı ölkələr arasında koordinasiyanı təmin edən regional idarəetmə platformasının formalaşdırılması — vahid elektron sənəd dövriyyəsi sistemi tranzit müddətlərinin azaldılmasına birbaşa töhfə verəcəkdir.
- Tranzit xərclərinin şəffaflığını yüksəltmək məqsədilə vahid tarif pəncərəsi mexanizminin tətbiqi — bu isə Xəzər keçidindəki əməliyyat gecikmələrini minimuma endirəcəkdir.
- Gömrük və sərhəd əməliyyatlarında vaxt itkilərini minimuma endirmək üçün rəqəmsal tranzit sistemlərinin genişləndirilməsi və Zəngəzur dəhlizinin institusional çərçivəsinin tezliklə formalaş-dırılması.

Bu tədbirlər Orta Dəhlizin rəqabət üstünlüklərini artırmaqla yanaşı, Zəngəzur istiqamətinin iqtisadi effektivliyinin yüksəldilməsinə real töhfə verə bilər.

ƏDƏBIYYAT

[1] Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi, Nəqliyyat üzrə rəsmi statistika, Bakı, Azərbaycan, rəsmi statistika bazası, (2023–2024).
[2] Dünya Bankı, Middle Trade and Transport Corridor, Vaşinqton DC, ABŞ, (2023).
[3] İqtisadi İslahatların Təhlili və Kommunikasiya Mərkəzi, Tranzit İcmalı, Bakı, Azərbaycan, (2024).
[4] Azərbaycan Respublikasının Tranzit Portalı, transit.gov.az, (2025).
[5] TITR Assosiasiyası, Rəsmi statistika, middlecorridor.com, (2024).
[6] "Azərbaycan Dəmir Yolları" QSC, BTQ xətti üzrə texniki göstəricilər, Bakı, Azərbaycan, (2024).
[7] Ələt Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı, İllik fəaliyyət hesabatları, Ələt, Azərbaycan, (2022–2024).
[8] TRACECA, 2023-cü il üzrə statistik hesabat, traceca-org.org, (2023).
[9] UNECE, Euro-Asian transport corridors and multimodal transport, unece.org, (2022–2024).
[10] Asia House, The Middle Corridor: The future of Central Asian growth and cooperation, London, (2025).

AVROPA NƏQLİYYAT NAZİRLƏRİ KONFRANSININ (ECMT) KEYFİYYƏT XARTİYASI VƏ ONUN TƏHLÜKƏSİZLİK ASPEKTLƏRİ

Nicat Kərimov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
Bakı, Azərbaycan
nkarimov@beu.edu.az
Fərrux Mustafayev Aydın
Logistika və Nəqliyyat kafedrası,
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
fmustafayev1@std.beu.edu.az

Xülasə. Bu məqalədə Avropa Nəqliyyat Nazirləri Konfransı (ECMT) tərəfindən qəbul edilmiş Keyfiyyət Xartiyasının əsas prinsipləri və onun beynəlxalq avtomobil daşımalarında təhlükəsizlik baxımından rolu təhlil olunur. Xartiya, xüsusilə beynəlxalq yükdaşımalarında fəaliyyət göstərən daşıyıcıların peşəkarlıq səviyyəsinin artırılması, bazarda ədalətli rəqabətin təmin edilməsi və qeyri-qanuni fəaliyyətlərin qarşısının alınması məqsədi daşıyır.

Məqalədə göstərilir ki, Keyfiyyət Xartiyası nəqliyyat sektorunda fəaliyyət göstərən şirkətlər üçün müəyyən standartlar müəyyən edir. Bu standartlara maliyyə dayanıqlılığı, peşəkar kompetensiya, qanunvericiliyə uyğunluq və əməliyyat şəffaflığı daxildir. Bu tələblər, bazara yalnız etibarlı və məsuliyyətli daşıyıcıların daxil olmasını təmin edərək ümumi təhlükəsizlik səviyyəsini yüksəldir.

Təhlükəsizlik aspektləri baxımından Xartiya sürücülərin iş və istirahət rejiminə riayət olunması, texniki cəhətdən saz nəqliyyat vasitələrinin istifadəsi və yol hərəkəti qaydalarına əməl olunmasını ön plana çəkir. Bu isə yol-nəqliyyat hadisələrinin azalmasına, sürücülərin iş şəraitinin yaxşılaşmasına və yükün təhlükəsiz çatdırılmasına müsbət təsir göstərir.

Eyni zamanda məqalədə vurğulanır ki, ECMT çərçivəsində tətbiq edilən kvota sistemi və icazə mexanizmləri nəqliyyat bazarında nəzarəti gücləndirir və təhlükəsizlik standartlarının pozulmasının qarşısını alır. Xartiya üzv ölkələr arasında vahid yanaşmanın formalaşmasına və beynəlxalq əməkdaşlığın inkişafına da töhfə verir.

Açar sözlər: Avropa Nəqliyyat Nazirləri Konfransı, nəqliyyat təhlükəsizliyi, beynəlxalq avtomobil daşımaları, Keyfiyyət Xartiyası

I. GİRİŞ

Müasir dövrdə qloballaşma proseslərinin sürətlənməsi beynəlxalq ticarətin həcmini əhəmiyyətli dərəcədə artırmış və bu artım nəqliyyat-logistika sistemlərinin rolunu daha da gücləndirmişdir [6], [5]. Xüsusilə avtomobil nəqliyyatı, "qapıdan-qapıya" xidmət imkanları, çevik marşrut seçimi və nisbətən aşağı ilkin təşkilati xərcləri ilə beynəlxalq yükdaşımalarında geniş istifadə olunan nəqliyyat növlərindən biridir [8]. Lakin bu üstünlüklərlə yanaşı, sektorun sürətli inkişafı təhlükəsizlik, keyfiyyət standartları və bazarda ədalətli rəqabət kimi problemləri də ön plana çıxarmışdır [5], [6].

Beynəlxalq avtomobil daşımalarında müxtəlif ölkələrin fərqli qanunvericilik bazaları, texniki standartları və idarəetmə mexanizmləri mövcuddur. Bu isə bəzən nəqliyyat əməliyyatlarında uyğunsuzluqlara, təhlükəsizlik risklərinin artmasına və qeyri-bərabər rəqabət mühitinin formalaşmasına səbəb olur [5]. Məhz bu kimi problemlərin aradan qaldırılması və vahid yanaşmanın təmin edilməsi məqsədilə Avropa Nəqliyyat Nazirləri Konfransı çərçivəsində bir sıra normativ və tövsiyə xarakterli sənədlər hazırlanmışdır ki, onların içərisində Keyfiyyət Xartiyası xüsusi əhəmiyyət kəsb edir [1], [2].

Avropa Nəqliyyat Nazirləri Konfransı Keyfiyyət Xartiyası beynəlxalq avtomobil daşımaları sektorunda fəaliyyət göstərən daşıyıcılar üçün minimal keyfiyyət və təhlükəsizlik standartlarını müəyyən edən konseptual sənəd kimi çıxış edir [1]. Bu sənədin əsas məqsədi bazara giriş üçün daha sərt və şəffaf meyarların tətbiqi, qeyri-peşəkar və məsuliyyətsiz operatorların fəaliyyətinin məhdudlaşdırılması, eləcə də ümumi nəqliyyat

sisteminin dayanıqlılığının artırılmasıdır [1], [2]. Xartiya, həmçinin üzv ölkələr arasında normativ uyğunlaşmanı təşviq edərək beynəlxalq əməkdaşlığın gücləndirilməsinə xidmət edir [2].

Təhlükəsizlik aspekti Xartiyanın əsas sütunlarından biridir. Belə ki, sənəd sürücülərin iş və istirahət vaxtlarının düzgün tənzimlənməsini, nəqliyyat vasitələrinin mütəmadi texniki baxışdan keçirilməsini, yüklərin düzgün yerləşdirilməsi və daşınması qaydalarına riayət olunmasını prioritet istiqamətlər kimi müəyyən edir [1], [3]. Bu tədbirlər yol-nəqliyyat hadisələrinin sayının azaldılmasına, insan həyatının qorunmasına və ətraf mühitə mənfi təsirlərin minimuma endirilməsinə yönəlmişdir [5]. Eyni zamanda, təhlükəsizlik tələblərinin gücləndirilməsi logistika əməliyyatlarının etibarlılığını artıraraq tədarük zəncirinin fasiləsizliyini təmin edir [8].

Bundan əlavə, ECMT çərçivəsində tətbiq olunan kvota sistemi və çoxşaxəli icazə mexanizmləri bazarın tənzimlənməsində mühüm rol oynayır [2]. Bu alətlər vasitəsilə yalnız müəyyən kriteriyalara cavab verən daşıyıcıların beynəlxalq daşımalar həyata keçirməsinə icazə verilir. Nəticədə, həm təhlükəsizlik standartlarının qorunması təmin olunur, həm də bazarda qeyri-sağlam rəqabətin qarşısı alınır [1], [5]. Bu yanaşma eyni zamanda nəqliyyat sektorunda keyfiyyətin yüksəldilməsinə və xidmət səviyyəsinin yaxşılaşdırılmasına şərait yaradır [4].

Beləliklə, Avropa Nəqliyyat Nazirləri Konfransı Keyfiyyət Xartiyası yalnız inzibati və tənzimləyici sənəd deyil, həm də beynəlxalq avtomobil nəqliyyatında təhlükəsizlik mədəniyyətinin formalaşdırılmasına xidmət edən strateji alət kimi qiymətləndirilə bilər [1], [7]. Bu məqalədə Xartiyanın əsas müddəaları və onların praktik tətbiqi, xüsusilə təhlükəsizlik aspektləri prizmasından geniş şəkildə təhlil edilir.

II. ƏDƏBİYYAT İCMALI

Beynəlxalq avtomobil nəqliyyatında keyfiyyət və təhlükəsizlik məsələləri uzun illərdir həm akademik tədqiqatların, həm də beynəlxalq təşkilatların fəaliyyətinin əsas istiqamətlərindən biri olmuşdur [5], [6]. Xüsusilə Avropa Nəqliyyat Nazirləri Konfransı tərəfindən qəbul edilmiş Keyfiyyət Xartiyası bu sahədə mühüm normativ baza rolunu oynayır və bir çox tədqiqatlarda onun tətbiqi və təsirləri geniş şəkildə təhlil olunur [1], [2].

Mövcud ədəbiyyat göstərir ki, beynəlxalq nəqliyyat sektorunda təhlükəsizliyin təmin olunması yalnız texniki tədbirlərlə deyil, eyni zamanda institusional və idarəetmə mexanizmləri ilə sıx bağlıdır [5]. International Road Transport Union tərəfindən yayımlanan hesabatlarda sürücülərin iş və istirahət rejiminə riayət olunmasının yol-nəqliyyat hadisələrinin azalmasında mühüm rol oynadığı vurğulanır [4]. Bu yanaşma ECMT Keyfiyyət Xartiyasının əsas prinsipləri ilə üst-üstə düşür və onun praktik əhəmiyyətini təsdiqləyir [1].

Bununla yanaşı, European Commission tərəfindən qəbul edilmiş normativ sənədlərdə (xüsusilə sürücülərin iş vaxtı və istirahət dövrlərini tənzimləyən qaydalarda) nəqliyyat təhlükəsizliyinin artırılması üçün vahid standartların tətbiqinin vacibliyi qeyd olunur [3]. Bu sənədlər ECMT çərçivəsində müəyyən edilmiş prinsiplərin Avropa miqyasında genişləndirilməsinə və hüquqi baxımdan gücləndirilməsinə xidmət edir [2].

Elmi ədəbiyyatda həmçinin qeyd olunur ki, nəqliyyat bazarında keyfiyyət standartlarının tətbiqi rəqabət mühitinə müsbət təsir göstərir [6], [7]. Araşdırmalar göstərir ki, maliyyə dayanıqlılığı, peşəkar kompetensiya və texniki uyğunluq kimi meyarların tətbiqi qeyri-rəsmi fəaliyyətin azalmasına və xidmət səviyyəsinin yüksəlməsinə səbəb olur. Bu isə öz növbəsində təhlükəsizlik göstəricilərinin yaxşılaşmasına gətirib çıxarır [5], [8].

Digər tərəfdən, bəzi tədqiqatçılar kvota sistemlərinin və icazə mexanizmlərinin bazarda müəyyən məhdudiyyətlər yaratdığını və rəqabəti qismən zəiflədə biləcəyini qeyd edirlər [2], [6]. Lakin əksər araşdırmalar bu mexanizmlərin düzgün tətbiqi halında təhlükəsizlik və keyfiyyət baxımından daha çox üstünlüklər yaratdığını göstərir [1], [5]. Xüsusilə beynəlxalq daşımaların yüksək riskli sahə olduğu nəzərə alınarsa, bu cür tənzimləmə alətlərinin əhəmiyyəti daha da artır.

Mövcud ədəbiyyat Avropa Nəqliyyat Nazirləri Konfransı Keyfiyyət Xartiyasının beynəlxalq avtomobil nəqliyyatında təhlükəsizliyin və keyfiyyətin artırılması üçün effektiv alət olduğunu təsdiqləyir [1], [7]. Bu sənəd həm normativ çərçivə, həm də praktik tətbiq baxımından nəqliyyat sektorunun dayanıqlı inkişafına mühüm töhfə verir və gələcək tədqiqatlar üçün geniş imkanlar açır [8].

III. TƏHLİL VƏ ANALİZ

Avropa Nəqliyyat Nazirləri Konfransı Keyfiyyət Xartiyasının təhlükəsizlik aspektləri çərçivəsində aparılan təhlil göstərir ki, bu sənəd beynəlxalq avtomobil nəqliyyatında sistemli risklərin azaldılması və idarə olunması

baxımından kompleks yanaşma təqdim edir [1], [5]. Xartiyanın əsas üstünlüyü onun yalnız normativ tələblər toplusu kimi deyil, həm də bazar davranışlarını tənzimləyən institusional mexanizm kimi çıxış etməsidir [1], [2].

İlk növbədə, Xartiyada nəzərdə tutulan peşəkarlıq və bazara giriş meyarları təhlükəsizliklə birbaşa əlaqəlidir. Maliyyə dayanıqlılığı, texniki təminat və peşəkar kompetensiya kimi kriteriyalar daşıyıcıların təsadüfi və qeyri-peşəkar fəaliyyətinin qarşısını alır [1]. Təhlil göstərir ki, bu cür selektiv yanaşma nəqliyyat sektorunda risklərin ilkin mərhələdə filtrasiya olunmasına xidmət edir [6]. Yəni təhlükəsizlik yalnız əməliyyat mərhələsində deyil, bazara giriş səviyyəsində təmin olunmağa başlanır.

İkinci mühüm istiqamət sürücü amili və insan faktorunun idarə olunmasıdır. Xartiya çərçivəsində sürücülərin iş və istirahət rejiminin tənzimlənməsi yorğunluq risklərini minimuma endirir [3]. Empirik tədqiqatlar göstərir ki, yol-nəqliyyat hadisələrinin əhəmiyyətli hissəsi məhz insan faktorundan qaynaqlanır [4]. Bu baxımdan, Xartiyanın bu istiqamətdəki tələbləri təhlükəsizliyin artırılmasında yüksək effektivlik nümayiş etdirir və International Road Transport Union tərəfindən irəli sürülən yanaşmalarla uyğunluq təşkil edir [4].

Üçüncü aspekt texniki təhlükəsizlik və nəqliyyat vasitələrinin uyğunluğudur. Təhlil göstərir ki, mütəmadi texniki baxışların və standartlara uyğunluğun təmin edilməsi mexaniki nasazlıqlardan qaynaqlanan riskləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldır [5]. Xartiya bu sahədə preventiv (profilaktik) yanaşmanı təşviq edir ki, bu da hadisələrin baş verməsindən sonra deyil, əvvəlcədən qarşısının alınmasına yönəlmiş effektiv modeldir [1].

Bununla yanaşı, kvota sistemi və icazə mexanizmlərinin təhlükəsizlik baxımından rolu da xüsusi qeyd olunmalıdır. Bu alətlər bazara nəzarəti gücləndirərək yalnız müəyyən standartlara cavab verən operatorların fəaliyyətinə imkan yaradır [2]. Lakin aparılan analiz göstərir ki, bu mexanizmlərin effektivliyi onların tətbiq səviyyəsindən və şəffaflığından asılıdır. Bəzi hallarda kvota məhdudiyyətləri bazarda rəqabəti zəiflədə və qeyri-rəsmi fəaliyyətin artmasına səbəb ola bilər [6]. Bu isə dolayısı ilə təhlükəsizlik risklərini yenidən artıra bilər.

Digər tərəfdən, European Commission tərəfindən tətbiq olunan normativ çərçivələrlə müqayisə göstərir ki, ECMT Xartiyası daha çox tövsiyə xarakterli olsa da, onun prinsipləri Avropa İttifaqı daxilində hüquqi mexanizmlərlə gücləndirilmişdir [3]. Bu isə Xartiyanın praktik effektivliyinin əsasən milli səviyyədə implementasiyadan asılı olduğunu göstərir.

Ümumilikdə aparılan analiz belə nəticəyə gəlməyə əsas verir ki, ECMT Keyfiyyət Xartiyası beynəlxalq avtomobil nəqliyyatında təhlükəsizliyin təmin olunması üçün effektiv konseptual çərçivə yaradır [1], [5]. Onun güclü tərəfi çoxsəviyyəli yanaşma (insan, texnika, institut) təqdim etməsi, zəif tərəfi isə icra mexanizmlərinin bəzi hallarda qeyri-bərabər tətbiq olunmasıdır [2], [6]. Bu baxımdan, gələcəkdə Xartiyanın effektivliyinin artırılması üçün monitorinq sistemlərinin gücləndirilməsi, rəqəmsal nəzarət alətlərinin tətbiqi və beynəlxalq koordinasiyanın dərinləşdirilməsi zəruri hesab olunur [7], [8].

IV. NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqat və təhlillər göstərir ki, Avropa Nəqliyyat Nazirləri Konfransı Keyfiyyət Xartiyası beynəlxalq avtomobil nəqliyyatında təhlükəsizlik və keyfiyyət standartlarının formalaşdırılmasında mühüm rol oynayır. Xartiya bazara giriş meyarlarından başlayaraq əməliyyat proseslərinə qədər bütün mərhələləri əhatə edən kompleks yanaşma təqdim edir və bu xüsusiyyət onu effektiv tənzimləyici alətə çevirir.

Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, sürücülərin iş və istirahət rejiminin tənzimlənməsi, nəqliyyat vasitələrinin texniki uyğunluğunun təmin edilməsi və peşəkar daşıyıcıların seçilməsi kimi tədbirlər yol-nəqliyyat hadisələrinin azalmasına və ümumi təhlükəsizlik səviyyəsinin yüksəlməsinə birbaşa təsir göstərir. Bu baxımdan, Xartiyanın prinsipləri beynəlxalq təşkilatların, o cümlədən International Road Transport Union və European Commission tərəfindən müəyyən edilmiş yanaşmalarla uzlaşır və onların praktiki tətbiqini tamamlayır.

Eyni zamanda, araşdırma göstərir ki, kvota sistemi və icazə mexanizmləri təhlükəsizlik baxımından müsbət təsir göstərsə də, onların effektivliyi tətbiq səviyyəsindən və şəffaf idarəetmədən asılıdır. Bu mexanizmlərin qeyri-bərabər tətbiqi bazarda müəyyən disbalanslar yarada və dolayısı ilə təhlükəsizlik risklərini artıra bilər.

Nəticə etibarilə, ECMT Keyfiyyət Xartiyası beynəlxalq nəqliyyat sektorunda təhlükəsizliyin təmin olunması üçün mühüm strateji çərçivə rolunu oynayır. Onun effektivliyinin daha da artırılması üçün üzv ölkələr arasında koordinasiyanın gücləndirilməsi, nəzarət və monitorinq mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi, eləcə də rəqəmsal

texnologiyaların tətbiqinin genişləndirilməsi zəruri hesab olunur. Bu istiqamətdə atılacaq addımlar daha təhlükəsiz, dayanıqlı və şəffaf beynəlxalq nəqliyyat sisteminin formalaşmasına töhfə verəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT

1. ECMT (2005). *Quality Charter for International Road Haulage*. Paris: European Conference of Ministers of Transport.
2. Avropa Nəqliyyat Nazirləri Konfransı (2006). *Annual Report on Transport Policy and Safety*. Paris.
3. European Commission (2019). *Regulation (EC) No 561/2006: Driving Time and Rest Periods – Implementation Report*. Brussels.
4. International Road Transport Union (2020). *Professional Drivers and Road Safety Guidelines*. Geneva.
5. UNECE (2021). *Road Safety and Transport Security in Europe*. Geneva: United Nations Economic Commission for Europe.
6. OECD/ITF (2019). *Road Transport Safety Performance Indicators*. Paris: International Transport Forum.
7. Button, K. (2010). *Transport Economics*. Edward Elgar Publishing.
8. Rodrigue, J.-P. (2020). *The Geography of Transport Systems*. New York: Routledge.

İXRACATIN ARTIRILMASINDA T1 TRANZİT SƏNƏDİNİN ROLU

Elvin Əlirzayev
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
Bakı, Azərbaycan

Nicat Kərimov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
nkarimov@beu.edu.az

***Xülasə*:** Məqalədə beynəlxalq tranzit daşımalarında T1 gömrük sənədinin rolu və effektivliyi araşdırılır. Tədqiqat çərçivəsində Ümumi Tranzit (Common Transit – CT) sistemi daxilində T1 prosedurunun hüquqi əsasları, əməliyyat mexanizmi və logistika proseslərinə təsiri təhlil edilmiş, onun BYD (TIR) sistemi ilə müqayisəli xüsusiyyətləri müəyyənləşdirilmişdir. Araşdırma göstərir ki, T1 proseduru Aİ və EFTA ölkələri daxilində gömrük nəzarətinin optimallaşdırılması, tranzit vaxtının qısaldılması, logistika xərclərinin azaldılması və risklərin daha effektiv idarə olunması baxımından yüksək səmərəlilik nümayiş etdirir. Elektron tranzit sistemlərinin, xüsusilə NCTS platformasının tətbiqi prosedurun şəffaflığını və operativliyini artıraraq regional ticarət dövriyyəsinin genişlənməsinə şərait yaradır. Eyni zamanda müəyyən edilmişdir ki, T1 prosedurunun əsas məhdudiyyəti onun coğrafi əhatə dairəsinin regional xarakter daşımasıdır. Nəticə etibarilə, T1 sistemi qlobal tranzit mexanizmlərini tamamlayan və regional logistika inteqrasiyasını gücləndirən mühüm gömrük aləti kimi qiymətləndirilir.

Açar sözlər: T1 proseduru, beynəlxalq tranzit, Ümumi Tranzit (CT), BYD sistemi, SAD, AB/EFTA, tranzit səmərəliliyi, gömrük rəsmiləşdirilməsi

I. GİRİŞ

Beynəlxalq ticarət müasir iqtisadiyyatın mühüm elementlərindən biridir və qlobal mal dövriyyəsi ölkələr arasında iqtisadi əlaqələrin güclənməsində əsas rol oynayır (WB, 2020; UNCTAD, 2022). Bu prosesdə yük daşımalarının təhlükəsiz, sürətli və səmərəli həyata keçirilməsi gömrük prosedurlarının düzgün təşkilindən birbaşa asılıdır (WCO, 2022; OECD, 2018). Tranzit daşımaları, yəni malların bir ölkədən digərinə gömrük nəzarəti altında daşınması, ticarətin fasiləsizliyini təmin edən vacib mexanizmdir (EC, 2021; IRU, 2024). Bu baxımdan, tranzit prosedurlarının standartlaşdırılması və rəqəmsallaşdırılması beynəlxalq yük daşımalarının səmərəliliyini artırır, logistika xərclərini azaldır və çatdırılma müddətlərini qısaldır (EC, 2022; OECD, 2023).

T1 sənədi bu prosesdə əsas rol oynayan gömrük sənədlərindən biridir. T1 proseduru, Ümumi Tranzit (Common Transit – CT) sistemi çərçivəsində həyata keçirilir və Aİ (Avropa İttifaqı) və EFTA (Avropa Azad Ticarət Assosiasiyası) ölkələri ərazisindən tranzit malların təhlükəsiz daşınmasını təmin edir (EC, 2021; UNECE, 2023). Bu sənəd malların gömrük nəzarəti altında daşınmasını rəsmi şəkildə təsdiqləyir və gömrük orqanları üçün bütün zəruri məlumatları ehtiva edir (EC, 2022).

T1 sənədinin əhəmiyyəti yalnız gömrük nəzarətinin təmin olunmasında deyil, həm də yükdaşımaların səmərəliliyinin artırılması, xərclərin azaldılması və daşıyıcılara çevik çatdırılma imkanlarının təmin edilməsi kimi amillərdə özünü göstərir (OECD, 2023; WCO, 2022). BYD (Beynəlxalq Yük Daşımaları Konvensiyası) sistemi ilə müqayisədə T1 proseduru daha çevik və regional tranzit üçün əlverişli alternativ hesab olunur (IRU, 2024; UNECE, 2023).

Bu məqalədə T1 sənədinin beynəlxalq tranzitdə rolu, onun əməliyyat mexanizmi, BYD sistemi ilə müqayisədə üstünlükləri, həmçinin AB/EFTA və digər qoşulan ölkələrdə tətbiqi və səmərəliliyi təhlil ediləcəkdir. Məqsəd T1 prosedurunun beynəlxalq ticarət proseslərində effektivliyin artırılmasında oynadığı strateji rolun araşdırılmasıdır (European Commission, 2021; OECD, 2023).

T1 prosedurunun tarixi və hüquqi bazası

BYD sistemi özlüyündə unikal deyildir və buna görə də bir çox daşıyıcılar ona alternativ mexanizmlər axtarmağa başlamışdır (IRU, 2024). Mövcud BYD sisteminə alternativ olaraq Avropa gömrük tranzit sisteminin yaradılması zəruriliyi 1968-ci ildə Avropa İqtisadi Birliyi (AİB) ölkələrində Ümumi Gömrük Tarifinin qəbul olunması ilə əlaqədar yaranmışdır (EC, 2021). Ümumi Gömrük Tarifi və gömrük qanunvericiliyinin qəbul edilməsi, yeni ölkələrin AİB-ə qoşulması isə 1987-ci ildə Ümumi Tranzit Konvensiyası və Vahid İnzibati Sənəd Konvensiyasının imzalanmasını asanlaşdırmışdır. Bu Konvensiyaların əsasında 2002-ci ildə "CT" – "ümumi tranzit" gömrük proseduru yaradılmış və Avropa Birliyi ölkələrində, eləcə də Avropa Azad Ticarət Birliyində (İsveçrə, Lixtenşteyn, Norveç, İslandiya) – EFTA-da tətbiq olunmuşdur (EC, 2021; 2022).

CT proseduruna sonradan Çexiya, Slovakiya, Macarıstan, Polşa, Bolqarıstan, Rumıniya, Türkiyə, Ukrayna, Sloveniya, Litva, Latviya və Estoniya da qoşulmuşdur. Hal-hazırda 2025-ci ilin fevral ayından Gürcüstan bu sistemə daxil olmuşdur (OECD, 2023). CT proseduru xarici T1 və daxili T2 tranzitlərinə bölünür. Xarici tranzit AB-yə daxil olmayan ölkələrdən gətirilən mallara tətbiq edilir və malların AB/EFTA-ya daxil olmasını və ya bu ölkələrdən keçməklə tranzitini əhatə edir. Belə yüklərin beynəlxalq daşınması üçün T1 sənədi tərtib olunur. Daxili tranzit – AB-də istehsal olunan malların bir AB məntəqəsindən digərinə, EFTA ölkələrinin ərazisindən keçməklə daşınmasıdır. Belə malların beynəlxalq daşınması üçün T2 sənədi tərtib olunur (EC, 2021; 2022).

Gömrük nəzarəti altında malların CT proseduru ilə daşınması yalnız yük göndərən gömrükxanaya maliyyə zəmanəti verildikdə həyata keçirilir. Maliyyə zəmanətini daşımaya məsul şəxs – "daşıma prinsipialı" təmin edir və göndərən gömrükxanaya lazımi depozit və ya bank zəmanəti təqdim olunur (WCO, 2022). Daşıyıcı tranzit rejimini pozduqda gömrük rüsumlarının ödənilməsinə görə prinsipial məsuliyyət daşıyır. T1 proseduru ilə AB/EFTA ərazisi ilə daşınan mallar sərhəddən keçdikdən sonra gömrük postuna çatdırılmazsa, T1 sənədini yazan prinsipial bütün yüklərin gömrük təmizlənməsi zamanı lazım olan bütün ödənişləri təmin etməlidir (EC, 2021).

CT proseduru ilə tranzitdə gömrük nəzarətinin əsas sənədi Vahid İdarəetmə Sənədidir (SAD-Single Administrative Document).

Prinsipial və ya onun gömrük agenti daşınan yükləri bəyan etməli və malların gömrük nəzarəti altında idxalı, ixracı, tranziti üçün AB/EFTA ölkələrində istifadə olunan SAD sənədi ilə birlikdə onların təyinat gömrükxanasına çatdırılmasını təmin etməlidir. SAD əsas və əlavə edilmiş formulyarlardan ibarətdir, hər

birində forma və məzmununa görə yük gömrük bəyannamələrinə oxşar səkkiz vərəq var. 1, 2, 3 SAD vərəqləri ixrac bəyannaməsi, 6, 7, 8 – idxal bəyannaməsi kimi istifadə olunur.
T1 tranzit bəyannaməsi 1, 4, 5, 7 nömrəli vərəqlərdə prinsipial və ya onun gömrük agenti tərəfindən göndərən gömrükxanada doldurulur və paylanır:
Vərəq 1 – göndərən gömrükxana üçün;
Vərəq 4 – təyinat gömrükxanası üçün;
Vərəq 5 – göndərən gömrükxanaya qayıtmaq üçün surət;
Vərəq 7 – təyinat ölkəsində statistik məqsədlər üçün bir surət.
Təcrübədə T1 proseduru BYD Konvensiyasının zəmanət sisteminə alternativ olaraq istifadə olunur. Ümumiyyətlə, həm T1, həm də BYD proseduru çox oxşardır. Əsas fərq, BYD prosedurunda zəmanətçi rolunu BYD zəmanət birliyi oynayır, T1 prosedurundan istifadə etdikdə isə, daşıyıcı istənilən prinsipialla – AB/EFTA ölkələrinin gömrük agenti ilə birbaşa əlaqə yarada bilər, ya da daşıyıcının iddialarının ödənilməsinə zəmanət verən birliyin üzvü ola bilər.
T1 prosedurunu rəsmiləşdirərkən, daşıyıcının təhlükəsizlik zəmanəti qoyması və üzvlük haqqını ödəməsi tələb olunmur. T1 bir qədər ucuz başa gəlir, gömrük rəsmiləşdirilməsi zamanı vaxta qənaət edir, eyni zamanda bu prosedur nəqliyyat təşkilatları üçün daha əlverişlidir. T1 proseduru ilə daşınmanın əlavə üstünlüyü, bir avtomobil üçün çatdırılma yerlərinin sayının məhdud olmamasıdır. Bu, daşınmaların kiçik qruplarla formalaşdırılması zamanı daşıyıcının imkanlarını artırır.
Baxılan məsələlərin əksəriyyətində "CT" proseduru BYD sisteminə nəzərən daha üstündür.
Eyni zamanda, daşıyıcıların T1 prosedurunu keçməsinə mane olan çatışmazlıqlarını da qeyd etmək lazımdır:
- T-1 proseduru AB və EFTA ölkələri ərazisində tranzit üçün tətbiq olunur və istənilən digər ölkənin ərazisindən tranzitdə bu ölkələrin gömrük orqanlarına çatdırmanın BYD kitabçası variantı kimi digər zəmanətləri lazımdır.
- BYD sistemi beynəlxalq səviyyədə, "CT" sistemi isə yalnız AB və EFTA ölkələrində regional səviyyədə qüvvədədir.

2. ƏDƏBİYYAT İCMALI

Beynəlxalq tranzit prosedurları və gömrük nəzarəti mexanizmləri logistika və beynəlxalq ticarət sahəsində geniş tədqiq olunan mövzulardandır. Tədqiqatlar göstərir ki, tranzit sistemlərinin sadələşdirilməsi, rəqəmsallaşdırılması və maliyyə zəmanəti mexanizmlərinin optimallaşdırılması yükdaşımaların sürətinə və logistika xərclərinə birbaşa təsir göstərir (WCO, 2022; OECD, 2023).
Ümumi Tranzit (Common Transit – CT) sistemi və T1 proseduru üzrə araşdırmalar göstərir ki, bu mexanizm Avropa regionunda gömrük prosedurlarının harmonizasiyasını təmin etməklə sərhəd keçid müddətlərini azaldır və tranzit risklərini minimuma endirir (EC, 2021). Xüsusilə NCTS (New Computerised Transit System) elektron platformasının tətbiqi sənəd dövriyyəsinin sürətlənməsinə, risklərin idarə edilməsinin təkmilləşməsinə və logistika əməliyyatlarında şəffaflığın artmasına səbəb olmuşdur (EC, 2022).
BYD (TIR) Konvensiyası üzrə aparılan tədqiqatlar bu sistemin qlobal səviyyədə ən geniş tətbiq olunan tranzit mexanizmlərindən biri olduğunu təsdiqləyir. UNECE və IRU materiallarında TIR sisteminin əsas üstünlükləri kimi vahid beynəlxalq zəmanət mexanizmi, minimum fiziki gömrük yoxlaması və çoxsaylı ölkələr arasında qarşılıqlı tanınma prinsipi qeyd olunur (UNECE, 2023; IRU, 2024). Bununla yanaşı, bəzi tədqiqatlar göstərir ki, regional tranzit sistemlərinin, xüsusilə CT/T1 prosedurunun, Avropa daxilində daha operativ və iqtisadi cəhətdən səmərəli olduğunu vurğulayırlar (EC, 2021; OECD, 2023).
Elmi ədəbiyyatda T1 və TIR sistemlərinin müqayisəli təhlili geniş yer tutur. Araşdırmalar göstərir ki, T1 proseduru regional inteqrasiya səviyyəsi yüksək olan iqtisadi məkanlarda daha effektiv fəaliyyət göstərir, çünki gömrük qaydalarının unifikasiyası və elektron məlumat mübadiləsi tranzit risklərini azaldır (EC, 2022; WCO, 2022). Digər tərəfdən, TIR sistemi qlobal əhatə dairəsinə malik olduğundan uzun məsafəli və çoxölkəli daşımalar üçün daha əlverişli hesab edilir (UNECE, 2023).
Son illərdə aparılan tədqiqatlar rəqəmsallaşdırmanın tranzit prosedurlarına təsirinə xüsusi diqqət yetirir. Elektron bəyannamə, risk əsaslı nəzarət və məlumatların real vaxt rejimində ötürülməsi kimi alətlər tranzit əməliyyatlarının səmərəliliyini artıran əsas amillər kimi qiymətləndirilir (World Bank, 2020; World Customs

Organization, 2022). Bu kontekstdə T1 prosedurunun NCTS platforması ilə inteqrasiyası logistika zəncirinin idarə olunmasını optimallaşdıran mühüm institusional yenilik hesab olunur (EC, 2022).

Beləliklə, mövcud elmi ədəbiyyat göstərir ki, beynəlxalq tranzit sistemlərinin effektivliyi onların coğrafi əhatə dairəsi, hüquqi harmonizasiya səviyyəsi və rəqəmsal infrastrukturun inkişafı ilə sıx bağlıdır. T1 proseduru regional səviyyədə operativlik və xərclərin azaldılması baxımından üstünlük təşkil etdiyi halda, TIR sistemi qlobal tranzit şəbəkəsində universallığı ilə seçilir. Bu yanaşmaların müqayisəli təhlili beynəlxalq logistika sistemlərinin gələcək inkişaf istiqamətlərinin müəyyənləşdirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir (OECD, 2023; UNCTAD, 2022).

3. T1 SƏNƏDİNİN BEYNƏLXALQ TRANZİTDƏ ROLU VƏ EFFEKTİVLİYİNİN TƏHLİLİ

Beynəlxalq tranzit daşımalarında gömrük prosedurlarının səmərəliliyi logistika zəncirinin ümumi performansını müəyyən edən əsas amillərdən biridir (EC, 2021; OECD, 2018). Bu kontekstdə T1 proseduru Ümumi Tranzit (Common Transit – CT) sistemi çərçivəsində malların gömrük nəzarəti altında təhlükəsiz, sürətli və iqtisadi cəhətdən səmərəli daşınmasını təmin edən mühüm mexanizm kimi çıxış edir (EC, 2021; UNECE, 2023). T1 sənədinin effektivliyi gömrük nəzarətinin optimallaşdırılması, tranzit vaxtının azaldılması, maliyyə risklərinin idarə olunması, inzibati xərclərin aşağı salınması və əməliyyat çevikliyinin artırılması kimi bir neçə əsas meyar üzrə qiymətləndirilə bilər (IRU, 2024; WCO, 2022). Aparılan təhlil göstərir ki, bu meyarların əksəriyyəti üzrə T1 proseduru regional tranzit sistemləri arasında yüksək səmərəlilik nümayiş etdirir (OECD, 2023).

İlk növbədə, T1 proseduru gömrük prosedurlarının standartlaşdırılması və hüquqi harmonizasiyası baxımından mühüm üstünlüklərə malikdir. Avropa Birliyi və EFTA ölkələri arasında tətbiq olunan vahid hüquqi çərçivə gömrük orqanları arasında qarşılıqlı etimadı gücləndirir və tranzit əməliyyatları zamanı təkrar yoxlamaların sayını minimuma endirir (EC, 2021; WTO, 2017). Bu isə yüklərin gömrük nəzarəti altında daha operativ hərəkətinə şərait yaradır, sərhəd keçid məntəqələrində yaranan gecikmələri azaldır və logistika zəncirində fasiləsizliyi təmin edir. Xüsusilə elektron tranzit idarəetmə sistemlərinin tətbiqi insan amilindən asılılığı azaltmaqla prosedurların şəffaflığını və idarəçiliyi artırır (EC, 2022).

Tranzit vaxtı və logistika xərcləri baxımından da T1 prosedurunun müsbət təsiri aydın müşahidə olunur. Elektron məlumat mübadiləsi və əvvəlcədən bəyannamə təqdim etmə imkanları sərhəddə gözləmə müddətini azaldır, bu isə nəqliyyat vasitələrinin dayanma vaxtının və yanacaq sərfiyyatının azalmasına səbəb olur (WB, 2020; OECD, 2018). Nəticədə, daşıyıcıların ümumi əməliyyat xərcləri aşağı düşür və çatdırılma müddətlərinin proqnozlaşdırılması daha dəqiq olur (OECD, 2023).

T1 prosedurunun BYD (TIR) sistemi ilə müqayisəsi göstərir ki, regional tranzit daşımalarında T1 daha aşağı inzibati xərclərlə müşayiət oluna bilir (IRU, 2024; UNECE, 2023). BYD sistemində daşıyıcının zəmanət birliyinə üzvlüyü və müəyyən üzvlük haqları tələb olunduğu halda, T1 prosedurunda maliyyə zəmanəti daha çevik mexanizm vasitəsilə – prinsipial üzərindən təmin edilir (IRU, 2024). Bu xüsusiyyət xüsusilə kiçik və orta nəqliyyat şirkətləri üçün əlavə maliyyə yükünü azaldır və bazara çıxış imkanlarını genişləndirir (WCO, 2022).

Risklərin idarə olunması baxımından T1 proseduru müasir gömrük nəzarəti prinsiplərinə uyğun qurulmuşdur. Maliyyə məsuliyyətinin konkret hüquqi şəxs – prinsipial üzərində cəmlənməsi gömrük orqanlarının fiskal risklərini azaldır və tranzit rejiminin pozulması hallarına qarşı effektiv təminat yaradır (WTO, 2017). Eyni zamanda risk əsaslı nəzarət mexanizmlərinin tətbiqi yüksək riskli yüklərin daha ciddi yoxlanmasını, aşağı riskli yüklərin isə sürətlə buraxılmasını mümkün edir (OECD, 2018).

Əməliyyat çevikliyi T1 prosedurunun digər mühüm üstünlüklərindən biridir. Bir nəqliyyat vasitəsi üçün çatdırılma məntəqələrinin sayının məhdudlaşdırılmaması konsolidasiya olunmuş və ya hissəli yüklərin daşınması zamanı daşıyıcılara əlavə imkanlar yaradır (EC, 2021; UNCTAD, 2022). Nəticədə T1 proseduru yalnız gömrük mexanizmi deyil, həm də logistika səmərəliliyini artıran institusional alət kimi çıxış edir.

Bununla belə, T1 prosedurunun müəyyən məhdudiyyətləri də mövcuddur. Əsas çatışmazlıq onun coğrafi əhatə dairəsinin AB və EFTA ölkələri ilə məhdudlaşmasıdır (EC, 2021; IRU, 2024). Tranzit marşrutu üçüncü ölkələri əhatə etdikdə əlavə zəmanət mexanizmlərinin tətbiqi zərurəti yaranır ki, bu da əməliyyat prosesini mürəkkəbləşdirə və daşımaların fasiləsizliyinə təsir göstərə bilər (OECD, 2023).

Ümumilikdə aparılan təhlil göstərir ki, T1 proseduru AB/EFTA məkanında beynəlxalq tranzit daşımalarının təşkili üçün yüksək səmərəliliyə malik institusional mexanizmdir (EC, 2021; UNECE, 2023). Gömrük

prosedurlarının sürətləndirilməsi, logistika xərclərinin azaldılması, risklərin effektiv idarə olunması və əməliyyat çevikliyinin təmin edilməsi baxımından T1 sistemi regional tranzit həlli kimi mühüm üstünlüklərə sahibdir.

4. MALIN İNVOYS DƏYƏRİNƏ GÖRƏ OPTİMAL TRANZİT SƏNƏDİNİN SEÇİLMƏSİ

Beynəlxalq avtomobil daşımalarında əsas istifadə olunan sənəd olan BYD kitabçasının (TIR Carnet) dəyəri onun vərəqlərinin sayından asılı olaraq müəyyən edilir. Belə ki, 6 vərəqli BYD kitabçasının qiyməti isə 176 AZN,16 vərəqli kitabçanın qiyməti 318 AZN, təşkil edir. Bu məbləğlər Azərbaycan Respublikası Mərkəzi Bankının gündəlik İsveçrə frankı–manat məzənnəsinə uyğun olaraq dəyişə bilər.

Alternativ sənəd olan Avropa İttifaqına ixrac olunan yüklərə tətbiq olunan T1 tranzit sənədinin qiyməti isə daşınan malın invoys dəyərindən asılı olaraq formalaşır. T1 proseduruna görə, Aİ üzvü olmayan ölkələrdən gələn mallar üçün gömrük rüsumları və vergilər yalnız Aİ daxilində son təyinat yerinə çatdıqda tutulur. T1 sənədi təyinat gömrük orqanında müvafiq ödənişləri və vergiləri ödəyəcəyinizə zəmanət verməklə yanaşı, vaxt və digər xərcləri azaldır, eləcə də mallara daha yaxşı nəzarət etməyə imkan verir. Cədvəl 1-də malın dəyərinə uyğun olaraq T1 sənədinin qiyməti və zəmanət öhdəliyi göstərilmişdir.

CƏDVƏL 1. T1 TRANZİT SƏNƏDİNİN MALIN İNVOYS DƏYƏRİNƏ UYĞUN TARİFİ

Malın dəyəri	Zəmanət məbləği	Sığorta haqqı
$ 29.500	$ 5.305	**$ 105**
$ 35.000	$ 6.329	**$ 110**
$ 40.000	$ 7.261	**$ 112**
$ 45.000	$ 8.192	**$ 115**
$ 50.000	$ 9.124	**$ 120**
$ 55.000	$ 10.055	**$ 125**
$ 60.000	$ 10.987	**$ 130**
$ 65.000	$ 11.918	**$ 132**
$ 70.000	$ 12.850	**$ 135**
$ 75.000	$ 13.781	**$ 137**
$ 80.000	$ 14.713	**$ 140**
$ 85.000	$ 15.644	**$ 145**
$ 90.000	$ 16.576	**$ 148**
$ 95.000	$ 17.507	**$ 152**
$ 100.000	$ 18.439	**$ 155**
$ 110.000	$ 20.302	**$ 160**
$ 120.000	$ 22.165	**$ 170**
$ 130.000	$ 24.028	**$ 175**
$ 140.000	$ 25.891	**$ 185**
$ 150.000	$ 27.754	**$ 190**
$ 160.000	$ 29.617	**$ 195**
$ 170.000	$ 31.480	**$ 205**
$ 180.000	$ 33.343	**$ 210**
$ 190.000	$ 35.206	**$ 215**
$ 200.000	$ 37.069	**$ 225**
$ 215.000	$ 39.863	**$ 235**
$ 230.000	$ 42.658	**$ 245**
$ 245.000	$ 45.452	**$ 255**
$ 260.000	$ 48.247	**$ 265**
$ 275.000	$ 51.041	**$ 275**
$ 290.000	$ 53.836	**$ 285**
$ 310.000	$ 57.562	**$ 300**
$ 330.000	$ 61.288	**$ 320**
$ 350.000	$ 65.014	**$ 330**
$ 370.000	$ 68.740	**$ 350**
$ 390.000	$ 72.466	**$ 360**
$ 410.000	$ 76.192	**$ 370**
$ 430.000	$ 79.918	**$ 385**
$ 450.000	$ 83.644	**$ 400**
$ 470.000	$ 87.370	**$ 415**
$ 490.000	$ 91.096	**$ 425**

T1 sənədi tariflərinə nəzər yetirəndə görürük ki, hər 5,000 dollarlıq əlavə yükə görə 932 dollar təminat verilir. Belə ki, malın dəyəri 29,500 dollardan-100,000 dollara qədər olduqda, hər əlavə 5,000 dollarlıq yükə görə 932 dollar təminat verilir və sığorta haqqı hər pillədə 2-5 dollar artır. Malın dəyəri 100,000-200,000 dollar dəyərində yükə görə, hər əlavə 10,000 dollarlıq yükə görə zəmanət məbləği 1,863 dollar olur. Eləcə də, 200,000-300,000 dollar dəyərində malda yükdə hər əlavə 15,000 dollarlıq yükə görə 2,795 dollar və 300,000-490,000 dollar dəyərində malda yükdə hər əlavə 20,000 dollarlıq yükə görə 3,726 dollar zəmanət verilir. Sığorta haqqı da ümumi tarif üzrə, fərqli hesablamalar olmaqla birlikdə, əsasən 5,000-10,000 dollar dəyərində əlavə yükə görə 5-10 dollar, hər 15,000-20,000 dollarlıq əlavə dəyərə görə təxminən 10-15 dollar sığorta haqqı artır.

Verilmiş cədvəl göstəricilərinə əsasən T1 tranzit sənədi ilə BYD kitabçasının müqayisəli təhlili göstərir ki, bu iki tranzit mexanizminin tətbiq sahəsi birbaşa **malın invoys dəyəri** ilə əlaqədardır..

T1 tranzit sənədi isə fərqli iqtisadi modelə əsaslanır. Bu sənəd üzrə zəmanət və xidmət haqqı **malın invoys dəyəri artdıqca** pilləli şəkildə yüksəlir. Cədvəldən göründüyü kimi, aşağı dəyərli mallar üçün T1 sənədinin həm zəmanət öhdəliyi, həm də ümumi xərci nisbətən aşağıdır. Lakin malın dəyəri yüksəldikcə tələb olunan zəmanət məbləği sürətlə artır və bu, daşınmanın maliyyə yükünü böyüdür. Xüsusilə 100 000 ABŞ dollarına yaxın və bu həddi aşan mallar üçün T1 mexanizmi iqtisadi baxımdan daha az səmərəli olur, çünki artan zəmanət öhdəliyi dövriyyə vəsaitlərinin bağlanmasına və əlavə xərclərin yaranmasına səbəb olur.

Beynəlxalq avtomobil daşımalarında BYD sistemi vahid gömrük zəmanəti prinsipi üzərində qurulmuşdur və bu zəmanətin maksimal məbləği 100 000 avro təşkil edir. Bu xüsusiyyət BYD kitabçasının əsas üstünlüyü hesab olunur. Belə ki, malın dəyəri artsa belə, zəmanət məbləği dəyişmir və daşıyıcı əlavə milli zəmanət mexanizmlərindən istifadə etmədən bir neçə ölkənin gömrük ərazisindən tranzit keçid həyata keçirə bilir. Nəticədə inzibati prosedurlar sadələşir, sərhəd keçid müddəti azalır və logistika əməliyyatlarının ümumi səmərəliliyi yüksəlir. BYD sistemi üzrə təqdim edilən 100 000 avro (~119,000 dollar) həddi praktik logistikada **keçid nöqtəsi** sayılır. Başqa sözlə, malın invoys dəyəri bu səviyyəyə qədər olduqda T1 tranzit sənədindən istifadə daha məqsədəuyğun hesab edilə bilər. Çünki bu halda T1 üzrə ödənilən xidmət haqqı və zəmanət məbləği BYD kitabçasının ümumi xərcindən aşağı olur. Lakin malın invoys dəyəri göstərilən həddi keçdikdə BYD kitabçasının tətbiqi iqtisadi və təşkilati baxımdan daha səmərəli olur. Bu zaman zəmanət sabit qalır, əlavə maliyyə yükü olmur və beynəlxalq tranzit prosedurları daha sürətli icra olunur.

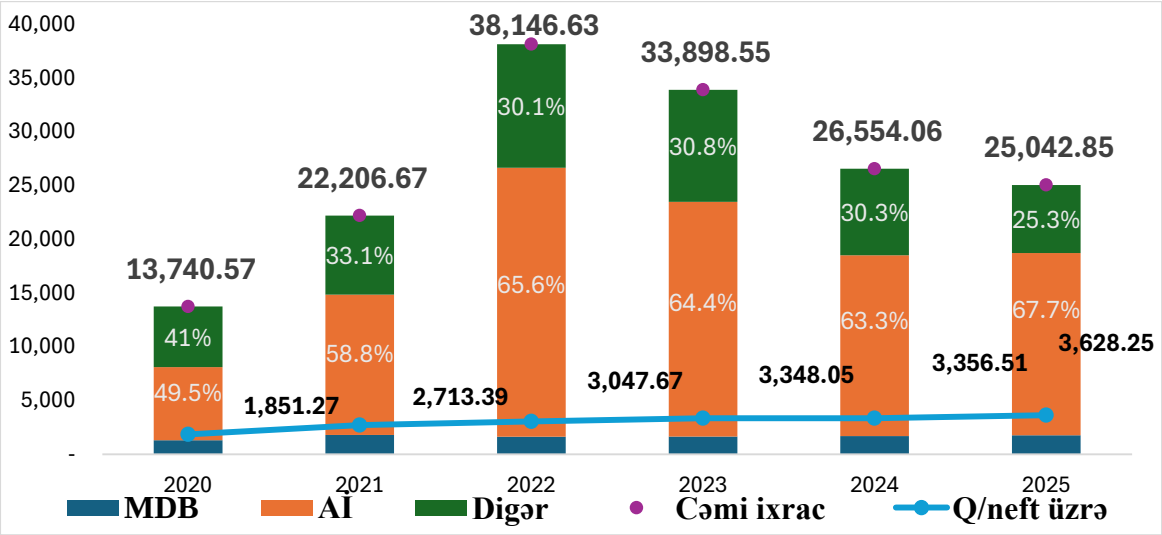
5. AZƏRBAYCANDA İXRACATIN VƏ DAŞIMALARIN STRUKTURU

Son illərdə Azərbaycan Respublikasının xarici ticarət dövriyyəsi artmışdır. Belə ki, 2020-ci ildə 24,472 milyard dollar olan xarici ticarət 2025-ci ildə 49,423 milyard dolara çatmışdır ki, bu da iki dəfədən çox artım deməkdir. Eləcə də, ixracat həcmi bu dövrdə 13,741 milyard dollardan 25,043 milyarda (1,82 dəfə artım) yüksəlmişdir. 2022-ci ildə ixracat həcmi ən yüksək həcmə (38,147 milyard dollar) çatmışdır ki, bu da Avropa İttifaqına ixracın təxminən 2 dəfəyə yaxın artmasıyla (25 milyard dollarla) olmuşdur. İxracatı Avropa İttifaqı, MDB və digər ölkələr üzrə qruplaşdırsaq, görərik ki, Aİ payı (67,7%) çox yüksəkdir.

Digər tərəfdən, qeyri-neft ixracatının həcmi 2020-ci ilə görə təxminən 2 dəfə artmışdır. Beləcə, qeyri-neft ixracatı həm məbləğ olaraq (3,6 milyard dollar), həm də ixracatda payı olaraq (14,5%) ən yüksək olmuşdur. Aşağıdakı Qrafikdə 2020-2025-ci illər üzrə ümumi ixrac, Aİ, MDB və digər ölkə qruplarını həcmi, payı, eləcə də qeyri/neft sektoru ixracatını görə bilərik.

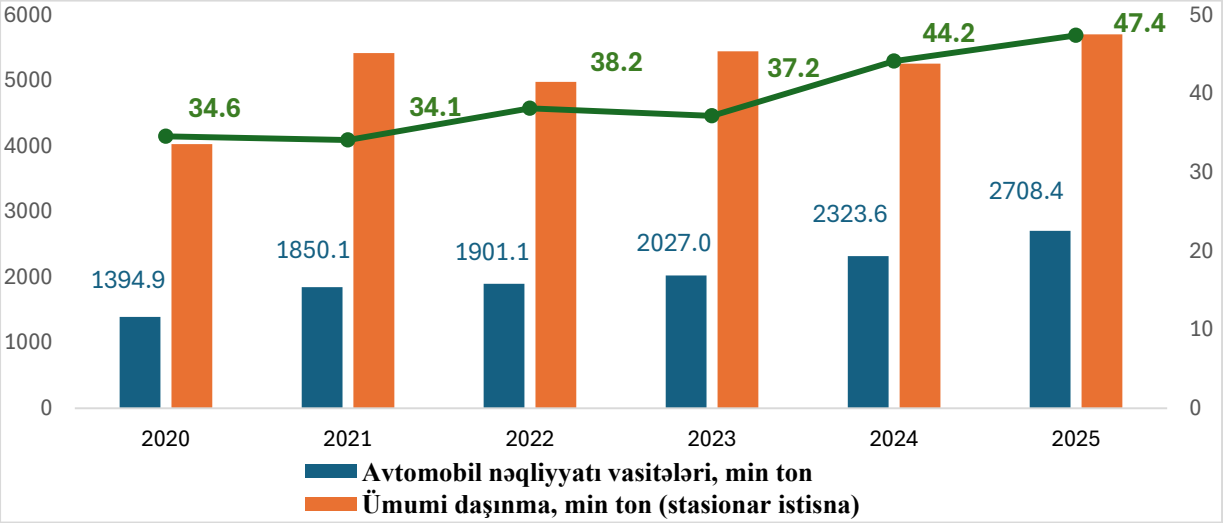
İxrac həcmi artdıqca daşımalar da artmışdır. Belə ki, 2000-ci ildə 42,407 milyon ton olan daşımalar (2023-cü ildə 51,283 milyon ton olmaqla) 2025-ci il üzrə 47,595 milyon tona yüksəlmişdir. Bu daşımaların 88%-dən çoxu stasionar daşımaların payına düşür. Avtomobil nəqliyyatı ilə ixrac olunan mallrın həcmi 2000-ci ildə 1,395 milyon ton idisə, hər il artaraq 2025-ci ildə 94% artımla 2,708.4 milyon ton olmuşdur. Stasionar daşımalar bu dövr ərzində 10% artmışdır. Avtomobil daşımaların ümumi ixracda payı (stasionar istisna) 34,6%-dan artaraq 47,4%-ə çatmışdır. Məbləğ olaraq baxsaq, avtomobil daşımaları (stasionar daşımalar istisna olmaqla) ümumi ixracatın 62,6%-ni həyata keçirir. Aşağıdakı qrafikdən də göründüyü kimi, ixracatda avtomobil daşımalarının önəmli yeri vardır.

QRAFİK 1. AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ ÖLKƏ QRUPLARI ÜZRƏ İXRACI, MİLYARD DOLLAR, % VƏ SEKTORLA



Mənbə: DGK (2020-2025) statistik məlumatları əsasında müəlliflər tərəfindən hazırlanmışdır.

QRAFİK 2. İXRACDA AVTOMOBİL NƏQLİYYATI VASİTƏSİLƏ DAŞIMALARIN HƏCMİ VƏ PAYI, MİN TON VƏ %-LƏ



Mənbə: DGK (2020-2025) statistik məlumatları əsasında müəlliflər tərəfindən hazırlanmışdır.

5. NƏTİCƏ VƏ TƏKLİFLƏR

Avtomobil daşımalarının istifadəsinin ümumi ixracda payı (stasionar istisna) 2025-ci ildə 47,4%-ə çatmışdır. Məbləğ olaraq baxsaq, avtomobil daşımaları (stasionar daşımalar istisna olmaqla) ümumi ixracatın 62,6%-ni həyata keçirir. Belə ki, ixracın artırılması üçün bu daşımalarda qayda və şərtlərin optimallaşdırılmasına ehtiyac vardır.

Aparılan tədqiqat göstərir ki, beynəlxalq tranzit daşımalarının səmərəliliyi gömrük prosedurlarının təşkili səviyyəsi, hüquqi harmonizasiya, rəqəmsallaşdırma dərəcəsi və maliyyə təminatı mexanizmlərinin effektivliyi ilə birbaşa bağlıdır. Bu kontekstdə T1 proseduru Ümumi Tranzit (CT) sistemi çərçivəsində regional tranzit

daşımalarının sürətləndirilməsi və logistika xərclərinin azaldılması baxımından mühüm institusional alət kimi çıxış edir. Təhlil nəticələri göstərir ki, T1 sənədi gömrük nəzarətinin optimallaşdırılması, tranzit vaxtının qısaldılması, risklərin idarə olunmasının təkmilləşdirilməsi və daşıyıcılar üçün əməliyyat çevikliyinin artırılması kimi əsas göstəricilər üzrə yüksək effektivlik nümayiş etdirir.

Müəyyən edilmişdir ki, Aİ və EFTA ölkələri arasında hüquqi və texnoloji inteqrasiya T1 prosedurunun səmərəli tətbiqini təmin edən əsas amillərdəndir. Elektron tranzit sistemlərinin, xüsusilə NCTS platformasının tətbiqi məlumat mübadiləsini sürətləndirmiş, gömrük nəzarətinin şəffaflığını artırmış və sərhəd-keçid proseslərində gecikmələri azaltmışdır. Bu isə regional ticarət dövriyyəsinin artmasına və logistika əməliyyatlarının proqnozlaşdırıla bilənliyinin yüksəlməsinə müsbət təsir göstərmişdir.

T1 prosedurunun BYD (TIR) sistemi ilə müqayisəli təhlili göstərir ki, hər iki mexanizm beynəlxalq tranzit daşımalarının təhlükəsizliyini və gömrük nəzarətini təmin etməyə yönəlsə də, onların tətbiq sahəsi və funksional üstünlükləri fərqlidir. TIR sistemi qlobal əhatə dairəsinə malik universal tranzit mexanizmi kimi uzun məsafəli və çoxölkəli daşımalar üçün daha əlverişli hesab olunur. Buna qarşılıq, T1 proseduru regional inteqrasiya şəraitində daha aşağı inzibati xərclər, daha sürətli gömrük rəsmiləşdirilməsi və daha çevik logistika imkanları ilə seçilir. Bu səbəbdən T1 və TIR sistemləri rəqabət aparan deyil, bir-birini tamamlayan tranzit mexanizmləri kimi qiymətləndirilə bilər.

Bununla yanaşı, T1 prosedurunun əsas məhdudiyyəti onun coğrafi əhatə dairəsinin Aİ və EFTA ölkələri ilə məhdudlaşmasıdır. Tranzit marşrutunun üçüncü ölkələri əhatə etdiyi hallarda əlavə zəmanət mexanizmlərinin tələb olunması əməliyyat mürəkkəbliyini artırır. Bu isə T1 prosedurunun qlobal tranzit sistemi kimi tətbiq imkanlarını məhdudlaşdırır. Lakin beynəlxalq ticarətdə regional iqtisadi blokların rolunun artması fonunda T1 kimi regional tranzit mexanizmlərinin əhəmiyyəti daha da yüksəlir.

Beləliklə, aparılan təhlil göstərir ki, **aşağı və orta dəyərli malların** beynəlxalq tranzit daşınmasında T1 tranzit sənədi daha əlverişli maliyyə mexanizmi hesab oluna bilər. **Yüksək dəyərli malların** daşınmasında isə BYD kitabçası həm sabit zəmanət mexanizmi, həm də prosedur sadəliyi baxımından daha optimal seçim kimi çıxış edir. Bu yanaşma daşıyıcıların və logistika operatorlarının tranzit sənədini seçərkən malın invoys dəyərini əsas iqtisadi meyar kimi nəzərə almasının vacibliyini göstərir.

Tədqiqatın nəticələrinə əsasən aşağıdakı təkliflər irəli sürülə bilər:

Birincisi, tranzit prosedurlarının daha da rəqəmsallaşdırılması və məlumat sistemlərinin inteqrasiyası T1 mexanizminin effektivliyini artıracaq əsas istiqamətlərdən biridir. Elektron sənəd dövriyyəsinin genişləndirilməsi və real vaxt rejimində məlumat mübadiləsi sərhəd keçid müddətlərini daha da azalda bilər.

İkincisi, T1 prosedurunun coğrafi əhatə dairəsinin genişləndirilməsi, xüsusilə Orta Dəhliz və Şərq-Qərb nəqliyyat marşrutlarında iştirak edən ölkələrin CT sisteminə inteqrasiyası regional ticarətin inkişafına mühüm töhfə verə bilər. Bu istiqamətdə hüquqi harmonizasiya və qarşılıqlı tanınma mexanizmlərinin gücləndirilməsi vacibdir.

Üçüncüsü, kiçik və orta nəqliyyat şirkətləri üçün maliyyə zəmanəti mexanizmlərinin daha çevik formalarının tətbiqi tranzit bazarında rəqabəti artıraraq logistika xidmətlərinin keyfiyyətini yüksəldə bilər.

Dördüncüsü, risk əsaslı gömrük nəzarəti alətlərinin inkişafı və analitik texnologiyaların tətbiqi tranzit təhlükəsizliyini qorumaqla yanaşı prosedurların sürətini də artırmağa imkan verəcəkdir.

Nəticə etibarilə, T1 proseduru beynəlxalq tranzit sistemində regional səviyyədə yüksək səmərəlilik nümayiş etdirən müasir gömrük mexanizmi kimi qiymətləndirilə bilər. Onun rəqəmsal transformasiya, hüquqi inteqrasiya və logistika optimallaşdırılması istiqamətlərində inkişafı gələcəkdə beynəlxalq ticarət axınlarının daha sürətli və təhlükəsiz təşkilinə xidmət edəcəkdir.

ƏDƏBIYYAT

1. EC (2021). *Common Transit Convention and transit procedures in the European Union*. Brussels. European Commission.
2. EC (2022). *New Computerised Transit System (NCTS): Annual report on transit operations*. Brussels. European Commission.
3. IRU (2024). *TIR system: Global customs transit in practice*. Geneva. International Road Transport Union

4. UNECE (2023). *TIR Convention Handbook (10th revised ed.)*. Geneva: United Nations Economic Commission for Europe.
5. World Bank. (2020). *Doing Business 2020: Trading across borders*. Washington, DC: World Bank.
6. WCO (2022). *Revised Kyoto Convention: Guidelines on trade facilitation and customs procedures*. Brussels. World Customs Organization.
7. WTO (2017). *Agreement on Trade Facilitation (TFA)*. Geneva. World Trade Organization
8. OECD (2018). *Trade Facilitation and the Global Economy*. Paris: OECD.
9. OECD (2023). *Realising the Potential of the Middle Corridor*. Paris: OECD.
10. UNCTAD (2022). *Review of Maritime Transport*. United Nations Conference on Trade and Development.

AVTOMOBİL NƏQLİYYATI İLƏ YÜK DAŞIMALARINDA BAŞ VERMİŞ QƏZA HADİSƏLƏRİNİN TƏHLİLİ VƏ QABAQLAYICI TƏDBİRLƏRİN GÖRÜLMƏSİ

Aysun Nəzərli
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik/Logistika və nəqliyyat
anezerli1@std.beu.edu.az
Xırdalan, Azərbaycan

Şahin Orucov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik/Logistika və nəqliyyat
shorucov@beu.edu.az
Xırdalan, Azərbaycan

***Xülasə*:** Məqalədə avtomobil nəqliyyatı ilə yük daşımaları sahəsində təhlükəsizlik məsələləri və baş vermiş yol-nəqliyyat hadisələrinin səbəbləri təhlil edilir. Tədqiqat işində yük avtomobillərinin iştirakı ilə baş verən qəzaların statistikasının araşdırılması və bu qəzalara təsir edən amillərin (insan faktoru, texniki nasazlıq və yol şəraiti) qiymətləndirilməsi həyata keçirilmişdir. Nəqliyyat infrastrukturunun mövcud vəziyyəti fonunda qəza hallarının qarşısının alınması üçün müasir texnologiyaların tətbiqi və təşkilati qabaqlayıcı tədbirlər təklif olunur. Tədqiqatın əsas məqsədi logistik zəncirdə riskləri minimuma endirmək və yük daşımalarında hərəkətin təhlükəsizlik səviyyəsini artırmaqdır.

Açar sözlər: *yük daşımaları, nəqliyyat təhlükəsizliyi, qəza təhlili, risklərin idarə edilməsi, qabaqlayıcı tədbirlər.*

I. GİRİŞ

Son illərdə Azərbaycanın tranzit potensialının artması avtomobil nəqliyyatı ilə yük daşımalarının dinamikasına ciddi təsir göstərmişdir. Rəsmi statistik məlumatlara əsasən, ölkədə yük daşımalarının ümumi həcmində avtomobil nəqliyyatının payı digər növləri üstələməkdədir **[1]**. Lakin daşımaların intensivliyinin artması nəqliyyat təhlükəsizliyi məsələlərini, xüsusilə ağırtonnajlı nəqliyyat vasitələrinin iştirakı ilə baş verən qəza hadisələrinin təhlilini zəruri edir. Təcrübə göstərir ki, yük avtomobilləri ilə bağlı qəzalar çox vaxt texniki nasazlıqlar və sürücü yorğunluğu (insan faktoru) nəticəsində baş verir **[2]**. Bu problemlərin həlli proaktiv təhlükəsizlik tədbirlərinin və müasir monitorinq sistemlərinin tətbiqini tələb edir.

II. MÖVCUD NƏQLİYYAT SİSTEMİNİN VƏ RİSK FAKTORLARININ TƏSVİRİ

Müasir yük daşıma sistemi nəqliyyat vasitələri, infrastruktur və idarəetmə mexanizmlərinin kompleks vəhdətindən ibarətdir. Azərbaycan Respublikasının "Nəqliyyat haqqında" Qanununa əsasən **[3]**, nəqliyyat prosesinin təhlükəsizliyi həm texniki standartlara əməl olunmasını, həm də risklərin düzgün

qiymətləndirilməsini tələb edir. Hazırkı sistemdə yük daşımaları zamanı qarşıya çıxan əsas risk faktorları infrastrukturun yüklənməsi və hərəkətin təhlükəsizlik qaydalarının pozulması ilə xarakterizə olunur.
Sistem daxilində risk amilləri əsasən üç istiqamətdə qruplaşdırılır: nəqliyyat vasitələrinin istismar müddətinin ötməsi, yol şəraitinin mürəkkəbliyi və logistik proseslərdə insan amilinin təsiri. Bu faktorların təhlili göstərir ki, yük daşımalarında qəza hadisələrinin qarşısını almaq üçün sistemli yanaşma və rəqəmsal nəzarət mexanizmlərinin (məsələn, İntellektual Nəqliyyat İdarəetmə Sistemlərinin) tətbiqi zəruridir.
CƏDVƏL 1. TƏDQİQAT ƏRAZİSİNDƏ BAŞ VERMİŞ YÜK AVTOMOBİLİ QƏZALARININ STATİSTİKASI

Hadisənin baş verdiyi yer	**Qəzanın səbəbi**	**Nəqliyyat vasitəsi**
Lənkəran ray. Gərmətük qəs.	İdarəetmənin itirilməsi	Mikroavtobus
Astara ray. Ərcivan qəs.	Ötmə və manevretmə	Yük avtomobili
Astara ray. Pensər kəndi	Digər qayda pozuntuları	Yük avtomobili
Balakən ray. Püştətala kəndi	Ötmə və manevretmə	Avtobus
Gəndob-Yalama yolu 36-cı km	Ötmə və manevretmə	Yük avtomobili
Balakən ray. Şərif kəndi	Ötmə və manevretmə	Yük maşını
Bakı-Quba-Dağıstan 146-cı km	Ötmə və manevretmə	Yük avtomobili
Bakı-Quba-Dağıstan 142-ci km	Ötmə və manevretmə	Yük avtomobili

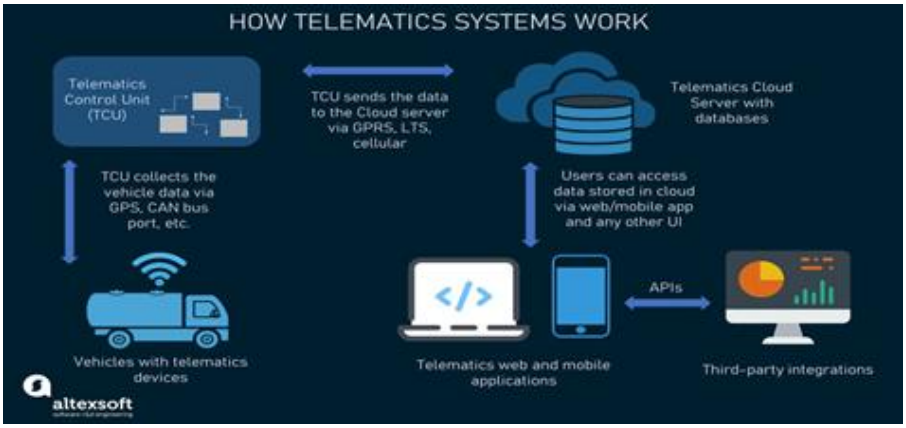
"Cədvəl 1-də təqdim olunan statistik məlumatların təhlili [1,3] göstərir ki, yük avtomobillərinin iştirakı ilə baş verən yol-nəqliyyat hadisələrinin 75%-i (8 hadisədən 6-sı) məhz **'Ötmə və manevretmə qaydalarının pozulması'** səbəbindən baş vermişdir. Xüsusilə Bakı-Quba-Dağıstan və Gəndob-Yalama marşrutları üzrə qeydə alınan qəzalar bu istiqamətlərdə hərəkət intensivliyinin və risk dərəcəsinin yüksək olduğunu təsdiqləyir. Lənkəran regionu üzrə qeydə alınan hadisə isə sürücülərin qeyri-qanuni fəaliyyəti və müvafiq 'Fərqlənmə nişanı'nın olmamasının birbaşa təhlükəsizlik qaydalarının pozulmasına gətirib çıxardığını göstərir."
"Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, yük daşımalarında risk amilləri təkcə texniki nasazlıqlarla deyil, həm də logistik idarəetmədəki boşluqlarla birbaşa bağlıdır. Xüsusilə regional yollarda intellektual nəzarət sistemlərinin məhdud olması sürücülərin manevr qaydalarına laqeyd yanaşmasına şərait yaradır. Bu səbəbdən, mövcud nəqliyyat sisteminin təhlükəsizlik səviyyəsini artırmaq üçün profilaktik tədbirlərin statistik göstəricilərə uyğun olaraq tənzimlənməsi zəruridir."

III. QABAQLAYICI TƏDBIRLƏR VƏ TƏKLİFLƏR

Nəqliyyat sistemində qəza risklərinin minimuma endirilməsi proaktiv idarəetmə metodlarının tətbiqini tələb edir. Bu istiqamətdə əsas elmi yanaşmalardan biri **ISO 39001 (Yol hərəkəti təhlükəsizliyi idarəetmə sistemi)** standartıdır **[4]**. Bu standarta əsasən, təşkilatlar (daşıyıcılar) riskləri əvvəlcədən müəyyən etməli və "təhlükəsiz sistem" (Safe System) prinsipini tətbiq etməlidirlər.
Tədqiqatlar göstərir ki, yük avtomobillərində **İntellektual Nəqliyyat Sistemlərinin (İNS)**, xüsusilə də elektron sabitlik nəzarəti (ESC) və avtomatik tormozlama sistemlərinin tətbiqi ağır qəzaların sayını 20-30% azalda bilər **[5]**. Azərbaycanın nəqliyyat dəhlizlərində, xüsusilə də təhlil etdiyimiz Gəndob-Yalama və Bakı-Quba yollarında rəqəmsal taxoqraf nəzarətinin gücləndirilməsi sürücü yorğunluğundan yaranan manevr xətalarını aradan qaldıran əsas amildir.
CƏDVƏL 2. QƏZA RİSKLƏRİNİN AZALDILMASINDA İNNOVATİV YANAŞMALARIN MÜQAYİSƏSİ

Risk Faktoru	**Ənənəvi Tədbir**	**Müasir (Qabaqlayıcı) Tədbir**
Sürücü yorğunluğu	Fiziki taxoqraf yoxlaması (saxlanılaraq)	Ağıllı sensorlar və biometrik monitorinq
Sürət həddi və manevr	Stasionar radarlar	GPS və İNS vasitəsilə canlı izləmə
Texniki vəziyyət	İllik texniki baxış	Real vaxt rejimində diaqnostika

Telematika və Real-vaxt Monitorinq Sistemlərinin İnteqrasiyası: Yük nəqliyyat vasitələrində sürücü davranışını (qəfil tormozlama, kəskin manevr və sürət həddinin aşılması) izləyən **Telematika** sistemlərinin tətbiqi zəruridir**[6]**. Bu sistemlər vasitəsilə toplanan "Böyük Verilənlər" (Big Data) analizi qəza ehtimalı yüksək olan sürücü profilini əvvəlcədən müəyyən etməyə və preventiv müdaxilə mexanizmlərini işə salmağa imkan verir.



Şəkil 1. Telematika sistemlərinin iş prinsipi və məlumat axını sxemi

İntellektual Sürət Adaptasiyası (ISA) və Zolağa Nəzarət Texnologiyaları: Təhlil edilən qəzaların 75%-nin ötmə və manevr qaydalarının pozulması ilə bağlı olduğunu nəzərə alaraq, yük avtomobillərinin **ISA (Intelligent Speed Assistance)** və **LDWS (Lane Departure Warning System)** texnologiyaları ilə təchiz edilməsi təklif olunur. Bu texnologiyalar sürücü xatasını texniki səviyyədə kompensasiya edərək aktiv təhlükəsizliyi təmin edir.

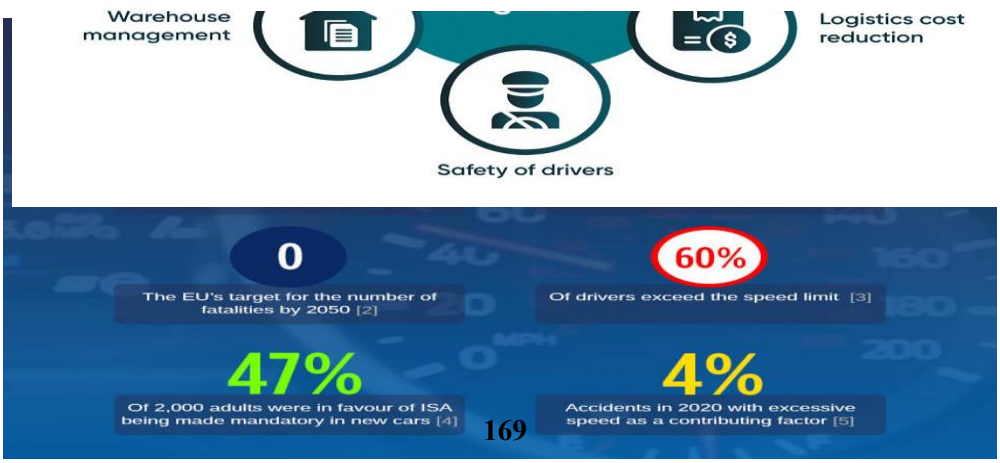
Logistik Zəncirdə Rəqəmsal İcazə və Sertifikatlaşdırma Modelləri: Daşımaların şəffaflığını və təhlükəsizliyini təmin etmək üçün "Blokçeyn" (Blockchain) əsaslı rəqəmsal icazə sənədlərinin tətbiqi **[7]** məqsədəuyğundur. Bu model, qeyri-qanuni və texniki standartlara cavab verməyən nəqliyyat vasitələrinin logistik zəncirə daxil olmasını sistem səviyyəsində qeyri-mümkün edir, beləliklə "insan faktoru"ndan qaynaqlanan riskləri minimuma endirir.



Şəkil 2. Logistika sahəsində Böyük Verilənlərin (Big Data) tətbiq istiqamətləri

IV. Nəticə

Yük daşımalarında nəqliyyat



Şəkil 3. İntellektual Sürət Adaptasiyası (ISA) texnologiyasının yol hərəkəti təhlükəsizliyinə təsiri

yyat təhlükəsizliyinin təhlili göstərir ki, proaktiv idarəetmə modellərinə keçid artıq bir seçim deyil, zərurətdir. Aparılmış tədqiqat nəticəsində aşağıdakı elmi nəticələr əldə edilmişdir:

- **İnsan Faktoru və Texnoloji Kompensasiya:** Statistik göstəricilər qəzaların böyük əksəriyyətinin sürücü davranışı ilə bağlı olduğunu təsdiqləyir. Tədqiqatlar sübut edir ki, **ADAS** və **ISA** sistemlərinin inteqrasiyası sürücü xətalarını texniki səviyyədə minimallaşdıraraq, yol-nəqliyyat hadisələrini **30%**-ə qədər azaltma potensialına malikdir **[4, 5]**.
- **Rəqəmsal Monitorinqin Effektivliyi:** Ənənəvi fiziki yoxlama metodlarından fərqli olaraq, **Telematika** və **Böyük Verilənlər (Big Data)** analizi vasitəsilə sürücü yorğunluğunun və iş rejiminin məsafədən (online) izlənilməsi, qəza risklərini hadisə baş vermədən öncə müəyyən etməyə imkan verir **[6]**.
- **Beynəlxalq Standartlara Uyğunluq:** Təklif olunan rəqəmsal həllər və elektron icazə sistemləri (Blockchain əsaslı) logistik zəncirdə tam şəffaflığı təmin etməklə yanaşı, nəqliyyat ekosisteminin **ISO 39001** beynəlxalq təhlükəsizlik standartlarına tam adaptasiyasını təmin edir **[4, 7]**.

Yekun olaraq, tədqiqatda irəli sürülən innovativ mexanizmlərin tətbiqi yük daşımalarında "Vision Zero" (sıfır ölüm) hədəfinə çatmaq üçün strateji əhəmiyyət kəsb edir.

ƏDƏBİYYAT

[1] Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi. *Azərbaycanda nəqliyyat – statistik məcmüə.* Bakı: DSK nəşriyyatı, 2024.
[2] Əliyev, R. Ə. *Nəqliyyat sisteminin logistikası və idarə edilməsi.* Bakı: "Təhsil" nəşriyyatı, 2021.
[3] Azərbaycan Respublikasının "Nəqliyyat haqqında" Qanunu. Bakı şəhəri, 11 iyun 1999-cu il, № 683-IQ.
[4] ISO 39001:2012. *Road traffic safety (RTS) management systems — Requirements with guidance for use.*
[5] European Transport Safety Council (ETSC). (2020). *Intelligent Speed Assistance (ISA): The safety benefits for heavy vehicles.* Brussels.
[6] Tselentis, V. I., & Yannis, G. (2020). *"Big Data in Road Safety: Monitoring driving behavior through telematics."* Journal of Traffic Engineering.
[7] Wang, Y., et al. (2021). *"Blockchain technology in smart transportation systems: A systematic review."* IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.

AQRAR TƏCHIZAT ZƏNCIRINDƏ LOGISTIK RISKLƏRIN TƏHLILI

Rəşid Hüseynli
Logistika və Nəqliyyat,
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
rhuseynli10@std.beu.edu.az

Xülasə. Bu məqalədə aqrar təchizat zəncirində logistik risklərin təhlili aparılmış, onların yaranma səbəbləri və təsir mexanizmləri sistemli şəkildə araşdırılmışdır. Tədqiqat göstərir ki, kənd təsərrüfatı məhsullarının istehsaldan istehlakçıya çatdırılması prosesində nəqliyyat gecikmələri, infrastruktur məhdudiyyətləri, saxlama və temperatur rejiminin pozulması, mövsümi dəyişkənlik və informasiya çatışmazlığı əsas risk faktorları kimi çıxış edir. Xüsusilə tez xarab olan məhsullar üçün soyuq zəncirin pozulması ciddi iqtisadi itkilərə səbəb olur.
Məqalədə logistik risklərin qiymətləndirilməsi üçün keyfiyyət və kəmiyyət metodlarından, o cümlədən statistik təhlil və müqayisəli yanaşmadan istifadə edilmişdir. Eyni zamanda, iqlim dəyişiklikləri və bazar qeyri-sabitliyi kimi xarici amillərin aqrar logistika üzərində təsiri də nəzərdən keçirilmişdir.

Açar sözlər: Aqrar logistika, logistik risklər, təchizat zənciri, risk menecmenti, aqrar istehsal, soyuq təchizat zənciri.

Giriş. Aqrar təchizat zənciri müasir iqtisadiyyatın strateji sahələrindən biri olmaqla, kənd təsərrüfatı məhsullarının istehsaldan son istehlakçıya qədər fasiləsiz və səmərəli şəkildə hərəkətini təmin edən mürəkkəb sistemdir [1, 3]. Bu sistem yalnız istehsal və paylama proseslərini deyil, həm də saxlanma, emal, qablaşdırma və logistika fəaliyyətlərini özündə birləşdirir [1, 2]. Aqrar məhsulların spesifik xüsusiyyətləri – tez xarab olması, mövsümi xarakter daşıması və iqlim şəraitindən yüksək asılılığı – təchizat zəncirində risklərin səviyyəsini əhəmiyyətli dərəcədə artırır [4, 6]. Bu baxımdan, logistik risklərin təhlili aqrar sektorun davamlı inkişafının təmin olunmasında mühüm rol oynayır.

Son illərdə qlobal iqlim dəyişiklikləri, beynəlxalq ticarət mühitində qeyri-müəyyənliklər və nəqliyyat-logistika infrastrukturunda mövcud problemlər aqrar təchizat zəncirində risklərin daha da aktuallaşmasına səbəb olmuşdur [4, 11]. Xüsusilə inkişaf etməkdə olan ölkələrdə logistika sistemlərinin kifayət qədər inkişaf etməməsi məhsul itkilərinin artmasına, çatdırılma gecikmələrinə və bazar qeyri-sabitliyinə gətirib çıxarır [7]. Bu isə həm istehsalçılar, həm də istehlakçılar üçün iqtisadi itkilərlə nəticələnir [12].

Mövcud şəraitdə aqrar təchizat zəncirində logistik risklərin sistemli şəkildə müəyyən edilməsi, təhlili və idarə olunması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir [6, 10]. Müasir yanaşmalar göstərir ki, risklərin effektiv idarə olunması üçün rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi və dayanıqlılıq (resilience) strategiyalarının gücləndirilməsi vacibdir [5, 10]. Bu tədqiqatın əsas məqsədi aqrar logistika sistemində yaranan əsas risk növlərini müəyyənləşdirmək, onların təsir mexanizmlərini təhlil etmək və risklərin azaldılması istiqamətində effektiv yanaşmaları qiymətləndirməkdir. Bu yanaşma aqrar sektorun rəqabət qabiliyyətinin artırılmasına və dayanıqlı inkişafın təmin olunmasına töhfə verə bilər.

Ədəbiyyat icmalı. Aqrar təchizat zəncirində logistik risklərin tədqiqi müasir logistika və təchizat zənciri idarəetməsi ədəbiyyatında geniş yer tutan aktual mövzulardan biridir. Mövcud elmi mənbələr göstərir ki, bu sahədə risklər həm nəzəri, həm də praktiki baxımdan kompleks xarakter daşıyır və müxtəlif yanaşmalarla təhlil olunur.

Logistics & Supply Chain Management (Christopher, 2016) və Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation (Chopra & Meindl, 2019) kimi müəlliflər təchizat zəncirini strateji idarəetmə sistemi kimi qiymətləndirərək risklərin əsasən tələb-təklif uyğunsuzluğu, logistika gecikmələri və informasiya asimmetriyası nəticəsində yarandığını qeyd edirlər [1, 3]. Onların yanaşmasına görə, effektiv təchizat zənciri idarəetməsi risklərin minimuma endirilməsi və sistemin çevikliyinin artırılması ilə birbaşa əlaqəlidir.

The Handbook of Logistics and Distribution Management (Rushton və həmkarları, 2017) logistika proseslərini əməliyyat səviyyəsində təhlil edərək nəqliyyat, anbarlama və paylama mərhələlərində yaranan riskləri daha detallı şəkildə izah edirlər [2]. Onların tədqiqatlarında xüsusilə infrastruktur problemləri və logistika xərclərinin artması əsas risk faktorları kimi göstərilir.

Aqrar logistika kontekstində FAO (2021) və World Bank (2022) hesabatları kənd təsərrüfatı məhsullarının böyük hissəsinin inkişaf etməkdə olan ölkələrdə post-harvest mərhələdə itirildiyini vurğulayır [4, 7]. Bu itkilərin əsas səbəbləri kimi soyuq zəncirin zəifliyi, saxlama şəraitinin qeyri-kafiliyi və nəqliyyat infrastrukturunun inkişaf etməməsi göstərilir.

Tang (2006) və Sheffi (2015) risk idarəetməsini daha çox strateji və dayanıqlılıq (resilience) aspektindən izah edirlər [6, 10]. Onların fikrincə, təchizat zənciri yalnız risklərin qarşısının alınması ilə deyil, həm də şoklara uyğunlaşma qabiliyyəti ilə qiymətləndirilməlidir. Bu yanaşma aqrar sektor üçün xüsusilə əhəmiyyətlidir, çünki burada xarici mühit amilləri yüksək qeyri-müəyyənlik yaradır.

Ivanov & Dolgui (2020) rəqəmsallaşmanın risklərin idarə olunmasında rolunu ön plana çıxararaq "digital supply chain twin" konsepsiyasını irəli sürürlər [5]. Bu yanaşma real vaxt məlumatları əsasında risklərin proqnozlaşdırılması və operativ qərarların verilməsini mümkün edir.

Beynəlxalq təşkilatların (UNCTAD, IRU və World Bank) hesabatlarında isə aqrar və ümumi logistika sistemlərində risklərin əsasən infrastruktur çatışmazlıqları, qlobal böhranlar, iqlim dəyişiklikləri və tənzimləyici maneələrlə bağlı olduğu qeyd edilir [7, 8, 11]. Bu mənbələr həmçinin göstərir ki, inkişaf etməkdə olan ölkələrdə logistik itkilərin səviyyəsi daha yüksəkdir və bu, ərzaq təhlükəsizliyinə birbaşa təsir göstərir.

Ümumilikdə ədəbiyyat icmalı göstərir ki, aqrar təchizat zəncirində logistik risklər çoxölçülü xarakter daşıyır və onların effektiv idarə olunması üçün inteqrasiya olunmuş yanaşma tələb olunur. Müasir tədqiqatlar risklərin yalnız azaldılması deyil, həm də dayanıqlılığın artırılması və rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi istiqamətində inkişaf edir.

Təhlil və analiz. Aqrar təchizat zənciri kənd təsərrüfatı məhsullarının istehsal mərhələsindən başlayaraq son istehlakçıya çatdırılmasına qədər olan bütün logistik və təşkilati prosesləri özündə birləşdirən kompleks sistemdir [1, 3]. Bu sistemin effektiv fəaliyyəti yalnız istehsal həcmi ilə deyil, həm də logistika proseslərinin düzgün idarə olunması ilə müəyyən edilir [1, 2]. Aqrar məhsulların spesifik xüsusiyyətləri – tez xarab olması, mövsümi istehsal xarakteri, iqlimdən yüksək asılılıq və saxlanma şərtlərinə həssaslıq – bu sahədə logistik risklərin daha kəskin və çoxşaxəli olmasına səbəb olur [4, 6].

Aparılan təhlil göstərir ki, aqrar təchizat zəncirində logistik risklər əsasən dörd əsas kateqoriyada qruplaşdırıla bilər: nəqliyyat riskləri, saxlama və anbarlama riskləri, informasiya və koordinasiya riskləri, həmçinin xarici mühit riskləri [2, 6, 10]. Bu risklərin hər biri ayrı-ayrılıqda təsir göstərsə də, onların qarşılıqlı əlaqəsi nəticəsində ümumi sistem üzrə daha böyük itkilər yaranır.

İlk olaraq, nəqliyyat riskləri aqrar logistikanın ən kritik elementlərindən biri hesab olunur [2, 7]. Kənd təsərrüfatı məhsullarının vaxtında çatdırılması onların keyfiyyətinin qorunması baxımından əsas şərtlərdən biridir. Lakin yol infrastrukturunun zəif inkişafı, nəqliyyat vasitələrinin texniki baxımdan köhnəlməsi, logistika marşrutlarının optimal planlaşdırılmaması və sərhəd-keçid prosedurlarında gecikmələr bu prosesə mənfi təsir göstərir [7, 8]. Xüsusilə beynəlxalq daşımalar zamanı gömrük prosedurları və sənədləşmə ilə bağlı problemlər əlavə risklər yaradır. Statistik təhlillər göstərir ki, nəqliyyat gecikmələri aqrar məhsullar üzrə ümumi itkilərin əhəmiyyətli hissəsini təşkil edir [11].

İkinci mühüm risk qrupu saxlama və anbarlama ilə bağlıdır [4, 7]. Aqrar məhsulların böyük hissəsi temperatur və rütubətə həssas olduğundan, onların düzgün saxlanmaması məhsul itkisinə və keyfiyyətin aşağı düşməsinə səbəb olur. Soyuq zəncirin (cold chain) pozulması xüsusilə meyvə-tərəvəz, ət və süd məhsulları üçün ciddi problemlər yaradır [4]. Müasir anbar texnologiyalarının və soyuducu sistemlərin çatışmazlığı inkişaf etməkdə olan ölkələrdə bu riskləri daha da artırır [7]. Araşdırmalar göstərir ki, bəzi regionlarda məhsul itkilərinin 25–30%-i məhz saxlama mərhələsində baş verir ki, bu da iqtisadi baxımdan ciddi zərərlərə səbəb olur.

Üçüncü vacib istiqamət informasiya və koordinasiya riskləridir [1, 3]. Aqrar təchizat zəncirində çoxsaylı iştirakçıların fəaliyyəti yüksək səviyyədə koordinasiya tələb edir. Lakin informasiya sistemlərinin zəif inkişafı, real vaxt rejimində məlumat mübadiləsinin olmaması və planlaşdırma mexanizmlərinin qeyri-effektivliyi qərarvermə prosesini çətinləşdirir [1]. Bu isə artıq ehtiyatların yığılmasına, məhsul çatışmazlığına və bazar tələbinə uyğunlaşmada gecikmələrə səbəb olur. Rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi bu problemlərin həllində mühüm rol oynayır [5].

Dördüncü risk qrupu xarici mühit faktorları ilə bağlıdır [4, 11]. İqlim dəyişiklikləri, quraqlıq, sel, şaxta kimi təbii hadisələr kənd təsərrüfatı istehsalına birbaşa təsir göstərməklə yanaşı, logistika proseslərini də pozur. Bundan əlavə, bazar qiymətlərinin volatilliyi, yanacaq qiymətlərinin dəyişməsi və geosiyasi faktorlar logistik xərclərin artmasına və planlaşdırma qeyri-müəyyənliyinə səbəb olur [11]. COVID-19 kimi qlobal böhranlar isə təchizat zəncirlərinin xarici şoklara qarşı həssaslığını daha da aydın göstərmişdir [10].

Risklərin kəmiyyət və keyfiyyət baxımından qiymətləndirilməsi göstərir ki, ən yüksək təsir gücünə malik risklər nəqliyyat gecikmələri və soyuq zəncirin pozulması ilə bağlıdır [2, 4]. Risk matrisi yanaşmasına əsasən, ehtimal və təsir səviyyəsi yüksək olan risklər prioritet hesab edilməli və onların idarə olunması üçün xüsusi strategiyalar hazırlanmalıdır [6]. Bu çərçivədə ssenari analizi və statistik modelləşdirmə metodları risklərin proqnozlaşdırılmasında effektiv alət kimi çıxış edir [10].

Eyni zamanda, təhlil nəticələri göstərir ki, aqrar təchizat zəncirində risklərin azaldılması üçün inteqrasiya olunmuş və sistemli yanaşma tələb olunur [1, 3]. Bu yanaşma çərçivəsində logistika infrastrukturunun inkişafı, multimodal daşımaların təşviqi, müasir anbar və soyutma texnologiyalarının tətbiqi, həmçinin rəqəmsal izləmə sistemlərinin genişləndirilməsi əsas prioritetlər kimi çıxış edir [5, 7]. Bundan əlavə, dövlət dəstəyi və normativ-hüquqi bazanın təkmilləşdirilməsi də risklərin minimuma endirilməsində mühüm rol oynayır [11].

Nəticə

Aparılan tədqiqat göstərir ki, aqrar təchizat zəncirində logistik risklər sistemin bütün mərhələlərinə təsir edən və onun səmərəliliyini müəyyən edən əsas amillərdən biridir. Bu risklər nəqliyyat, saxlama, informasiya mübadiləsi və xarici mühit faktorları ilə sıx bağlı olmaqla, qarşılıqlı təsir nəticəsində daha mürəkkəb və idarə olunması çətin vəziyyət yaradır. Xüsusilə tez xarab olan məhsullar üçün vaxt amili və düzgün saxlanma şəraiti həlledici rol oynayır.

Təhlil nəticələri göstərir ki, aqrar logistikada ən kritik problemlərdən biri infrastruktur çatışmazlıqları və soyuq zəncirin qeyri-effektiv təşkilidir. Eyni zamanda, informasiya və koordinasiya mexanizmlərinin zəifliyi təchizat zəncirində qeyri-səmərəliliyə və əlavə xərclərin yaranmasına səbəb olur. Xarici mühit faktorları – iqlim dəyişiklikləri, bazar qeyri-sabitliyi və qlobal böhranlar isə bu risklərin təsirini daha da artırır.

Bu baxımdan, aqrar təchizat zəncirində logistik risklərin azaldılması üçün kompleks və inteqrasiya olunmuş yanaşmanın tətbiqi zəruridir. Rəqəmsal texnologiyaların geniş istifadəsi, logistika və anbar infrastrukturunun modernləşdirilməsi, soyuq zəncirin gücləndirilməsi və real vaxt rejimində monitorinq sistemlərinin tətbiqi əsas həll istiqamətləri kimi çıxış edir. Bununla yanaşı, dövlət dəstəyi və effektiv tənzimləmə mexanizmləri də bu prosesdə mühüm rol oynayır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Christopher, M. (2016). *Logistics & Supply Chain Management*. Pearson Education, UK.
2. Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2017). *The Handbook of Logistics and Distribution Management*. Kogan Page, London.
3. Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson.
4. FAO (2021). *The State of Food and Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
5. Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). A digital supply chain twin for managing disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*.
6. Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 451–488.
7. World Bank (2022). *Logistics Performance Index (LPI) Report*. Washington, DC.
8. IRU (2020). *Drivers' Hours and Rest Periods in Road Transport*. International Road Transport Union, Geneva.
9. European Commission (2006). *Regulation (EC) No 561/2006 on driving times and rest periods*. Brussels.
10. Sheffi, Y. (2015). *The Power of Resilience: How the Best Companies Manage the Unexpected*. MIT Press.
11. UNCTAD (2021). *Review of Maritime Transport*. United Nations Conference on Trade and Development.
12. Hummels, D. (2007). Transportation costs and international trade in the second era of globalization. *Journal of Economic Perspectives*.

DISTRIBUTION OF MULTI-MODAL TRANSFERS IN UNIFIED CITY HUBS

Ayhan Rzayev
Department - Logistics and Transport
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan

Fidan Fatullayeva
Department- Economics and management
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
Ffetullayeva1@std.beu.edu.az

arzayev11@std.beu.edu.az

ABSTRACT: The effectiveness and sustainability of a Unified Transport System (UTS) rely heavily on the efficient management of passenger transitions among different urban transport modes. This paper conducts a comprehensive analysis of multi-modal transfer patterns in central urban areas to pinpoint crucial bottlenecks in passenger movement and infrastructure connectivity. By leveraging aggregated data from smart card systems and mobile transit applications, the study classifies and examines particular types of transfers—such as bus-to-metro, metro-to-train, and micro-mobility-to-rail—to evaluate the overall synchronization of the system. The research utilizes statistical recognition techniques to trace passenger movements and assess how the design of the hub influences transfer times. The outcomes, presented through comprehensive distribution analysis including pie charts and bar charts, offer crucial insights for urban planners concerning resource distribution and the enhancement of station designs. In conclusion, this research illustrates that an integrated digital framework, combined with improved physical connections, notably minimizes transfer inconveniences, boosts system reliability, and elevates the overall efficiency of high-capacity urban centers.

Keywords: multi-modal transfer, unified transport, passenger flow, urban mobility, statistical distribution

I. INTRODUCTION

Modern urban development requires moving away from fragmented transport networks toward a Unified Transport System (UTS), in which efficiency depends on how smoothly passengers transfer between modes like rail, buses, and subways. These intermodal connections are critical for decreasing travel time and improving sustainability, yet traditional hubs regularly operate separately, resulting in congestion during peak hours. Even with digital coordination, problems continue, including delays caused by mismatched schedules, obsolete infrastructure that cannot handle sudden passenger surges, and limited up-to-the-minute data sharing across agencies, which restricts flexible resource management, as highlighted in recent studies on data-driven urban transport systems [19]. In order to address these issues, an improved system has been developed that analyzes passenger movement across multi-modal hubs using integrated payment data and multithreading techniques, allowing the identification of high-traffic routes and supporting more efficient infrastructure planning through statistical analysis.

II. DESCRIPTION OF THE PROBLEM

The central obstacle in contemporary city transit is the "transfer friction" experienced by commuters during multi-modal shifts. Even when separate transit lines function smoothly, their coordination at major interchanges frequently falters, leading to a disjointed passenger experience. This issue is defined by a …lack of clarity regarding how commuters disperse across several modes after reaching a collective hub [3], [11]. Lacking a statistical grasp of whether a traveler is moving from bus-to-subway or subway-to-train, urban planners are unable to efficiently assign gate throughput or refine transit intervals [1], [12], [18].

Additionally, current facilities often endure a "physical-digital decoupling." This happens when a station's architectural design fails to correspond to the live digital requirements of its users. For instance, a station might offer ample room for subway access, yet if 45% of arriving commuters are moving toward one particular bus route simultaneously, a concentrated bottleneck forms that remains undetected by standard surveillance [16], [17]. The failure to handle these massive data sets in real-time stops the system from identifying these holdups before they spiral into full-scale terminal gridlock.

The absence of a standardized identification system also results in safety and monetary setbacks. When transit data is treated one-by-one instead of simultaneously, the resulting lag stops the central system from confirming fare authorizations immediately. Such not only hinders the physical movement within the hub but also produces "questionable" transaction records that call for human correction. To address this, a framework is required that can instinctively classify these multi-modal streams and display them via distinct statistical visuals, such as pie and bar charts, enabling evidence-based facility oversight [2].

III. METHODOLOGY

First, a more thorough breakdown of the system’s operational phases is outlined. All commuter transit data collected from synchronized metropolitan areas is funneled into a central processing zone. The method for

examining multi-modal transfer patterns adheres to the standard procedures utilized within diverse industrial frameworks for data identification and traffic analysis [4].

A. Generating a set of data templates.

In this opening phase, the system builds a repository of digital transfer schemes that symbolize various intercity links, including "Bus-to-Subway," "Subway-to-Train," and "Tram-to-Bus." The system combines the technical parameters of time-stamped records generated by smart card readers and mobile payment apps. Following this, the system instinctively detects key data fields within the incoming stream—such as specific station codes and time markers—necessary confirm a legitimate transfer occurrence [3], [5].

B. Determining reference points in the passenger stream. While the terminal and the central server exchange information, data lags commonly occur, especially during rush hours inside densely populated city centers. To precisely synchronize the incoming records with the system's scheduling logic, specific reference points within the trip logs are used. Generally, a pair of coordination markers placed at the beginning (boarding) and the conclusion (alighting) of a transit leg operate as indicators, making sure the system accurately interprets the path within the traveler's digital history [6], [13].



Fig. 1. Technical structure of a multi-modal transfer data packet.

C. Defining and aligning the transfer template. Utilizing the coordinates from the reference points pinpointed in the prior phase, the movement model is synchronized with the traveler's actual path. Depending on the signal reliability of NFC or GPS records, various transformation algorithms are used to align the data. For intricate multi-modal transitions, a bilinear transformation is utilized during data mapping to guarantee that the physical span between hubs and the time spent in transit are accurately coordinated across the integrated network [6], [15].

D. Recognition and Statistical Classification. Drawing on the model established in the previous stage, the system identifies and labels every transfer within the data set. The framework is capable of detecting diverse payment and motion fields, such as QR code captures and Near Field Communication (NFC) logs [9], [14].To classify these trends, the system uses data-driven techniques to produce a Pie Chart illustrating the breakdown of transfer categories. If the data metrics exceed a specific reliability limit, the system approves the information for ultimate inclusion into the traffic simulation [7]."

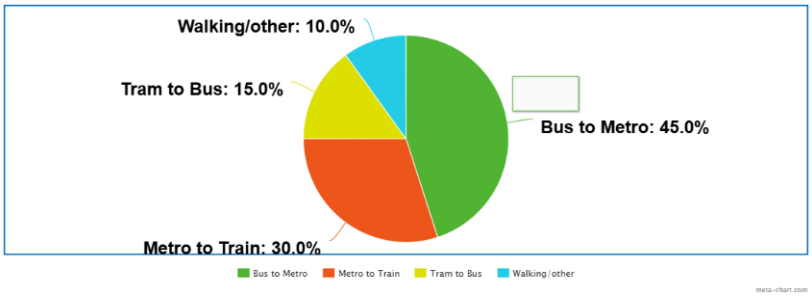


Fig. 2. Distribution of multi-modal transfer types identified by the system.

E. Verification and Expert Assessment. Any identification outcomes classified as "uncertain"—such as unusually extended transfer durations or unfinished journey logs—are routed to a verification sector. Technicians review the digital records on-screen to check the original sensor inputs with the system's automated findings. After the authentication phase is finished, the data moves to the concluding stage, where

expert algorithms produce Bar Charts for evaluating peak-period traffic and providing a final confirmation of the transfer data [8], [16].

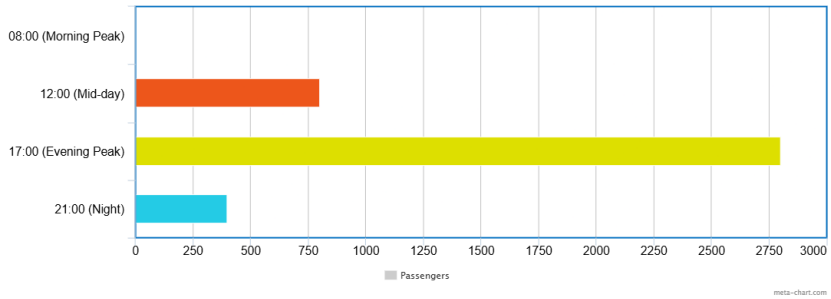


Fig. 3. Distribution of passenger transfer volume by time of day.

IV. CONCLUSION

This research illustrates that a integrated strategy for evaluating multi-modal transfers successfully alleviates the shortcomings triggered by disjointed data and architectural constraints in city centers. Through the application of a structured identification process—encompassing template creation, data synchronization, and statistical categorization—the framework identifies high-volume traffic trends across city networks [9], [14].

The incorporation of visual analytics, particularly pie charts for analyzing modal splits and bar charts for evaluating peak-period demand, allows a more lucid interpretation of commuter habits. These instruments empower transit authorities to shift from reactive troubleshooting to forward-thinking infrastructure enhancement. Additionally, the employment of multithreaded computation makes sure that data authentication occurs with negligible delay, preserving high flow rates even during maximum congestion.

In conclusion, the introduced framework delivers a flexible and technically strong method for aligning contemporary transportation systems. Prospective advancements may involve the inclusion of machine learning to forecast transfer spikes before they materialize, further augmenting the dependability of integrated urban mobility networks.

REFERENCES

[1] European Commission, “Study on Public Transport Smartcards – Final Report on Interoperability,” Brussels, 2011.

[2] International Association of Public Transport (UITP), “Open Payment Systems in Public Transport: Opportunities and Challenges,” *UITP Policy Brief*, 2021.

[3] M.-P. Pelletier, M. Trépanier, and C. Morency, “Smart card data use in public transit: A literature review,” *Transportation Research Part C*,

[4] A. Ceder, “Public Transit Planning and Operation: Modeling, Practice and Behavior,” *CRC Press*, 2016.

[5] J. Gordon, M. Koutsopoulos, and N. H. M. Wilson, “Automated inference of linked transit journeys using fare card and vehicle data,” *Transportation Research Record*,

[6] N. H. M. Wilson and A. Nuzzolo, eds., “Schedule-Based Dynamic Transit Modeling: Theory and Applications,” *Springer*, 2004.

[7] S. Jung, S. Kim, and B. Kahng, “Statistical analysis of the metropolitan Seoul subway system: Network structure and passenger flows,” Physical Review E, 2008.

[8] T. Liu, O. Cats, and K. Gkiotsalitis, “A review of public transport transfer coordination at the tactical planning phase,” Transportation Research Part C: Emerging Technologies

[9] J. Zhao, F. Zhang, L. Tu, C. Xu, D. Shen, C. Tian, X.-Y. Li, and Z. Li, “Estimation of passenger route choice pattern using smart card data for complex metro systems,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017.

[11] A. Munizaga and C. Palma, “Estimation of a disaggregate multimodal public transport origin–destination matrix from passive smartcard data,” *Transportation Research Part C*,

[12] L. Ma, S. Sun, and Y. Chen, "Mining smart card data for transit riders' travel patterns," *Transportation Research Part C*,
[13] J. Zhao, A. Rahbee, and N. H. M. Wilson, "Estimating a rail passenger trip origin–destination matrix using automatic data collection systems," Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2007.
[14] X. Di, H. X. Liu, and J. X. Ban, "Estimating dynamic passenger flows using transit smart card data," *Transportation Research Part C*.
[15] Nigel H. M. Wilson and Jinhua Zhao (and co-authors), Inferring transit passenger-trips from entry-only smart card data, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2012.
[16] X. Wu, J. Zhang, and Y. He, "Modeling passenger flow and congestion in urban rail transit systems," *Transportation Research Part C*,
[17] S. Cats, O. Cats (lead author is S. Cats), Transfer synchronization in public transport: A review and future directions,Transportation Research Part C, 2021.
[18] K. Kusakabe and Y. Asakura, "Behavioral data mining of transit smart card data: A review," *Transportation Research Procedia*,
[19] H. Li, Y. Zhao, and X. Zhu, "Big data analytics for urban transportation systems: A review," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*,

THE ROLE OF DEDICATED BUS LANES IN ENHANCING PUBLIC TRANSPORT EFFICIENCY: EVIDENCE FROM BAKU, AZERBAIJAN

Hazi Akbarov
Baku Engineering University
Department of Logistic and Transport Technologies Engineering
Khirdalan, Azerbaijan
hekberov2@std.beu.edu.az

Faiq Taghizada
Baku Engineering University
Department of Logistic and Transport Technologies Engineering
Khirdalan, Azerbaijan
ftagizada@beu.edu.az

Abstract. Dedicated bus lanes constitute a central instrument of urban transport policy aimed at improving the speed, reliability, and attractiveness of public bus services. This paper examines the role of exclusive bus lanes in Baku, the capital city of Azerbaijan, by analyzing the current state of the network, its measurable positive effects on public transport performance, the operational and social challenges associated with their implementation, and the international experience that may inform future policy decisions. Drawing on data published by the Azerbaijan Land Transport Agency (AYNA) and supported by comparative evidence from Istanbul's Metrobus system and global enforcement studies, the paper argues that dedicated bus lanes substantially improve schedule adherence and passenger throughput when adequately enforced. At the same time, the analysis identifies lane-violation behavior, intersection bottlenecks, and residual congestion for general traffic as persistent challenges that require complementary regulatory and infrastructure responses.

Keywords: dedicated bus lanes, Baku, urban public transport, bus rapid transit, AYNA, traffic management, modal shift.

I. INTRODUCTION

a. Rapid urbanization and increasing private car ownership have placed unprecedented pressure on Baku's road networks, leading to chronic congestion that undermines public transport efficiency. Such delays inflate operating costs and discourage the transition from private vehicles to public transit, contradicting the goals of Azerbaijan's National Urban Mobility Agenda. Dedicated bus lanes offer a cost-effective solution by separating bus services from general traffic, thereby increasing speed, stabilizing headways, and fostering a modal shift.

b. Since 2022, the Azerbaijan Land Transport Agency (AYNA) has implemented an ambitious expansion program. By early 2025, the network reached 112 km across 37 corridors, with plans to extend this to 160 km. This rapid development makes Baku a significant case study for evaluating bus lane policy in a transitional urban context.

c. This paper analyzes the current state of Baku's bus lane network, evaluates its impact on transport performance, and discusses operational challenges such as lane violations and intersection bottlenecks. By drawing on international comparisons, specifically from Istanbul and Moscow, the study concludes with strategic recommendations for optimizing Baku's urban mobility infrastructure.

II. LITERATURE REVIEW

a. The academic literature consistently confirms that dedicated bus lanes are essential for improving average speeds and reducing journey-time variability [1][2]. Empirical studies show that separating buses from mixed traffic can lead to speed gains ranging from 10% to over 36%, depending on the level of enforcement and urban morphology [4][5]. For instance, simulation data from high-density corridors suggests that dedicated lanes can double operating speeds by eliminating the "stop-and-go" cycles typical of congested arterials [3].

b. A primary benchmark for Baku is Istanbul's Metrobus system. Operating on a 52-km dedicated central corridor, it achieves speeds of 35 km/h and carries over 800,000 passengers daily [6][7]. This case illustrates

the high-capacity potential of bus priority measures in cities with comparable densities and transport histories. However, the literature also highlights that lane violations remain the most significant threat to system performance [5][8]. Automated camera-based enforcement has proven far more effective than manual policing in maintaining compliance and protecting bus travel-time savings [4].

c. Finally, while bus lanes reduce road capacity for private vehicles—a move often seen as a deliberate demand-management signal—their long-term success in fostering a "modal shift" depends on complementary policies. Evidence suggests that reliable, fast bus services only attract car users when combined with measures such as parking restrictions and improved first-last mile connectivity [6][10]. For Baku, this indicates that infrastructure alone is insufficient; a sustained regulatory commitment is required to realize the full potential of the bus lane network.

III. ANALYSIS OF THE BAKU BUS LANE NETWORK: CURRENT SITUATION, STATISTICS, AND FACTS

a. The Baku bus lane programmed was formally launched under AYNA's Mobility Transformation Programmed, which set a target of approximately 160 km of dedicated lanes as the backbone of a reformed route network designed to be simulated and validated using the city's "Digital Twin" analytical platform [11]. Table 1 summarizes the key corridors and their operational parameters as of early 2025.

TABLE 1. SELECTED DEDICATED BUS LANE CORRIDORS IN BAKU (2025)

Street / Avenue	Bus Lane Length	Active Hours	Key Bus Routes
Heydar Aliyev Ave.	~5 km	07:00–10:00 / 17:00–20:00	Multiple trunk lines
Babak Ave.	~4 km	07:00–10:00 / 17:00–20:00	High-frequency routes
Azadliq Ave.	~3 km	07:00–10:00 / 17:00–20:00	10+ regular routes; 120,000+ daily riders
A.M. Sharifzadeh Street	>4 km	24 hours	13 routes; ~155,000 daily riders
Fuzuli Street	~2 km	24 hours	Central corridor routes

Source: AYNA official communications, 2024–2025 [11][12][13]

b. According to AYNA's press service, the network across 37 streets and avenues totals 112 km [12]. Daily operational data indicate that buses use these lanes approximately 68,000 times per day, collectively transporting in excess of 900,000 passengers [12]. In an earlier phase covering 31 corridors, approximately 89 km of lanes supported some 68,000 daily bus movements [13]. The programmed also incorporates 329 informational road signs, of which 132 indicate time-of-day restrictions; lanes without time-of-day markings are active around the clock [14].

c. The enforcement regime relies primarily on fixed automated cameras, with fines of 100 Azerbaijani manats (approximately USD 59) and the accrual of two demerit points imposed on drivers whose vehicles are captured in the lane outside permitted access windows [14]. A subset of lanes — including those on Fuzuli Street and sections of A.M. Sharifzadeh Street — are subject to 24-hour restrictions, reflecting the intensity of bus service on those corridors.

d. AYNA has reported that public transport accessibility in Baku currently stands at approximately 80%, with the new route network and associated lane infrastructure intended to raise this figure above 93% [13]. The bus fleet has grown from 1,780 vehicles in September 2022 to 2,341 by 2024, with a further 160 electric buses on order; the target fleet size is 2,500 [13]. These fleet and network changes are intended to be implemented in conjunction with the lane infrastructure so as to realize the full potential of the dedicated corridor capacity.

IV. POSITIVE EFFECTS OF DEDICATED BUS LANES ON PUBLIC TRANSPORT PERFORMANCE

a. The implementation of dedicated bus lanes in Baku produces several interrelated positive outcomes that are consistent with the broader international evidence base.

4.1 Schedule Reliability and Headway Stability

The most direct operational benefit of bus lanes is the decoupling of bus journey times from general traffic congestion. Public transport systems operate on fixed timetables; when buses are delayed by traffic, the resulting irregularity propagates along the entire route, causing "bunching" — the well-documented phenomenon whereby two or more buses arrive simultaneously at a stop after an extended gap — and reducing the effective frequency of service. By allowing buses to maintain consistent speeds on dedicated sections, bus lanes restore headway stability and improve schedule adherence [1][2].

AYNA's operational communications confirm this mechanism: the agency explicitly states that the ability of the bus to maintain its schedule is fundamentally dependent on its independence from mixed traffic flow, and that lane priority substantially increases the throughput capacity of a given street measured in passengers rather than vehicles [11]. On the A.M. Sharifzadeh corridor, for example, more than 155,000 passengers are transported daily across 13 routes using approximately 200 vehicles; without lane priority, the density of this service would generate self-defeating delays.

4.2 Economic and Environmental Efficiency

Dedicated bus lanes improve the economic productivity of the bus fleet by enabling vehicles to complete more trips per operating day. A bus that spends less time stationary in traffic can serve additional departure cycles, reducing the fleet size required to maintain a given frequency and thereby lowering capital and fuel costs per passenger-kilometer. Global research on bus rapid transit systems confirms that dedicated corridors reduce fuel consumption and greenhouse gas emissions, primarily through the elimination of idling and stop-start driving patterns associated with congested mixed traffic [6][10].

Istanbul's Metrobus provides a quantified illustration: EMBARQ's analysis of the corridor estimated that the system reduces CO2 emissions by approximately 167 tons per day and cuts daily fuel consumption by more than 240 tons - liters — an annualized saving of roughly 61,000 tons of CO2 — principally through the modal shift it induces and the elimination of inefficient driving cycles [6]. While Baku's network is at an earlier and less structurally intensive stage of development, the same efficiency logic applies, and the direction of effect is unambiguous.

4.3 Modal Shift Stimulus

b. A reliable, fast bus service constitutes a genuine competitive alternative to the private car in a way that an unpredictable, slow service does not. Transport analysts consistently find that schedule reliability is among the most powerful determinants of modal choice: commuters are willing to accept longer journey times in absolute terms provided that the uncertainty around those times is low [2][9]. Dedicated bus lanes, by improving both speed and reliability, create the supply-side conditions for modal shift.

c. AYNA's own projections reflect this expectation: the combined effect of the new route network and the dedicated lane infrastructure is anticipated to raise public transport accessibility from 80% to over 93% of the Baku population, a trajectory that implicitly assumes substantial numbers of new riders, many of whom will be induced from private car use [13]. International experience, including the documented ridership growth on Istanbul's Metrobus following its initial opening [7], supports the plausibility of this outcome provided that service quality is consistently maintained.

V. NEGATIVE EFFECTS AND OPERATIONAL CHALLENGES

a. While the positive case for dedicated bus lanes is well-founded, a comprehensive evaluation must acknowledge the challenges and adverse side-effects that their implementation generates. These challenges are evident in Baku and are widely documented in the international literature.

5.1 Residual Congestion for General Traffic

The most frequently cited objection to dedicated bus lanes is that the reallocation of road space from mixed traffic to buses worsens congestion in the remaining lanes. When a three-lane arterial is reduced to two lanes for private vehicles, the remaining capacity must absorb the same or higher traffic volumes, producing denser

queuing, longer delays, and, in some cases, diversion of traffic onto parallel streets not designed for that load [8][9].

In Baku, this effect has been observed on several corridors where bus lanes were introduced on streets already operating close to capacity during peak hours. Press and expert commentary has noted that the introduction of dedicated lanes on some arterials has paralyzed traffic movement, with particular impact on businesses located along affected streets, whose customer accessibility has declined [15]. Transport analyst Ərşad Hüseynov has publicly stated that the number of private vehicles using a given street should be proportionally reduced when a bus lane is created — a demand-management outcome that is standard international practice — but that this reduction requires complementary interventions (parking restrictions, congestion pricing, or network management measures) that have not yet been fully implemented in Baku [15].

5.2 Intersection Bottlenecks and Right-Turn Conflicts

A structural challenge common to kerbside bus lane designs is the conflict between right-turning private vehicles and straight-running buses at signalized intersections. Private vehicles that need to turn right must cross the bus lane to reach the turn bay or turning pocket, creating a "bottleneck" or merge conflict that delays both the turning vehicles and the buses behind them [8]. This configuration generates the most significant operational friction on Baku's current lane network, where bus lanes predominantly occupy the right-hand kerb position on one-way or two-way streets.

The international literature suggests several mitigation strategies: setting back the stop-line for right-turning vehicles, providing dedicated turn phases in the signal cycle, physically separating the turn bay from the through bus lane, or — most comprehensively — relocating bus lanes to the central median (as in Istanbul's Metrobus) where right-turn conflicts are structurally eliminated [6][7]. The latter option requires substantially more capital investment and is more disruptive during construction, but delivers a qualitatively superior operating environment.

5.3 Lane Violation and Enforcement Deficits

The effectiveness of a dedicated bus lane is directly proportional to the degree of compliance with the access restriction. When private vehicles use the lane — whether habitually or opportunistically — the time savings intended for buses are diluted, and the reliability improvements that drive modal shift are undermined [4][5]. In Baku, AYNA's enforcement regime relies on fixed cameras and a fine-and-demerit-point penalty structure. Whilst automated enforcement is generally more effective than intermittent police enforcement, the coverage of the current camera network relative to the length of the lane network remains an important determinant of system-wide compliance.

Expert commentary in Azerbaijan has highlighted that the physical presence of enforcement infrastructure (cameras, road markings, and informational signs) is necessary but insufficient: without a sufficiently high probability of detection across all lane segments, rational drivers may comply selectively, defeating the purpose of the lane on under-monitored sections [15]. This concern is particularly acute at the periphery of the network where camera density may be lower and enforcement visibility weaker.

VI. INTERNATIONAL EXPERIENCE: COMPARATIVE PERSPECTIVES

6.1 Istanbul Metrobus: The Regional Benchmark

Istanbul's Metrobus constitutes the most directly relevant international reference point for Baku's bus lane programmed. Inaugurated in 2007 and progressively extended to its current length of 52 km with 44 stations, the Metrobus operates dedicated central-median lanes for virtually its entire corridor, running between Beylikduzu on the European side and Sogutlucesme on the Asian side and crossing the Bosphorus Bridge [7][16]. The system carries approximately 800,000 to one million passengers per day, operates at an average commercial speed of 35 km/h — the highest of any BRT corridor in Europe — and achieves a peak directional capacity of 30,000 passengers per hour per direction, making it the highest-capacity single-lane BRT system in the world [6][16].

The Metrobus demonstrates several principles directly applicable to Baku. First, median-running bus lanes eliminate the intersection right-turn conflict that characterizes Baku's kerb-side design. Second, the system's long station design — accommodating five simultaneous bus docking positions — prevents the station area from becoming a throughput constraint. Third, the integration of the Metrobus with metro, tram, and

conventional bus services through physical interchange nodes amplifies the network effect of the BRT corridor, enabling door-to-door journeys that are genuinely competitive with the private car across a wide catchment [6]. Challenges do remain: passenger overcrowding during peak periods and the absence of dedicated lanes on the Bosphorus Bridge segment are acknowledged weaknesses [16].

VII. CONCLUSION

a. This paper evaluated the impact of dedicated bus lanes on public transport efficiency in Baku. As of early 2025, the 112 km network across 37 corridors has delivered measurable benefits, supporting over 900,000 daily passengers and facilitating a bus fleet expansion from 1,780 to over 2,340 vehicles. The analysis confirms that decoupling public transit from mixed traffic is a fundamental step toward restoring schedule reliability and encouraging a modal shift in Baku's transitional urban context.

b. However, the study identifies three critical challenges: structural congestion in general-traffic lanes, right-turn conflicts at intersections, and persistent lane violations. To address these, Baku should consider integrating complementary demand-management policies, such as parking regulations, and potentially migrating high-volume corridors to median-running configurations similar to Istanbul's Metrobus. Furthermore, sustaining the deterrent effect of fines through 100% camera coverage is essential for long-term enforcement.

c. In conclusion, the challenges Baku faces are typical for cities in a bus priority transition. Continued 41122334expansion toward the 160 km target, combined with fleet electrification and automated enforcement, will position Baku to achieve its sustainable mobility goals and significantly improve urban accessibility.

REFERENCES

[1] Vuchic, V. R. (2005). Urban Transit: Operations, Planning and Economics. Hoboken, NJ: Wiley.

[2] Litman, T. (2021). Evaluating Public Transit Benefits and Costs: Best Practices Guidebook. Victoria Transport Policy Institute.

[3] Godavarthi, G. R., Nikam, V., & Hamsa, A. K. (2014). Impacts of Bus Rapid Transit Lanes on Traffic and Commuter Mobility. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 140(6).

[4] Planetizen News. (2025, August). AI-Powered Bus Lane Cameras Are Speeding Up Buses by up to 36%. Retrieved from https://www.planetizen.com

[5] Streetsblog NYC. (2023, April). SMILE! Bus Lane Cameras Reduce Collisions, Speed Commutes, MTA Says. Retrieved from https://nyc.streetsblog.org

[6] C40 Cities. (2015). Good Practice Guide: Istanbul Metrobüs System. Retrieved from https://www.c40.org

[7] WRI Ross Center for Sustainable Cities. (2015). Istanbul's Metrobüs Bus Rapid Transit System Receives International Recognition. Retrieved from

[8] Litman, T. (2016). When Are Bus Lanes Warranted? Considering Economic Efficiency, Social Equity and Strategic Planning Goals. Victoria Transport Policy Institute. Retrieved from https://www.vtpi.org/blw.pdf

[9] LYT. (2024). Bus Rapid Transit: The Pros and Cons of Transit-Only Lanes. Retrieved from https://lyt.ai

[10] MDPI Sustainability. (2021). Using Combined Bus Rapid Transit and Buses in a Dedicated Bus Lane to Enhance Urban Transportation Sustainability, 13(6), 3052.

[11] AYNA – Azerbaijan Land Transport Agency. (2024, July 10). *AYNA Chairman: 160 km of New Bus Lanes to Be Created*. APA-Economics. Retrieved from apa.az

[12] AYNA – Azerbaijan Land Transport Agency / Banker.az. (2025, March). 48 km of New Bus Lanes to Be Constructed in Baku – Official Statement. Retrieved from https://banker.az

[13] AYNA – Azerbaijan Land Transport Agency / Oxu.az. (2025, March). New Route Network Being Created in Baku: Bus Fleet to Reach 2,500. Retrieved from https://oxu.az

[14] Avtosfer.az. (2025, August). List of Bus Lanes in Baku: Which Lane Is Permitted at Which Hour? Retrieved from https://avtosfer.az

[15] BakuPost. (2024, September). Bus Lanes: Solving the Problem or Creating New Congestion? (Analytical Report). Retrieved from https://www.bakupost.az

[16] Wikipedia. (2025). Metrobus (Istanbul). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Metrobus_(Istanbul)

[17] AYNA / APA. (2024, August). Dedicated Bus Lane Established on A.M. SharifzadehStreet in Baku. Retrieved from https://apa.az

[18] AYNA / Metbuat.az. (2024). Dedicated Bus Lane Established on Azadlıq Avenuei in Baku. Retrieved from https://metbuat.az

ORTA DƏHLİZİN BEYNƏLXALQ TİCARƏT VƏ LOGİSTİKADAKI ƏHƏMİYYƏTİ

Leyla Həsrətova Məmməd
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Logistika və Nəqliyyat
Bakı, Azərbaycan
lhesratova@beu.edu.az

Səbuhi Rüstəmov Faiq
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Logistika və Nəqliyyat
Bakı, Azərbaycan
srustemov3@std.beu.edu.az

Xülasə: Beynəlxalq Trans-Xəzər Nəqliyyat Marşrutu (Orta Dəhliz) Çindən başlayaraq Mərkəzi Asiya, Xəzər dənizi, Azərbaycan və Gürcüstan üzərindən Türkiyə və Avropaya uzanan multimodal logistika zənciridir. Bu dəhliz dəniz, dəmir yolu və avtomobil nəqliyyatının inteqrasiyasına əsaslanır və stabil geosiyasi mühitə malik olması, eləcə də tranzit müddətini əhəmiyyətli dərəcədə qısaltması ilə fərqlənir. Hazırda Çindən Avropaya yüklərin çatdırılma müddəti orta hesabla 18 günə enmişdir.

Azərbaycan bu marşrutda əsas logistik qovşaq kimi çıxış edir. 2024-cü ilin may ayında Bakı-Tbilisi-Qars dəmir yolu xəttinin genişləndirilməsi nəticəsində illik ötürücülük qabiliyyəti 5 milyon tona çatdırılmış, Ələt Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanının genişləndirilməsi və rəqəmsal gömrük sistemlərinin tətbiqi tranzit proseslərini optimallaşdırmışdır.

2024-cü ilin yekun statistikasına görə, Orta Dəhlizlə daşınan yüklərin həcmi əvvəlki illərlə müqayisədə 60%-dən çox artaraq 4,5–4,8 milyon tona yüksəlmişdir. 2025-ci ilin ilkin rüb göstəriciləri artım tempinin davam etdiyini və illik ötürücülük potensialının yaxın illərdə 10 milyon tonu keçəcəyini göstərir.

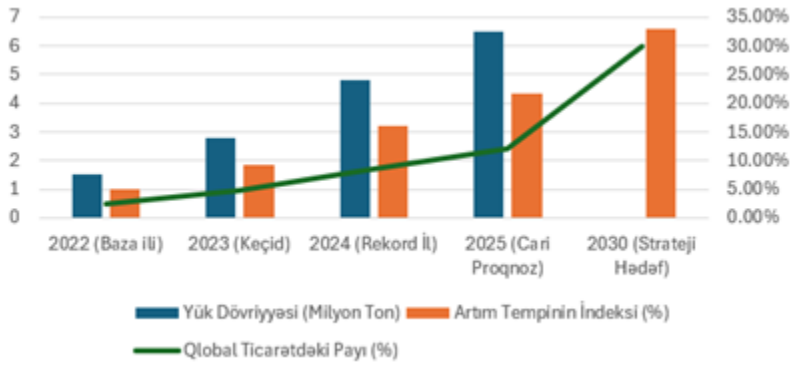
Bununla belə, Xəzər dənizində fider gəmilərinin sayının artırılması, vahid tarif siyasətinin harmonizasiyası və rəqəmsal logistika platformalarının tam inteqrasiyası əsas prioritetlər olaraq qalır. Orta Dəhliz Avrasiyanın nəqliyyat sistemində iqtisadi və strateji əhəmiyyətini gücləndirir.

***Açar sözlər*:** transxəzər nəqliyyat marşrutu, qlobal ticarət əlaqələri, logistika sistemləri, Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu xətti, intermodal daşımalar, Azərbaycanın tranzit potensiali, nəqliyyat infrastrukturu və kapital yatırımları

I. GİRİŞ

XXI Əsrin Qlobal Ticarətində Strateji Diversifikasiyası

Müasir dünya iqtisadiyyatında Asiya və Avropa arasındakı logistik zəncirlərin çoxşaxəliliyi təhlükəsizlik və iqtisadi dayanıqlılıq üçün fundamental şərtdir. Bu müstəvidə, ənənəvi şimal yollarına ən güclü alternativ kimi Orta Dəhliz (Trans-Xəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutu) öz mövqeyini sürətlə möhkəmləndirir. Çinin qlobal "Bir Kəmər, Bir Yol" strategiyası ilə inteqrasiya olunan bu arteriya, Dünya Bankının 2024-cü il hesabatındakı proqnozlara əsasən, 2030-cu ilə qədər qitələrarası yük daşımalarının təxminən 30%-ni cəlb etmək potensialına malikdir (şək. 1).

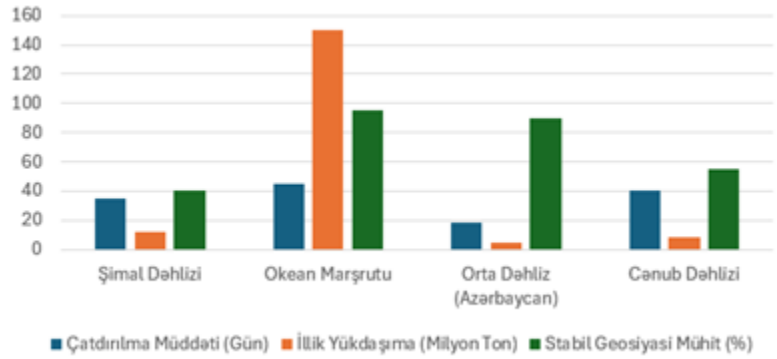


Şəkil 1. Orta Dəhlizin İnkişaf Dinamikası və Strateji Hədəfləri (2022-2030)

Azərbaycan bu sistemin mərkəzi qovşağı kimi çıxış edərək, Bakı-Tbilisi-Qars dəmir yolu və Ələt Limanı vasitəsilə tranzit imkanlarını genişləndirmişdir. 2024-cü ilin sonuna olan rəsmi statistikaya görə, marşrut üzrə yük dövriyyəsi rekord vuraraq 4,8 milyon tona çatmışdır ki, bu da 2022-ci illə müqayisədə üç dəfədən çox artım deməkdir. Hazırda bu tədqiqatda dəhlizin strukturu, Azərbaycanın həlledici mövqeyi və marşrutun gələcək inkişaf perspektivləri ən son iqtisadi göstəricilər işığında analiz edilir.

II. TƏDQİQAT

Marşrutun Strukturu və Strategiyası – Orta Dəhliz, Asiya ilə Avropa qitələri arasında multimodal daşımalar üçün geniş imkanlar açan və regionlararası ticarət dövriyyəsini optimallaşdıran fundamental strateji yoldur [Cəfərli, 2025, p. 124]. Bu logistik şəbəkə Çin, Qazaxıstan, Xəzər akvatoriyası, Azərbaycan, Gürcüstan və Türkiyə hüdudlarından keçərək, malların həm dəmir yolu və dəniz, həm də magistral yollarla inteqrasiya olunmuş şəkildə ötürülməsini təmin edir [Xəzər Regionunda Nəqliyyat Dəhlizləri, 2024]. Prioritet hədəf ticarət əməliyyatlarının maksimum təhlükəsizliyini qorumaqla yanaşı, çatdırılma vaxtını və nəqliyyat xərclərini ən aşağı həddə endirməkdən ibarətdir [Orta Dəhliz: Ticarət və Logistikanın Gələcəyi, 2025]. Dəmir yolu seqmenti Orta Dəhlizin funksional strukturunun əsasını təşkil edir. Bu çərçivədə, 2017-ci ildən fəaliyyət göstərən və 2024-cü ildə genişmiqyaslı modernizasiyası tamamlanan Bakı-Tbilisi-Qars (BTQ) xətti həlledici elementdir [Asian Development Bank, 2025, p. 87]. Artıq illik 5 milyon ton yük ötürmə qabiliyyətinə çatdırılmış bu infrastruktur, Çin mənşəli məhsulların klassik okean yolları ilə müqayisədə xeyli daha sürətli şəkildə Avropaya çatmasına rəvac verir. 2026-cı ilin cari statistikasına görə, BTQ vasitəsilə daşımalar cəmi 12-15 gün ərzində reallaşır ki, bu da dəniz marşrutları ilə rəqabətdə misilsiz zaman üstünlüyü deməkdir [Tranzit Ticarət Rəqəmləri, 2026]. Dəmir yolu nəqliyyatı – Orta Dəhlizin əsas sütunlarından biri kimi çıxış edir. Bu kontekstdə, 2017-ci ildə istifadəyə verilmiş Bakı-Tbilisi-Qars (BTQ) dəmir yolu xətti mühüm rol oynayır [Asian Development Bank, 2025, p. 87]. Hər il təxminən 5 milyon ton yük daşıma potensialına malik olan bu xətt, Çin istehsalı olan məhsulların ənənəvi dəniz yolu ilə müqayisədə daha qısa müddət ərzində Avropaya çatdırılmasına imkan yaradır. Statistik göstəricilərə əsasən, BTQ xətti vasitəsilə yüklərin Çin və Avropa arasında daşınması orta hesabla 12-15 gün çəkir ki, bu da dəniz nəqliyyatı ilə müqayisədə əhəmiyyətli bir üstünlükdür [Tranzit Ticarət Rəqəmləri, 2026]. Dəniz yolu – komponenti marşrutun mühüm hissəsini təşkil edir. Xəzər dənizi üzərində yerləşən Aktau (Qazaxıstan) və Ələt (Azərbaycan) limanları, Orta Dəhlizin funksionallığını artıran əsas nəqliyyat qovşaqlarıdır [Xəzər Regionunda Nəqliyyat Dəhlizləri, 2024]. Bu limanlar Asiya ilə Avropa arasında yük tranzitini təmin edən əsas dayanacaqlar olmaqla yanaşı, marşrutun davamlı inkişafı üçün kritik əhəmiyyət daşıyır. Xüsusilə, Ələt Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı 15-25 milyon ton yük dövriyyəsi potensialına malikdir ki, bu da bölgənin tranzit imkanlarını daha da genişləndirir [Tranzit Ticarət Rəqəmləri, 2026]. Avtomobil yolları – Orta Dəhlizin digər vacib elementlərindən biridir. Gürcüstan və Türkiyə arasında inşa edilmiş geniş avtomobil yolları, xüsusilə sürətli və çevik yükdaşımalar üçün ideal şərait yaradır [Xəzər Regionunda Nəqliyyat Dəhlizləri, 2024]. Xüsusilə pərakəndə malların daşınması sahəsində, avtomobil nəqliyyatı vacib rol oynayır, çünki bu nəqliyyat növü daha kiçik həcmli, lakin tez-tez daşınan yüklər üçün effektiv alternativ kimi çıxış edir (şək. 2).



Şəkil 2. Beynəlxalq nəqliyyat marşrutlarının texniki-iqtisadi və strateji göstəricilərinin müqayisəli təhlili

Orta Dəhlizin əsas strateji prioritetlərindən biri, ənənəvi dəniz nəqliyyatı ilə müqayisədə yükdaşımaların müddətini təxminən 50% azaltmaq və marşrut boyunca ticarət həcmini ikiqat artırmaqdır. Bunun üçün nəqliyyat və logistika infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi, gömrük prosedurlarının sadələşdirilməsi və tranzit ölkələr arasında əməkdaşlığın gücləndirilməsi kimi tədbirlər davam etdirilir. Bu marşrut, geosiyasi dəyişikliklər fonunda Asiya və Avropa arasında ticarət əlaqələrinin diversifikasiyasına mühüm töhfə verir və gələcəkdə beynəlxalq ticarətdə daha da böyük rol oynamağa namizəddir [Tranzit Ticarət Rəqəmləri, 2026]. Azərbaycanın Strategiya və Təşəbbüsləri – Azərbaycan coğrafi mövqeyinə görə Orta Dəhlizin ən mühüm tranzit ölkələrindən biri kimi çıxış edir və regionun ticarət yollarının kəsişmə nöqtəsi rolunu oynayır [Cəfərli, 2025, p. 124]. Ölkə, nəqliyyat infrastrukturuna yatırılan böyük investisiyalar və modern logistika şəbəkələrinin yaradılması ilə Orta Dəhlizin səmərəliliyinə və davamlı inkişafına mühüm töhfə verir. Azərbaycan ərazisindən keçən nəqliyyat xətləri, həm Asiya və Avropa arasında yükdaşımaların fasiləsiz və optimal şəkildə həyata keçirilməsinə, həm də regional əməkdaşlığın genişləndirilməsinə imkan yaradır.

Mərkəzi Asiyadan gələn yüklərin Gürcüstan və Türkiyə vasitəsilə Avropaya çatdırılmasını təmin edən Bakı-Tbilisi-Qars (BTQ) Dəmir Yolu bu kontekstdə əsas nəqliyyat arteriyalarından biridir. 2017-ci ildə istifadəyə verilmiş bu dəmir yolu xətti, Çindən Avropaya daşınan yüklər üçün alternativ bir marşrut təqdim edir və yükdaşımaların sürətini əhəmiyyətli dərəcdə artırır. 2024-cü ilin sonuna olan məlumatlara əsasən, bu xəttin illik potensialı artıq 5 milyon tona çatdırılıb ki, bu da əvvəlki illərin göstəricilərini bir neçə dəfə üstələyir. Azərbaycan, BTQ dəmir yolu xətləri boyunca infrastrukturun yenilənməsi və tranzit prosedurlarının sadələşdirilməsi vasitəsilə strateji hədəflərə çatmaq üçün ciddi addımlar atır [Regional Nəqliyyat Şəbəkələrinin Təhlili, 2025, p. 87]. Xəzər dənizi üzərindən multimodal daşımaların effektivliyini artıran və Orta Dəhliz üçün mühüm strateji məntəqə hesab edilən Ələt Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı, müasir logistika mərkəzi kimi fəaliyyət göstərir. Bu liman, yalnız yük tranzitinə deyil, həm də Xəzər dənizi vasitəsilə enerji daşımalarına (TANAP və digər neft-qaz layihələri) dəstək verərək, Azərbaycanın enerji logistikasındakı rolunu gücləndirir. Ələt limanı, illik 15-25 milyon ton yükdaşıma qabiliyyətinə malikdir və gələcəkdə bu tutumun daha da artırılması üçün genişləndirmə planları mövcuddur. Bununla yanaşı, Azərbaycan təkcə Orta Dəhliz deyil, həm də Şimal-Cənub Nəqliyyat Dəhlizi (North-South Transport Corridor - NSTC) vasitəsilə qlobal ticarət axınlarında strateji mövqeyini daha da gücləndirir. Hindistan, İran və Rusiyanı birləşdirən bu dəhliz, Azərbaycanı təkcə Şərq-Qərb xəttində deyil, həm də Şimal-Cənub marşrutunda əsas tranzit ölkəyə çevirir. Bu, ölkənin ticarət və nəqliyyat sahəsində genişlənən rolunun göstəricisidir və Avrasiya ticarət şəbəkəsinin mərkəzi halqasına çevrilməsinə şərait yaradır. Azərbaycan, tranzit və logistika sahəsində yalnız fiziki infrastrukturun deyil, həm də rəqəmsal həllərin inkişafına xüsusi diqqət yetirir. Xüsusilə, gömrük prosedurlarının sadələşdirilməsi və nəqliyyat əməliyyatlarının sürətləndirilməsi üçün tətbiq edilən "rəqəmsal gömrük" texnologiyaları, yüklərin emalı və sərhəd keçidlərinin sürətini 40% artırmağa imkan verib (Vəliyev, 2025). Bu sistemlər, elektron gömrük bəyannamələri, avtomatlaşdırılmış sərhəd keçid məntəqələri və süni intellekt əsaslı logistika idarəetmə mexanizmləri vasitəsilə ticarət proseslərini optimallaşdırır və iştirakçı şirkətlər üçün maliyyə xərclərini minimuma endirir. Bu kimi addımlar, Azərbaycanın qlobal nəqliyyat sistemindəki rolunu daha da möhkəmləndirərək, ölkəni nəqliyyat və logistika sahəsində lider mövqeyə çıxarır. Geosiyasi və iqtisadi dəyişikliklər fonunda, Azərbaycan nəqliyyat sahəsindəki strateji üstünlüklərini qoruyub saxlamaq və regionun

əsas ticarət qovşaqlarından biri kimi öz mövqeyini gücləndirmək üçün ardıcıl infrastruktur yatırımları və texnoloji yeniliklər həyata keçirməkdə davam edir. İqtisadi Təsirlər və Çətinliklər – Orta Dəhliz, son illərdə sürətlə inkişaf edərək Avropa və Asiya arasında mühüm bir ticarət arteriyası kimi formalaşmağa davam edir. Bu nəqliyyat marşrutu yalnız coğrafi mövqeyinə görə deyil, həm də qlobal ticarət axınlarını optimallaşdırmaq baxımından strateji əhəmiyyətə malikdir. Nəqliyyat və logistika imkanlarının genişlənməsi, infrastrukturun modernləşdirilməsi və gömrük prosedurlarının sürətləndirilməsi kimi amillər, Orta Dəhlizdən keçən yüklərin həcminin ilbəil artmasına şərait yaradır. Son statistik məlumatlara əsasən, 2025-ci ildə Orta Dəhliz vasitəsilə daşınan yüklərin ümumi dəyəri 15 milyard dolları keçmişdir. Bu rəqəm, ticarət axınlarının artan tempini və bu marşrutun beynəlxalq yükdaşımalar üçün nə qədər mühüm olduğunu göstərir.

Azərbaycanın coğrafi mövqeyi və tranzit imkanları ölkəyə əhəmiyyətli iqtisadi gəlirlər gətirir. Ölkənin Orta Dəhlizdən tranzit xidmətlərindən əldə etdiyi illik gəlir 2025-ci ilin nəticələrinə görə 700-800 milyon dollar səviyyəsinə çatıb. Bu gəlirlərin daha da artırılması üçün nəqliyyat infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi, multimodal daşımaların genişləndirilməsi və tariflərin optimallaşdırılması kimi strategiyalar gündəmdədir. Əsas Sənaye Sahələri və Yüklərin Tərkibi - Orta Dəhliz üzərindən daşınan yüklərin tərkibi müxtəlif sənaye sahələrini əhatə edir və marşrutun regional və beynəlxalq ticarətdəki rolunu aydın şəkildə nümayiş etdirir. Enerji sektoru: TANAP (Trans-Anadolu Təbii Qaz Boru Kəməri) vasitəsilə Xəzər hövzəsindən Avropaya enerji tədarükü həyata keçirilir. Bu boru kəməri, Azərbaycan qazının Türkiyə və Avropaya ixracını təmin edərək, regionun enerji təhlükəsizliyinə və ticarət əlaqələrinə mühüm töhfə verir. Kənd təsərrüfatı məhsulları: Xüsusilə Gürcüstandan və digər region ölkələrindən ixrac edilən meyvə və tərəvəz məhsulları Orta Dəhliz vasitəsilə Türkiyə və Avropa bazarlarına çatdırılır. Bu sektor, regional iqtisadiyyat üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir və marşrutun kənd təsərrüfatı məhsullarının beynəlxalq bazarlara çıxarılmasında oynadığı rolu nümayiş etdirir. Avtomobil sənayesi: Türkiyədən Orta Asiyaya və Çinə ixrac edilən avtomobil hissələri və sənaye avadanlıqları marşrutun yük həcmini formalaşdıran əsas kateqoriyalardan biridir. Bu sahə, Orta Dəhlizin sənaye və istehsal sektorları üçün vacib bir ticarət arteriyası kimi rol oynadığını göstərir. Bu sənaye sahələri ilə yanaşı, tekstil, kimya məhsulları və istehlak malları da marşrutun ticarət dövriyyəsində əhəmiyyətli yer tutur. Orta Dəhlizin Qarşılaşdığı Əsas Problemlər və Çətinliklər – Orta Dəhlizin inkişafı sürətlə davam etsə də, marşrutun tam potensialına çatması üçün hələ də həll edilməli olan bir sıra maneələr mövcuddur. Xəzər dənizində bərə daşımalarının məhdud olması: Hazırda transxəzər yükdaşımalarını həyata keçirən donanmanın genişləndirilməsi prosesi davam edir. Bu məhdudiyyət, dəniz yolu ilə yük daşınmasının operativliyini bəzən azaldır və marşrutun daha çevik fəaliyyət göstərməsinə mane olur. Bu problemi həll etmək üçün Xəzər dənizində daha çox yeni nəsil bərə və yük gəmilərinin istifadəyə verilməsi, liman xidmətlərinin rəqəmsallaşdırılması vacibdir. Ölkələr arasında nəqliyyat tariflərinin fərqliliyi: Marşrut üzərində yerləşən dövlətlər arasında fərqli dəmir yolu və gömrük tarifləri mövcuddur ki, bu da tranzit xərclərinin artmasına səbəb olur. Xüsusilə, Qazaxıstan və Türkiyə arasında mövcud dəmir yolu tarifləri arasındakı fərqlər, marşrut üzrə ümumi daşıma xərclərinin yüksəlməsinə gətirib çıxarır. Bu problemin həlli üçün vahid tarif sisteminin tətbiq edilməsi və nəqliyyat siyasətinin koordinasiyası istiqamətində regional əməkdaşlığın gücləndirilməsi zəruridir. Ölkələr arasında nəqliyyat tariflərinin fərqliliyi: Marşrut üzərində yerləşən dövlətlər arasında fərqli dəmir yolu və gömrük tarifləri mövcuddur ki, bu da tranzit xərclərinin artmasına səbəb olur. Xüsusilə, Qazaxıstan və Türkiyə arasında mövcud dəmir yolu tarifləri arasındakı fərqlər, marşrut üzrə ümumi daşıma xərclərinin yüksəlməsinə gətirib çıxarır. Bu problemin həlli üçün vahid tarif sisteminin tətbiq edilməsi və nəqliyyat siyasətinin koordinasiyası istiqamətində regional əməkdaşlığın gücləndirilməsi zəruridir. Bütün bu problemlərin həlli istiqamətində atılacaq addımlar, Orta Dəhlizin rəqabət qabiliyyətini artıraraq, bu marşrutun beynəlxalq ticarətdə daha da əhəmiyyətli rol oynamasına şərait yaradacaqdır.

Gələcəkdə görüləcək infrastruktur layihələri, logistika şəbəkələrinin genişləndirilməsi və gömrük prosedurlarının rəqəmsallaşdırılması, Orta Dəhlizin tranzit potensialını artıraraq, regionun iqtisadi inkişafına mühüm töhfə verəcəkdir [ITF, 2026]. Perspektivlər və Həll Yolları – Orta Dəhlizin tam potensialının reallaşdırılması üçün infrastrukturun gücləndirilməsi, inzibati islahatların aparılması və beynəlxalq əməkdaşlığın artırılması vacib amillərdir. Qlobal ticarət axınlarının optimallaşdırılması və tranzit marşrutlarının rəqabət qabiliyyətini artırılması üçün atılacaq addımlar, Orta Dəhlizin gələcək inkişafına əhəmiyyətli töhfə verəcəkdir [Məmmədov, 2025]. İnfrastrukturun Gücləndirilməsi - Orta Dəhlizin keçdiyi ölkələrdə nəqliyyat

infrastrukturu ilə bağlı davam edən və planlaşdırılan layihələr marşrutun effektivliyini artırmaq məqsədi daşıyır. Xəzər dənizində Türkmənistan-Azərbaycan bərə xəttinin yaradılması və genişləndirilməsi: Mövcud transxəzər daşımalarının optimallaşdırılması məqsədilə bu istiqamətdə yeni gəmilərin cəlb edilməsi planlaşdırılır. 2030-cu il üçün müəyyən olunan hədəfə əsasən, bu xətt vasitəsilə daşınan yük həcmi 3 milyon ton olacaqdır. Bu addım, transxəzər nəqliyyatının sürətləndirilməsi və yük axınının optimallaşdırılması baxımından böyük əhəmiyyət kəsb edir. Gürcüstanda Batumi və Poti limanlarının, həmçinin Anaklia dərin dəniz limanı layihəsinin inkişafı: Gürcüstanın Qara dəniz sahillərində yerləşən bu qovşaqlar Orta Dəhliz üzrə Avropaya çıxış nöqtələri kimi mühüm rola malikdir. Limanların yük emal gücünün artırılması, Orta Dəhliz vasitəsilə daşınan yüklərin həcminin artmasına və logistik proseslərin daha səmərəli təşkil edilməsinə imkan vərir. İnzibati

İslahatlar - Orta Dəhliz üzərində yerləşən ölkələr arasında ticarət və nəqliyyat əməliyyatlarının sadələşdirilməsi məqsədilə inzibati islahatların həyata keçirilməsi nəzərdə tutulur. Bu islahatlar, marşrutun daha cəlbedici və rəqabətə davamlı olması üçün vacibdir. "Vahid Tranzit Sənədi"nin tətbiqi: Gömrük və sərhəd prosedurlarının sürətləndirilməsi məqsədilə rəqəmsal "Vahid Tranzit Sənədi" sisteminin yaradılması planlaşdırılır. Bu sistemin tam tətbiqi nəticəsində, gömrük prosedurlarının tamamlanma müddəti 24 saatdan 6 saata qədər azaldılacaqdır.

Proseslərin avtomatlaşdırılması və rəqəmsallaşdırılması, ticarət və logistika şirkətləri üçün əlavə vaxt və maliyyə qənaəti təmin edir. Ölkələr arasında tarif uyğunluğu üçün regional sazişlər: Marşrut üzərində yerləşən dövlətlər arasında mövcud nəqliyyat tariflərinin harmonizasiya edilməsi məqsədilə regional sazişlərin imzalanması planlaşdırılır. Tariflərin uyğunlaşdırılması və vahid tarif siyasətinin tətbiqi, nəqliyyat xərclərinin azalmasına və marşrutun iqtisadi cəlbediciliyinin artmasına şərait yaradacaqdır. Beynəlxalq Səviyyədə Əməkdaşlıq - Orta Dəhlizin beynəlxalq ticarət sistemində daha güclü mövqe qazanması üçün qlobal səviyyədə əməkdaşlıq və maliyyə dəstəyi önəmli rol oynayır. Çin və Avropa İttifaqının Orta Dəhliz üzrə koordinasiya qrupu yaratması: Bu tərəflər arasında Orta Dəhlizin inkişafı və optimallaşdırılması istiqamətində yeni koordinasiya mexanizmləri işə düşüb. Bu qrup, marşrut boyunca logistik imkanların genişləndirilməsi, hüquqi çərçivələrin tənzimlənməsi və ticarət əlaqələrinin gücləndirilməsi üçün fəaliyyət göstərir. Bu əməkdaşlıq, Orta Dəhlizi Çin və Avropa arasında əsas ticarət arteriyalarından birinə çevirmək məqsədini güdür. Beynəlxalq Maliyyə Təşkilatlarının (ADB, AİİB) investisiyalarının artırılması: Orta Dəhlizin infrastruktur layihələrinin maliyyələşdirilməsi üçün Asiya İnkişaf Bankı (ADB) və Asiya İnfrastruktur İnvestisiya Bankı (AİİB) kimi beynəlxalq maliyyə təşkilatlarının investisiya qoyuluşlarının artırılması planlaşdırılır. Bu investisiyalar, yeni yolların və dəmir yolu xətlərinin tikintisi, limanların modernləşdirilməsi və logistika mərkəzlərinini genişləndirilməsi kimi layihələrin həyata keçirilməsini təmin edir. Bütün bu tədbirlər, Orta Dəhlizin gələcək inkişafına xidmət edərək, marşrutun beynəlxalq ticarət sistemində daha güclü mövqe qazanmasına şərait yaradacaqdır.

III. NƏTİCƏ

Orta Dəhliz sadəcə bir nəqliyyat xətti deyil, Avrasiya məkanında iqtisadi inteqrasiyanı və ölkələrarası ticarət əlaqələrinin inkişafını təmin edən strateji bir sistem kimi çıxış edir. Bu marşrut Şərqlə Qərb arasında daha qısa, çevik və alternativ logistika imkanları yaradaraq qlobal təchizat zəncirində mühüm rol oynayır və regionlararası iqtisadi əlaqələrin güclənməsinə şərait yaradır.

Azərbaycanın həyata keçirdiyi genişmiqyaslı infrastruktur layihələri və ölkənin əlverişli coğrafi mövqeyi bu prosesdə xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Xəzər dənizi hövzəsində yerləşməsi və beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin kəsişməsində olması Azərbaycanın tranzit ölkə kimi rolunu daha da artırır. Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı və Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu kimi layihələr yük daşımalarının səmərəliliyini yüksəldir, logistika xərclərini azaldır və beynəlxalq ticarətin daha stabil şəkildə aparılmasına imkan verir. Bununla yanaşı, Orta Dəhliz region ölkələri arasında iqtisadi əməkdaşlığın dərinləşməsinə, yeni ticarət marşrutlarının formalaşmasına və investisiya axınlarının artmasına təkan verir. Bu isə öz növbəsində qeyri-neft sektorunun inkişafını sürətləndirir, yeni iş imkanları yaradır və ölkələrin iqtisadi dayanıqlığını gücləndirir. Eyni zamanda, mövcud texniki maneələrin – sərhəd prosedurlarının optimallaşdırılması, infrastruktur uyğunluğunun artırılması və multimodal daşımaların koordinasiyası kimi məsələlərin həlli – bu dəhlizin daha səmərəli işləməsinə şərait yaradır. Beynəlxalq tərəfdaşlıq əlaqələrinin genişləndirilməsi və rəqəmsal logistika həllərinin tətbiqi isə Orta Dəhlizin qlobal ticarət sistemində rolunu daha da gücləndirir.

Nəticə etibarilə, Orta Dəhliz gələcəkdə təkcə regional deyil, həm də qlobal iqtisadi sistemdə mühüm arteriya rolunu oynaya biləcək potensiala malikdir və bu istiqamətdə atılan addımlar onun strateji əhəmiyyətini daha da artırır.

ƏDƏBIYYAT

1. World Bank. (2024). *Trade and Transport Connectivity Outlook: Eurasian Corridors*. World Bank Publications.
2. Asian Development Bank. (2025). *Infrastructure and Connectivity in Central Asia: The Role of Baku–Tbilisi–Kars Railway*. ADB Publishing.
3. International Transport Forum. (2026). *Global Trade Routes: Prospects for Middle Corridor Development*. OECD/ITF Reports.
4. Cəfərli, E. F. (2023). *Beynəlxalq iqtisadi əlaqələrdə nəqliyyatın rolu*. Elm nəşriyyatı.
5. Cəfərli, E. F. (2025). *Avrasiya logistika şəbəkələri və Orta Dəhlizin strateji əhəmiyyəti*. Bakı Universiteti Nəşriyyatı.
6. Xəzər Regionunda Nəqliyyat Dəhlizləri. (2024). *Limanların inkişafı və multimodal qovşaqlar: Aktau və Ələt*. Beynəlxalq Logistika Forumu Materialları.
7. Orta Dəhliz: Ticarət və Logistikanın Gələcəyi. (2025). *Regional ticarət və logistika inkişaf hesabatı*. Bakı.
8. Tranzit Ticarət Rəqəmləri. (2026). *Beynəlxalq yükdaşımaların statistik icmalı*. Logistika Analitik Mərkəzi.
9. Regional Nəqliyyat Şəbəkələrinin Təhlili. (2025). *Dəmir yolu infrastrukturu və tranzit həcmləri (Bakı–Tbilisi–Qars nümunəsində)*. Nəqliyyat, Rabitə və Yüksək Texnologiyalar Nazirliyi.
10. Vəliyev, S. (2025). *Logistikada süni intellekt və sərhəd keçid texnologiyaları*. Rəqəmsal İnkişaf və Nəqliyyat Agentliyi.
11. Məmmədov, E. (2025). *Avrasiya nəqliyyat şəbəkələri və multimodal daşımalar*. Akademik Tədqiqatlar Mərkəzi.
12. Middle Corridor (TITR) Association. (2026). *Performance Report 2025: Container Traffic and Transit Times*. https://middlecorridor.com
13. Asian Development Bank. (2025). *Transport Connectivity and Trade Efficiency in Eurasia*. ADB Reports.
14. European Bank for Reconstruction and Development. (2024). *Sustainable Transport Connections Between Europe and Central Asia*. EBRD Publications. https://www.ebrd.com
15. International Transport Forum. (2026). *Eurasian Logistics and Supply Chain Efficiency Report*. OECD/ITF.
16. Ministry of Transport and High Technologies (Azerbaijan). (2025). *Digital Customs and Border Efficiency Report*. Bakı.
17. Trans-Caspian Transport Coordination Center. (2026). *Transit Time Optimization Study*. Regional Logistics Board.
18. Caspian Logistics Forum. (2024). *Multimodal Transport Development in the Caspian Region*. Forum Proceedings.
19. World Logistics Research Center. (2026). *Global Trade Flow and Corridor Competitiveness Analysis*. WLRC Publications.

Rəşid Hüseynli Vüsal
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik fakültəsi
Logistika və Nəqliyyat kafedrası
rhuseynli10@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Xülasə. Məqalədə aqrar sənaye müəssisələrində logistika və təchizat zənciri anlayışlarının bir-biri ilə əlaqəli, lakin fərqli məzmun daşıdığı göstərilir. Logistika malların və məlumatların hərəkətini və saxlanmasını təmin edərək müştəri tələbatının ödənilməsinə yönəldiyi halda, təchizat zənciri xammaldan son məhsulun istehlakçıya çatdırılmasına qədər bütün prosesləri birləşdirərək rəqabət üstünlüyü yaratmağı hədəfləyir. Bu sistemin effektivliyi istehsal, inventar, daşıma, məkan və informasiya kimi əsas amillərdən asılıdır.
Açar sözlər: aqrar sənaye, logistika, təchizat zənciri, təchizat zəncirinin idarə edilməsi, inventar, nəqliyyat, anbarlaşdırma, informasiya axını, müştəri tələbi, rəqabət üstünlüyü

I. GIRIŞ

Məqalədə aqrar sənaye müəssisələrində logistika və təchizat zəncirinin idarə olunmasının müasir iqtisadi şəraitdə rolu və əhəmiyyəti geniş şəkildə araşdırılır. Qloballaşma proseslərinin sürətlənməsi, beynəlxalq ticarətin genişlənməsi və bazar münasibətlərinin dərinləşməsi nəticəsində müəssisələr arasında rəqabət daha da kəskin xarakter almışdır. Belə bir şəraitdə yalnız istehsal həcminin artırılması kifayət etmir, eyni zamanda məhsulun vaxtında, keyfiyyətli və minimum xərclərlə istehlakçıya çatdırılması əsas strateji prioritetlərdən birinə çevrilmişdir. Bu baxımdan logistika və təchizat zəncirinin səmərəli idarə olunması müəssisələrin uzunmüddətli rəqabət üstünlüyünün formalaşmasında mühüm rol oynayır [4,5,6].

Logistika və təchizat zənciri anlayışları bir-biri ilə sıx bağlı olsa da, onların funksional mahiyyəti fərqlidir. Logistika əsasən material, informasiya və xidmət axınlarının planlaşdırılması, idarə olunması və nəzarətini, o cümlədən daşınma, anbarlaşdırma və paylanma proseslərini əhatə edir. Təchizat zənciri isə daha geniş sistem yanaşması olub, xammalın əldə edilməsindən başlayaraq istehsal, emal, paylanma və son istehlakçıya çatdırılma mərhələlərini vahid inteqrasiya olunmuş sistem kimi birləşdirir [4]. Bu sistemin effektiv idarə olunması müəssisəyə həm əməliyyat səmərəliliyi, həm də bazar dəyişikliklərinə çevik uyğunlaşma imkanı qazandırır [5,6].

Aqrar sənaye müəssisələrində logistika və təchizat zəncirinin idarə olunması xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bu, kənd təsərrüfatı məhsullarının spesifik xüsusiyyətləri ilə bağlıdır. Belə ki, aqrar məhsullar mövsümi xarakter daşıyır, tez xarab olma xüsusiyyətinə malikdir və saxlanma, daşınma şəraitinə qarşı yüksək həssaslıq göstərir [3]. Bu səbəbdən istehsaldan istehlaka qədər olan bütün mərhələlərdə vaxtın effektiv idarə olunması, uyğun temperatur və saxlama şəraitinin təmin edilməsi, itkilərin minimuma endirilməsi və məhsul keyfiyyətinin qorunması əsas vacib amillər kimi çıxış edir. Eyni zamanda, aqrar sahədə fəaliyyət göstərən müəssisələr tədarükçülər, istehsalçılar, emal müəssisələri və satış şəbəkələri ilə sıx koordinasiya əsasında fəaliyyət göstərməli və inteqrasiya olunmuş idarəetmə sistemi formalaşdırmalıdırlar [1,2].

Müasir dövrdə təchizat zəncirinin idarə olunması yalnız fiziki axınların təşkili ilə məhdudlaşmır, həm də rəqəmsal texnologiyaların geniş tətbiqini tələb edir. İnformasiya texnologiyaları, real vaxt rejimində məlumatların izlənilməsi, proqnozlaşdırma modelləri və analitik sistemlər təchizat zəncirinin şəffaflığını və çevikliyini artırır [5,6]. Bu yanaşma müəssisələrə riskləri vaxtında müəyyən etməyə, alternativ idarəetmə qərarları qəbul etməyə və bazar dəyişikliklərinə daha operativ reaksiya verməyə şərait yaradır.

Tədqiqatın əsas məqsədi aqrar sənaye müəssisələrində logistika və təchizat zənciri anlayışlarının nəzəri əsaslarını təhlil etmək, onların qarşılıqlı əlaqəsini müəyyənləşdirmək və effektiv idarəetmə istiqamətlərini araşdırmaqdır. Bu çərçivədə təchizat zəncirinin əsas komponentləri, idarəetmə mexanizmləri və mövcud problemlər sistemli şəkildə təhlil olunur, eyni zamanda aqrar sahədə tətbiq oluna biləcək praktiki yanaşmalar təqdim edilir. Nəticə etibarilə, məqalə aqrar sənaye müəssisələrində dayanıqlı inkişafın təmin olunması baxımından logistika və təchizat zəncirinin strateji əhəmiyyətini əsaslandırır [1–7].

II. ƏDƏBİYYAT İCMALI

Aqrar sənaye müəssisələrində logistika və təchizat zəncirinin idarə olunması müasir iqtisadi ədəbiyyatda geniş tədqiqat olunan sahələrdən biridir. Bu istiqamətdə aparılan araşdırmalar göstərir ki, aqrar sektorun effektivliyi yalnız istehsalın artırılması ilə deyil, həm də bütün təchizat zəncirinin düzgün və inteqrasiya olunmuş şəkildə idarə edilməsi ilə bağlıdır. Təhlil olunan ədəbiyyat həm nəzəri, həm də praktiki yanaşmalar baxımından bu sahənin inkişafını əks etdirir.

Azərbaycan müəlliflərinin əsərlərində aqrar iqtisadiyyatın strukturu, idarəetmə problemləri və ərzaq təhlükəsizliyi əsas tədqiqat istiqamətlərindəndir. Ataşov B. (2017) aqrar sahədə struktur və səmərəlilik problemlərini araşdıraraq bu sahədə mövcud çatışmazlıqları və inkişaf istiqamətlərini göstərir [1]. Qasımov Ə. (2005) aqrar sənaye müəssisələrinin iqtisadi mexanizmlərini və idarəetmə prinsiplərini təhlil edərək istehsal və idarəetmə proseslərinin optimallaşdırılmasının vacibliyini vurğulayır [2]. Abbasov A. F. (2007) ərzaq təhlükəsizliyi məsələlərini araşdıraraq aqrar sistemlərin dayanıqlığının təmin olunmasının strateji əhəmiyyətini əsaslandırır [3]. İmanov T. İ. (2005) isə logistika elminin əsaslarını təqdim edərək təchizat zəncirində material və informasiya axınlarının idarə olunmasının nəzəri bazasını formalaşdırır [4].

Bundan əlavə, Azərbaycan Respublikasının strateji sənədləri və dövlət proqramları aqrar sektorun inkişafında təchizat zəncirinin modernləşdirilməsini və rəqabət qabiliyyətinin artırılmasını əsas prioritetlərdən biri kimi müəyyən edir. Statistik məlumatlar isə sahənin mövcud vəziyyətini qiymətləndirmək və tendensiyaları təhlil etmək üçün mühüm informasiya bazası rolunu oynayır.

Xarici ədəbiyyatda isə aqrar logistika və təchizat zənciri daha çox sistemli yanaşmalar, şəbəkə optimallaşdırılması və rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi kontekstində araşdırılır. Basona və Gebresenbet (2011) lokal ərzaq təchizat zəncirlərində logistika şəbəkələrinin inteqrasiyası və optimallaşdırılması məsələlərini araşdıraraq effektiv çatdırılma sistemlərinin qurulmasına diqqət yetirirlər [5]. Van der Vorst və əməkdaşları (2011) aqrar-ərzaq zəncirlərində keyfiyyətə nəzarət və təkmilləşdirmə imkanlarının müəyyən edilməsinə yönəlmiş analitik alətləri təqdim edirlər [6]. Gebresenbet və Odally (2017) isə agrologistikanın tarixi inkişafını və gələcək perspektivlərini təhlil edərək bu sahənin qlobal ərzaq sistemlərində artan rolunu vurğulayırlar [7].

Ümumilikdə, təhlil olunan ədəbiyyat göstərir ki, aqrar sənaye müəssisələrində logistika və təchizat zəncirinin effektiv idarə olunması istehsaldan istehlaka qədər bütün mərhələlərin əlaqələndirilməsini tələb edir. Müasir tədqiqatlar bu sahədə informasiya texnologiyalarının tətbiqini, logistika şəbəkələrinin optimallaşdırılmasını və inteqrasiya olunmuş idarəetmə modellərinin istifadəsini əsas inkişaf istiqamətləri kimi qəbul edir. Nəticə etibarilə, aqrar sahədə dayanıqlı inkişafın təmin olunması üçün təchizat zəncirinin səmərəli idarə edilməsi mühüm strateji amil kimi çıxış edir.

III. TƏDQİQATIN METODU

Aqrar sferada təchizat zəncirinin aydın şəkildə qurulması müəssisənin öz bazar mövqeyini düzgün müəyyənləşdirməsinə və gələcək inkişaf istiqamətlərinə dair strateji qərarlar verməsinə mühüm dəstək göstərir [2]. Təchizat zənciri yalnız əməliyyatların ardıcıl icrası deyil, həm də dəyər yaradılması prosesinin bütün mərhələlərini əhatə edən kompleks bir sistemdir [4]. Bu sistem xammalın əldə olunmasından başlayaraq məhsulun istehsalı, emalı, saxlanması və son istehlakçıya çatdırılmasına qədər olan bütün mərhələləri özündə birləşdirir. Təchizat zəncirinin hər bir mərhələsi fərqli funksional sahəni əhatə etdiyinə görə, onların hər biri ayrıca idarəetmə və planlaşdırma tələb edir.

Aqrar müəssisələr təchizat zəncirinin bütün mərhələlərində iştirak etməklə bazar haqqında daha geniş bilik əldə edir, yeni texnologiyalar və innovativ yanaşmalarla tanış olur, eyni zamanda gələcəkdə daxil ola biləcəkləri sahələrdə rəqabət qabiliyyətini artırırlar [5]. Bu baxımdan təchizat zənciri müəssisənin strateji inkişafına istiqamət verən əsas idarəetmə mexanizmlərindən biri kimi çıxış edir.

Təcrübədə təchizat zənciri və dəyər zənciri anlayışları bəzən qarışdırılır, çünki hər ikisi müəssisəyə rəqabət üstünlüyü qazandırmağa xidmət edir. Lakin bu iki anlayış arasında fərqlər mövcuddur. Təchizat zənciri daha çox məhsul və informasiya axınının idarə olunmasına yönəlmişdir, dəyər zənciri isə məhsulun hər mərhələdə əlavə dəyər qazanması və müştəriyə maksimum fayda təqdim edilməsi ilə əlaqədardır [2]. Bu baxımdan onlar eyni prosesin fərqli perspektivlərini ifadə edir və "tələb"in müxtəlif aspektlərinə cavab verir.

Aqrar sənaye müəssisələrində təchizat zəncirinin idarə olunması ilə məşğul olan menecerlər yüksək peşəkar biliklərə, analitik düşünmə qabiliyyətinə və güclü kommunikasiya bacarıqlarına malik olmalıdırlar [2]. Onların

əsas vəzifəsi material, informasiya və maliyyə axınlarını səmərəli şəkildə idarə etmək, həmçinin proseslərdə yaranan problemləri vaxtında həll etməkdir. Bu mütəxəssislər tədarükçülər və müştərilər arasında etibarlı əlaqələrin qurulmasını təmin edir və təchizat prosesinin davamlılığını qoruyurlar.

Təchizat zənciri tədarükçüdən müştəriyə, daha sonra isə geri informasiya axını şəklində fəaliyyət göstərən dinamik bir sistemdir. Yeni məhsul istehsal edildikdə və ya yeni tədarükçü sistemə daxil olduqda yeni bir təchizat zənciri formalaşır. Bu sistemin əsas məqsədi əməliyyatların daha çevik, az xərcli və effektiv şəkildə həyata keçirilməsidir [4]. Təchizat zənciri vaxt itkisini azaltmağa, koordinasiyalı planlaşdırmaya, məlumatların şəffaflığına və etibarlılığına əsaslanır.

Təchizat zəncirinin düzgün təşkil olunması müştəri tələbləri ətrafında formalaşır. Müştərinin gözləntilərinə uyğun qurulan sistem həm xərclərin optimallaşdırılmasına, həm də xidmət keyfiyyətinin artırılmasına şərait yaradır. Beləliklə, müəssisə davamlı olaraq müştəri ehtiyaclarını qarşılayaraq bazarda sabit mövqeyini qoruyur [1].

Aqrar sənayedə təchizat zənciri məhsul və xidmətlərin istehsalı, emalı və istehlakçıya çatdırılmasında iştirak edən müxtəlif müəssisə və təşkilatların fəaliyyətini birləşdirir [3]. Bu sistemin əsas məqsədi yüksək gəlir əldə etmək, müştəri məmnuniyyətini təmin etmək və bazar dəyişikliklərinə uyğunlaşmaqdır.

Müasir dövrdə təchizat zəncirləri bir sıra problemlərlə qarşılaşır. Bunlara şəffaflığın olmaması, müştəri və iş ortaqlarının narazılığı, müştəri gözləntilərinin artması və ani dəyişikliklərə uyğunlaşma çətinliyi daxildir. Bu problemlər ümumi sistemin səmərəliliyinə ciddi təsir göstərir [6]. Şəffaflığın olmaması qərarvermə prosesində səhvlərə səbəb ola bilər, nəticədə müəssisənin performansı azalır. Müştəri və tərəfdaş narazılığı isə əsasən keyfiyyət problemləri və gecikmələrdən qaynaqlanır.

Bu səbəbdən müasir dövrdə təchizat zəncirinin idarə olunması qlobal bazarın sürətinə uyğunlaşdırılmalıdır. Müəssisələr bir neçə tədarükçü ilə əməkdaşlıq edərək daha çevik və dayanıqlı sistem qurmağa çalışırlar. Eyni zamanda logistika və əməliyyat proseslərinin optimallaşdırılması vasitəsilə vaxt və xərclər azaldılır [4].

Təchizat zənciri dizaynı zamanı istehsalın planlaşdırılması, nəqliyyat və inventar idarəetməsi, bazarın müəyyənləşdirilməsi, təchizatçı seçimi, istehsal yerləşməsi, anbar strategiyaları və paylanma kimi amillər nəzərə alınmalıdır [4]. Bu elementlərin düzgün inteqrasiyası ümumi sistemin səmərəliliyini artırır.

Aqrar sənayedə təchizat zənciri beş əsas komponent üzərində qurulur: istehsal, inventar, daşıma, məkan və informasiya [4]. Bu komponentlər bir-biri ilə sıx əlaqədə fəaliyyət göstərir və sistemin effektivliyini təmin edir.

Təchizat zəncirinin inkişafı müştəri tələbləri, rəqabət mühiti, texnologiya və risk faktorlarına əsaslanır. Müəssisələr daxili imkanlarını qiymətləndirərək mövcud boşluqları aradan qaldırmalı və ən yaxşı idarəetmə təcrübələrini tətbiq etməlidirlər [7].

IV. NƏTİCƏ

Aqrar sferada təchizat zəncirinin effektiv təşkili və idarə olunması müəssisələrin bazarda rəqabət qabiliyyətinin artırılmasında və dayanıqlı inkişafın təmin edilməsində mühüm rol oynayır. Təchizat zənciri yalnız məhsulun istehsalından son istehlakçıya çatdırılmasına qədər olan fiziki axını deyil, eyni zamanda informasiya və dəyər axınlarının da səmərəli idarə olunmasını özündə birləşdirir. Bu sistemin düzgün qurulması müəssisəyə həm xərclərin optimallaşdırılması, həm də müştəri məmnuniyyətinin yüksəldilməsi baxımından əhəmiyyətli üstünlüklər qazandırır.

Tədqiqat nəticələri göstərir ki, aqrar sənayedə təchizat zəncirinin uğuru istehsal, inventar, daşıma, məkan və informasiya kimi əsas komponentlərin qarşılıqlı əlaqəsindən birbaşa asılıdır. Bu elementlərdən hər hansı birində yaranan uyğunsuzluq ümumi sistemin səmərəliliyinə mənfi təsir göstərir. Eyni zamanda, müasir dövrdə artan müştəri gözləntiləri, texnoloji dəyişikliklər və qlobal bazarın dinamikliyi təchizat zəncirinin daha çevik və adaptiv olmasını tələb edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Ataşov B. (2017) “Aqrar sahədə struktur və səmərəlilik problemləri”, Bakı, “Kooperasiya”, 536 səh.
2. Qasımov Ə. (2005) “Aqrar sənaye müəssisələrinin iqtisadiyyatı və idarə edilməsi”, Bakı, “İqtisad Universiteti”, 355 səh.
3. Abbasov A. F. (2007) “Ərzaq təhlükəsizliyi”, Bakı, “Elm”, 602 səh.
4. İmanov T. İ. (2005) “Logistikanın əsasları”, Bakı, “Təhsil”, 474 səh.

5. Basona T.G., Gebresenbet G. (2011) "Cluster Building and logistic network integration of local food supply chain", Biosystems Engineering, 108, s. 293–302.
6. Van der Vorst J.G.A.J., Van Kooten O., Luining P. (2011) "Towards a diagnostic instrument to identify improvement opportunities for quality controlled logistics in agrifood supply chain networks", International Journal on Food System Dynamics, №2, s. 94–105.
7. Gebresenbet G., Odally G. (2017) "Agrologistics in the agriculture system: from history to prospects", s. 24.

BAKI ŞƏHƏRİNDƏ İCTİMAİ NƏQLİYYATDA RƏQƏMSAL TEXNOLOGİYALARIN TƏTBİQİ VƏ XİDMƏT KEYFİYYƏTİNƏ TƏSİRİ

Bəxtiyar Namazov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
banamazov@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan
Elvin Həsənov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
elvingsnov@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Məqalədə Bakı şəhərində ictimai nəqliyyatda rəqəmsal texnologiyaların – GPS izləmə, mobil tətbiqlər, elektron ödəniş, real vaxt məlumatlandırma və Azərbaycan Yerüstü Nəqliyyat Agentliyi (AYNA)-nın MAAS platformasının – xidmət keyfiyyətinə təsiri araşdırılır. Nəticələr göstərir ki, bu texnologiyalar sərnişinlərin gözləmə vaxtını azaldır, marşrutların izlənməsini asanlaşdırır, ödəniş prosesini rahatlaşdırır və ümumi məmnuniyyəti artırır. Bununla yanaşı, texniki problemlər və maliyyə xərcləri kimi çətinliklər mövcuddur. Məqalədə xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün rəqəmsal monitorinqin genişləndirilməsi, MAAS tətbiqinin tam inteqrasiyası və elektron ödənişlərin inkişafı üzrə təkliflər verilir.
Açar sözlər: *rəqəmsal texnologiyalar, ictimai nəqliyyat, xidmət keyfiyyəti, MAAS*

I. GİRİŞ

İctimai nəqliyyat şəhər həyatının ayrılmaz hissəsidir və onun səmərəli təşkili əhalinin gündəlik həyat keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir. Bakı şəhərində sürətli urbanizasiya, əhalinin artımı və avtomobil sayının çoxalması ictimai nəqliyyatda yeni çağırışlar yaratmışdır. Bu çağırışların həlli üçün rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi dövlət siyasətinin prioritet istiqamətlərindən biri olmuşdur [1].

GPS izləmə sistemləri, mobil tətbiqlər, elektron ödəniş və real vaxt məlumatlandırma texnologiyaları sərnişinlərin rahatlığını artırmaqla yanaşı, nəqliyyat idarəçiliyində şəffaflıq və effektivlik təmin edir. AYNA tərəfindən tətbiq olunan Mobility as a Service (MAAS) platforması isə müxtəlif nəqliyyat növlərinin vahid sistemdə inteqrasiyasını təmin etməklə multimodal səyahət imkanları yaradır [2].

Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, rəqəmsal texnologiyalar ictimai nəqliyyatda xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün əsas şərtlərdən biridir. Avropa İttifaqının "Smart Mobility Strategy" sənədində rəqəmsal texnologiyaların dayanıqlılıq və səmərəlilik üçün vacibliyi vurğulanır [3]. OECD və ITF hesabatlarında isə rəqəmsal nəqliyyatın

uğurlu tətbiqi üçün dövlət dəstəyi, ictimai maarifləndirmə və texniki infrastrukturun gücləndirilməsinin vacibliyi qeyd olunur [4].

Bu məqalənin məqsədi Bakı şəhərində ictimai nəqliyyatda tətbiq olunan rəqəmsal texnologiyaların xidmət keyfiyyətinə təsirini araşdırmaq, mövcud problemləri müəyyənləşdirmək və beynəlxalq təcrübə əsasında təkliflər irəli sürməkdir.

II. AYNA MaaS Tətbiqi və İctimai Nəqliyyatda Rəqəmsal Transformasiya

Azərbaycan Yerüstü Nəqliyyat Agentliyi (AYNA) tərəfindən istifadəyə verilən "AYNA MaaS" (Mobility as a Service) tətbiqi ölkəmizdə ictimai nəqliyyat sahəsində ilk rəqəmsal mobillik platformasıdır. Üç dildə (Azərbaycan, ingilis və rus) təqdim olunan bu tətbiq sərnişinlərə multimodal səyahət planlaması, real vaxt məlumatlandırma və elektron ödəniş imkanları təqdim etməklə xidmət keyfiyyətini yüksəldir.

"Mobility prosesi sadədir: istifadəçi mobil nömrəsini daxil edir, SMS təsdiq kodu vasitəsilə hesabını aktivləşdirir və şifrə təyin edir. Bu, tətbiqin istifadəçi dostu interfeysini və təhlükəsizlik mexanizmlərini göstərir. "Nəqliyyat" bölməsi isə dayanacaqlarda yaxınlaşan nəqliyyat vasitələrinin real vaxt izlənməsini təmin edir ki, bu da sərnişinlərin gözləmə vaxtını minimuma endirir, Mobility as a Service (MaaS) tətbiqi istifadəyə verildi."

Tətbiq müxtəlif nəqliyyat növlərini – avtobus, metro, dəmiryolu, skuter və velosipedi – vahid sistemdə birləşdirərək istifadəçiyə ən optimal marşrut seçimi imkanı yaradır. "Səyahət planı" bölməsi vasitəsilə A nöqtəsindən B nöqtəsinə qədər səyahət planlaşdırmaq, "ən sürətli", "ən az transfer", "ən az piyada" və "ən az CO2" kimi seçimlər əsasında marşrut təyin etmək mümkündür. Bu yanaşma həm vaxt qənaətini, həm də ekoloji dayanıqlılığı təmin edir.

Platformanın innovativ cəhətlərindən biri də mikromobillik operatorlarının inteqrasiyasıdır. İstifadəçilər tətbiq vasitəsilə skuter və velosiped dayanacaqlarını müəyyən edə, istifadəyə hazır vasitələr barədə məlumat ala və icarə üçün müraciət edə bilirlər. Bu, şəhərdaxili qısa məsafəli hərəkətlərin daha çevik və ekoloji təmiz şəkildə təşkilinə şərait yaradır.

Ümumilikdə, "AYNA MaaS" tətbiqi Bakı şəhərində ictimai nəqliyyatın rəqəmsal idarəçiliyini gücləndirir, sərnişinlərin məmnuniyyətini artırır və dayanıqlı mobillik strategiyasına uyğun olaraq multimodal səyahət imkanlarını genişləndirir. Bu platforma həm dövlət siyasətinin prioritetlərinə, həm də beynəlxalq smart mobillik tendensiyalarına uyğun bir addım kimi dəyərləndirilə bilər [2].



Şəkil 1. "AYNA MaaS" tətbiqi

III. Sərnişin Daşımalarının İdarəetməsinin Texniki Vasitələri

Sərnişin daşımalarının səmərəli təşkili üçün sifarişin qəbulundan başlayaraq marşrutların icrasına və xidmət keyfiyyəti üzrə hesabatların hazırlanmasına qədər bütün informasiya axınlarının düzgün idarə olunması vacibdir. Dispetçer idarəetməsinin texniki vasitələri dispetçer sisteminin mühüm tərkib hissəsidir. Yalnız müasir rabitə və naviqasiya texnologiyalarının mövcudluğu halında mərkəzləşdirilmiş idarəetmə sistemi təşkil

edilə və səmərəli fəaliyyət göstərə bilər. Rabitə infrastrukturu olmayan şəraitdə dispetçer idarəetmə sistemi mümkün deyil.

Rabitə vasitələrinin tətbiqi nəqliyyat prosesinə nəzarəti gücləndirir, sərnişin daşımalarının etibarlılığını artırır və yaranan problemlərə operativ reaksiya verməyə imkan verir. Bu, sərnişinlərin gözləmə vaxtının azalmasına, marşrutların dəqiqləşməsinə və ümumi məmnuniyyətin yüksəlməsinə şərait yaradır [5].

Rabitə və naviqasiya vasitələrinin əsas növləri:

- **Radio rabitə** – sürücü-dispetçer əlaqəsi üçün ənənəvi vasitədir.
- **Şəbəkə rabitəsi (mobil, SMS, data)** – sərnişinlərə real vaxt məlumatlarının ötürülməsini təmin edir.
- **Peyk rabitəsi (GPS, PRODAT, Eutel TRACS, INMARSAT-C)** – avtobusların və digər nəqliyyat vasitələrinin hərəkət trayektoriyasının izlənməsini mümkün edir.

Hazırda ən perspektivli rabitə növləri şəbəkə və peyk rabitələridir. Peyk rabitəsi vasitəsilə avtobusların hərəkəti dispetçer mərkəzində real vaxt rejimində izlənilir. Bu sistem sürücünün iştirakı olmadan məlumatların qəbulunu və saxlanmasını təmin edir. Sürücü, həmçinin, xüsusi siqnal düyməsi vasitəsilə həyəcan siqnalı göndərə bilər ki, bu da sərnişinlərin təhlükəsizliyini artırır.

Naviqasiya sistemləri:

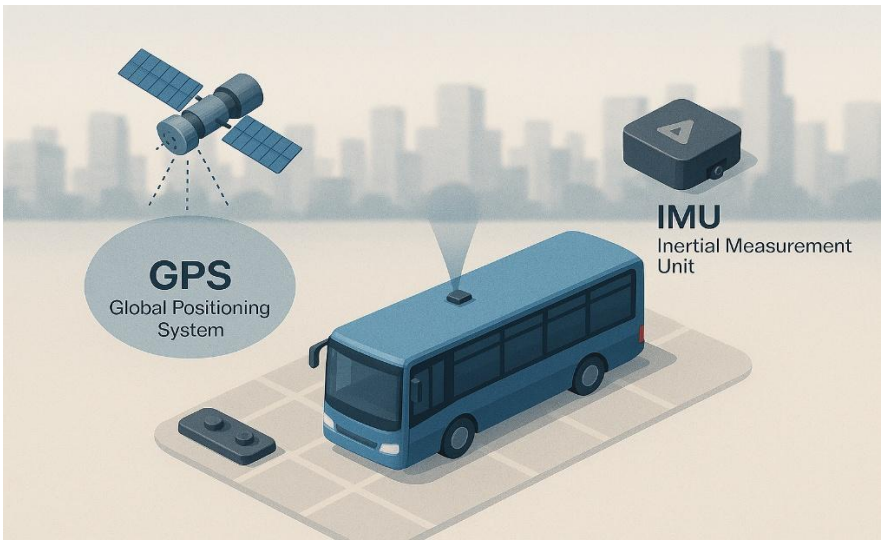
Naviqasiya sistemləri sərnişin daşımalarında həm sürücülər, həm də dispetçerlər üçün vacibdir:

- **Sürücülər üçün naviqasiya sistemi** – cihaz panelində yerləşən displey vasitəsilə marşrut və cari mövqeni göstərir.
- **Dispetçerlər üçün naviqasiya sistemi** – avtobusların yerləşmə yerini mərkəzə ötürür və marşrutların icrasına nəzarəti təmin edir.



Şəkil 2. Dispetçerlər üçün naviqasiya sistemi

Ən geniş yayılmış sistem **GPS (Global Positioning System)** – ABŞ Müdafiə Nazirliyinə məxsus Navstar peyk sistemi – olub, 24 peykdən ibarətdir və yüksək dəqiqliklə (5–100 m) koordinatların müəyyən edilməsinə imkan verir. Alternativ olaraq Rusiyanın **GLONASS** sistemi mövcuddur, lakin peyklərin sayının azlığı və avadanlıqların bahalılığı səbəbindən imkanları məhduddur.



Şəkil 3. GPS (Global Positioning System)

Şəbəkə Rabitəsi və Sərnişin Məmnuniyyəti

Mobil şəbəkə rabitəsi sərnişinlərə real vaxtda məlumat ötürməyə imkan verir. Bu rabitə növünün üstünlüyü çoxfunksiyalılıqdır – sərnişinlər SMS və mobil tətbiqlər vasitəsilə avtobusun yaxınlaşma vaxtını öyrənə bilirlər. Çatışmazlığı isə odur ki, bəzi hallarda məlumat sürücünün verdiyi hesabat əsasında formalaşır və bu, həqiqətə tam uyğun olmaya bilər.

İdarəetmənin Texniki Vasitələrinin Kompleksi

Sərnişin daşımalarında dispetçer rabitəsinin texniki vasitələri aşağıdakı imkanları təmin edir:

- Operativ informasiyanın qəbul və ötürülməsi
- Şəhər ərazisində avtobusların hərəkətinə mərkəzləşdirilmiş nəzarət
- Xidmət keyfiyyətinin monitorinqi və hesabatların hazırlanması

Bu kompleksə aşağıdakılar daxildir:

- **Kompüter texnikası**
- **Videotexniki vasitələr**
- **Rabitə və naviqasiya sistemləri**

I. Ödəniş məsələləri və tətbiq mexanizmi

Bakı şəhərində avtobus marşrutlarında NFC texnologiyası ilə nağdsız ödəniş sistemi artıq tam şəkildə tətbiq olunub. **Bu sistem sərnişinlərə aşağıdakı imkanları təqdim edir:**

Nağdsız əməliyyat rahatlığı: Fiziki BakıKart və nağd pul daşınmasına ehtiyac qalmır.
Çoxfunksiyalı cihazlarla ödəniş: Telefon, ağıllı saat, bank kartı və digər NFC dəstəkli cihazlar saniyələr içində validator vasitəsilə ödənişi həyata keçirir.
Sürətli və təhlükəsiz sistem: Cihaz validatora yaxınlaşdırıldıqda əməliyyat dərhal tanınır və tamamlanır, kart məlumatları qorunur.
Regional tətbiq nümunələri: MasterCard və Visa kartları ilə ödəniş sistemi artıq Gəncə və Şamaxıda uğurla tətbiq olunmuşdu. Bakı şəhərində tam tətbiqdən sonra ölkə üzrə vahid ödəniş ekosistemi formalaşır.
Bu yanaşma sərnişinlərin gündəlik həyatını asanlaşdırmaqla yanaşı, ictimai nəqliyyatda rəqəmsal xidmətlərin inkişafına təkan verir. Nağdsız ödəniş mədəniyyətinin güclənməsi həm ekoloji, həm də davranış baxımından müsbət nəticələr doğurur [6].



Şəkil 3. Ödəniş üsulları

II. Mövcud problemlər

- **Texniki nasazlıqlar:** GPS və rabitə avadanlıqlarının köhnəlməsi, məlumatların dəqiqliyində problemlər.
- **Maliyyə yükü:** Rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi və saxlanması üçün yüksək xərclər.
- **İnteqrasiya çatışmazlığı:** MAAS platformasının bütün nəqliyyat növləri ilə tam inteqrasiyasının olmaması.
- **Məlumat etibarlılığı:** Bəzi hallarda sərnişinlərə verilən real vaxt məlumatlarının sürücü hesabatına əsaslanması.
- **İctimai maarifləndirmə zəifliyi:** Mobil tətbiqlərin istifadəsi barədə sərnişinlərin məlumatlılıq səviyyəsinin aşağı olması.

III. Təkliflər

- **Normativ baza:** Rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi üçün vahid hüquqi çərçivə və xidmət keyfiyyəti göstəriciləri hazırlanmalıdır.
- **Texniki modernləşmə:** GPS, rabitə və dispetçer avadanlıqları yenilənməli, süni intellekt əsaslı monitorinq sistemləri qurulmalıdır.
- **Maliyyə mexanizmləri:** Dövlət-özəl tərəfdaşlıq (PPP) modeli tətbiq olunmalı, beynəlxalq maliyyə dəstəyi cəlb edilməlidir.
- **Tam inteqrasiya:** MAAS platforması avtobus, metro, dəmiryolu, tramvay, skuter, velosiped və taksi xidmətlərini vahid ekosistemə birləşdirməlidir.
- **Elektron ödənişlər:** NFC ödəniş sistemi ölkə üzrə vahidləşdirilməli, təhlükəsizlik beynəlxalq standartlarla sertifikatlaşdırılmalıdır.
- **Maarifləndirmə:** Sərnişinlər üçün çoxdilli interfeys, əlçatanlıq standartları və müntəzəm sorğularla istifadəçi təcrübəsi gücləndirilməlidir.
- **Regional genişlənmə:** Bakı ilə yanaşı Gəncə, Sumqayıt, Naxçıvan, Mingəçevir, Şamaxı və digər
- şəhərlərdə MAAS tətbiqi genişləndirilməli, vahid milli mobillik platforması formalaşdırılmalıdır.

IV. NƏTİCƏ

Bakı şəhərində ictimai nəqliyyatda rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi, sərnişin məmnuniyyətinin artırılması və dayanıqlı mobillik strategiyasının həyata keçirilməsi üçün mühüm addımdır. GPS izləmə, mobil tətbiqlər, elektron ödəniş və MAAS platforması sərnişinlərin gözləmə vaxtını azaldır, marşrutların izlənməsini asanlaşdırır və ödəniş prosesini rahatlaşdırır. Lakin texniki nasazlıqlar, maliyyə yükü, inteqrasiya çatışmazlığı və ictimai maarifləndirmə kimi problemlər mövcuddur.

Təklif olunan həll yolları – normativ çərçivənin gücləndirilməsi, texniki modernləşmə, maliyyə mexanizmlərinin tətbiqi, MAAS platformasının bütün nəqliyyat vasitələri ilə tam inteqrasiyası, elektron ödənişlərin vahidləşdirilməsi, ictimai maarifləndirmə və regional genişlənmə – bu problemlərin aradan

qaldırılmasına xidmət edəcəkdir. Nəticə etibarilə, rəqəmsal texnologiyaların geniş tətbiqi yalnız Bakı şəhərində deyil, Azərbaycanın digər ərazilərində də ictimai nəqliyyatın səmərəliliyini, təhlükəsizliyini və ekoloji dayanıqlılığını artıraraq vahid milli mobillik ekosisteminin formalaşmasına imkan verəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT
[1] GPS.AZ – Rəqəmsal izləmə sistemi. (2025).
[2] https://ayna.gov.az/az/news/ayna-maas-neqliyyatda-mobillik-helli-tetbiqi-istifadeye-verilib-952
[3] European Commission. "Sustainable and Smart Mobility Strategy." (2024).
[4] OECD/ITF. "Transport
[5] "Avtomobil daşımaları və vahid nəqliyyat sistemi"- D. A. MƏMMƏDOV (2022).
[6] https://ayna.gov.az/az/news/avtobuslarda-yeni-odenis-usulu-sinaqdan-kecirilir-970

BAKI ŞƏHƏRİNDƏ SƏRNİŞİN DAŞIMA XİDMƏTLƏRİNİN FƏALİYYƏT KEYFİYYƏTİNİN YÜKSƏLDİLMƏSİ

Bəxtiyar Namazov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
banamazov@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Elvin Həsənov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
elvingsnov@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Xülasə:
Bakı şəhərində ictimai nəqliyyat sistemi urbanizasiyanın sürətli inkişafı fonunda sosial həyatın ayrılmaz tərkib hissəsinə çevrilmişdir. İctimai nəqliyyatın əlçatanlığı, sosial bərabərlik prinsiplərinə uyğunluğu, iqtisadi səmərəliliyi və ekoloji dayanıqlılığa təsiri şəhər sakinlərinin gündəlik həyat keyfiyyətini müəyyən edən əsas amillərdəndir. Məqalədə ictimai nəqliyyatın sosial aspektləri normativ yanaşma çərçivəsində təhlil olunur, mövcud vəziyyətin üstünlükləri və çatışmazlıqları araşdırılır. Beynəlxalq təcrübə ilə müqayisə aparılaraq Bakı üçün tətbiq oluna biləcək sosial inklüzivlik modelləri, rəqəmsal texnologiyaların inteqrasiyası və ekoloji yönümlü siyasətlərin əhəmiyyəti vurğulanır. Bakı şəhərində ictimai nəqliyyatın prioritetli hərəkətinin təmin olunması isə sosial ədalət və dayanıqlı mobillik baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Nəticə etibarilə, ictimai nəqliyyatın sosial həyatın keyfiyyətinin yüksəldilməsində strateji rol oynadığı və gələcək inkişaf istiqamətlərinin sosial ədalət, ekoloji dayanıqlılıq və rəqəmsal transformasiya prinsipləri əsasında formalaşdırılmasının zəruriliyi əsaslandırılır.

Açar sözlər: *Bakı şəhəri; ictimai nəqliyyat; sosial aspektlər; mobillik; ekoloji dayanıqlılıq; prioritet hərəkət*

I. GİRİŞ

2025-ci ilin əvvəlinə olan rəsmi məlumata görə, Bakı şəhərinin əhalisi **2 351 300 nəfərdən çoxdur** və bu göstərici onu Cənubi Qafqazın ən böyük şəhərinə çevirir [9]. Şəhər **2140 km²** əraziyə malikdir və ölkə əhalisinin əhəmiyyətli hissəsinə ev sahibliyi edir. Bu demoqrafik fakt ictimai nəqliyyatın sosial aspektlərinin təhlilində mühüm rol oynayır, çünki mobillik tələbləri birbaşa əhali sıxlığı və yaş strukturu ilə bağlıdır.

Müasir şəhər mobilliyi yalnız sərnişinlərin daşınması ilə məhdudlaşmır; o, **sosial bərabərliyin təmin olunması**, **iqtisadi səmərəliliyin yüksəldilməsi** və **ekoloji dayanıqlılığın gücləndirilməsi** baxımından strateji

əhəmiyyət daşıyır [1]. Müasir şəhər mobilliyinin əsas məsələlərindən biri ictimai nəqliyyatı sadəcə bir hərəkət vasitəsi deyil, şəhər ekosisteminin ən səmərəli və prioritet hissəsi halına gətirməkdir. Bunun üçün şəhər nəqliyyatının idarə edilməsinə süni intellektin tətbiqi, ictimai nəqliyyata prioritetin verilməsi, yol kəsişmələrində ağıllı işıqforların tətbiqi, ictimai nəqliyyatın hərəkəti üçün xüsusi zolağın ayrılması və onlarda hərəkətə nəzarət, ictimai nəqliyyatın inkişafı və planlaşdırılması tələb olunur. Bakı şəhərində ictimai nəqliyyata prioritetin verilməsi, mobilliyin yüksəldilməsi ilə bağlı ardıcıl tədbirlər işlənib həyata keçirilir, beynəlxalq təcrübə tətbiq edilir. Bununla bərabər bu sahədə həll olunmalı ciddi məsələlər var.

II. Mövcud vəziyyətin təhlili

Bakı şəhərində ictimai nəqliyyatın əsas yükünü avtobus və metro sistemi daşıyır. Metro mərkəzi hissələrdə mobilliyi təmin etsə də, periferik ərazilərdə metro stansiyalarının olmaması və avtobus marşrutlarının məhdudluğu əhalinin mobillik səviyyəsini azaldır [7]. Avtobus parkının bir hissəsinin köhnəlmiş olması, əlillər üçün tam əlçatan infrastrukturun olmaması və pik saatlarda sıxlıq sosial problemləri daha da dərinləşdirir. Bununla yanaşı, son illərdə rəqəmsal ödəniş sistemlərinin tətbiqi, yeni avtobusların alınması və yol infrastrukturunun yenilənməsi müsbət addımlar kimi qiymətləndirilə bilər [7], [8].

Azərbaycan Yerüstü Nəqliyyat Agentliyi (AYNA) tərəfindən **2024-cü ilin sentyabrında** paylaşılmış rəsmi məlumata görə, Bakı şəhərində yeni avtobus zolaqları şəbəkəsinin tətbiqi çərçivəsində paytaxtın **26 küçə və prospektində uzunluğu 77 km-dən çox xüsusi hərəkət zolağı** təşkil edilmişdir. Müxtəlif ərazilərdə təşkil edilmiş bu zolaqlarla gün ərzində orta hesabla **70 min avtobus reysi** həyata keçirilmiş, nəticədə **900 minə yaxın sərnişinin** rahat və maneəsiz daşınmasına şərait yaranmışdır.

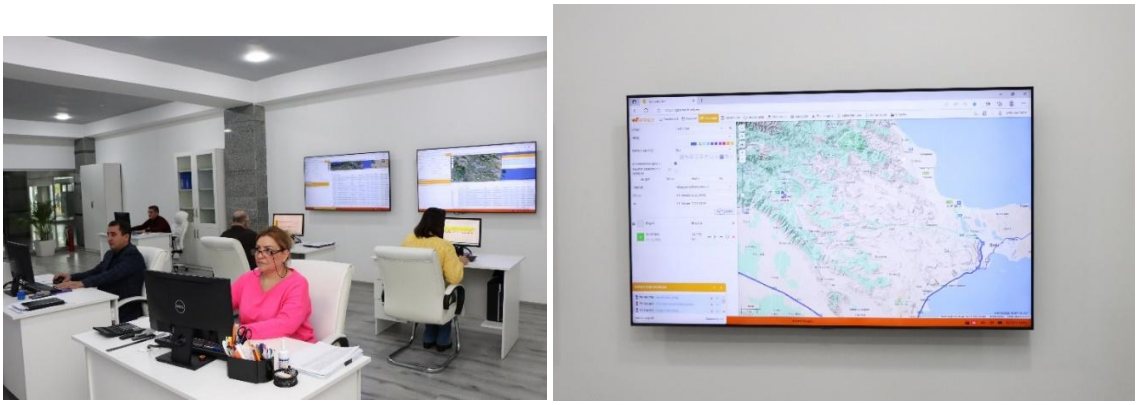
AYNA tərəfindən həyata keçirilən layihələrə əsasən, xüsusi avtobus zolaqları şəbəkəsinin 2030-cu ilə qədər 160 km-ə çatdırılması hədəflənib. Bu, Süni İntellektin (Sİ) idarə etdiyi ağıllı svetoforlarla birləşdikdə avtobusların tıxacda qalmadan hərəkətini təmin edir.



Şəkil 1. Avtobus zolağı olan yolların yenilənmiş xəritəsi

Ümumilikdə, həmin dövrdə avtobuslarla gündəlik **1,2 mln-dan çox sərnişin daşınmış** və ötən illə müqayisədə marşrut xətləri üzrə avtobusla sərnişindaşımada **7% artım** qeydə alınmışdır. AYNA-nın açıqlamasına görə, avtobus zolaqlarının davamlılığının təmin edilməsi və yaşayış məntəqələri ilə mühüm nəqliyyat mübadilə

mərkəzləri (Hublar) ilə əlaqələndirən **zəncirvari şəbəkənin qurulması** məqsədilə işlər digər küçə və prospektlərdə də davam etdiriləcəkdir [10].
Hazırda AYNA tərəfindən sərnişindaşıma fəaliyyəti göstərən nəqliyyat vasitələrinin **68,5%-i GPS avadanlığı ilə təchiz olunmuşdur** və bu iş davam etdirilir. Bu nəqliyyat vasitələri Monitorinq Mərkəzi tərəfindən mütəmadi olaraq izlənilir ki, bu da xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə və təhlükəsizliyin təmin olunmasına xidmət edir [11].



Şəkil 2. Sərnişin daşımalarının Monitirinq mərkəzi

Son illərdə Bakı şəhərində ictimai nəqliyyatın modernləşdirilməsi istiqamətində ardıcıl addımlar atılır. Elektrikli avtobusların tətbiqi, yeni depoların istifadəyə verilməsi və rəqəmsal ödəniş sistemlərinin genişləndirilməsi bu sahədə əsas prioritetlərdən biridir. Xəzər rayonunun Buzovna qəsəbəsində **"Albalılıq elektrik avtobus deposu"**nun istifadəyə verilməsi paytaxtın periferik ərazilərinin mərkəzlə inteqrasiyasını gücləndirən mühüm layihədir. Depoda 167 ədəd BYD markalı tam elektrik avtobus fəaliyyət göstərir ki, onların bir hissəsi 77, digər hissəsi isə 81 sərnişin tutumuna malikdir. Bu avtobuslar Mərdəkan, Şüvəlan, Bilgəh, Buzovna, Qala, Maştağa, Ramana, Nardaran qəsəbələri və Məmmədli kəndini "Koroğlu" Nəqliyyat Mübadilə Mərkəzi ilə birləşdirir.
Elektrikli avtobusların tətbiqi həm ekoloji üstünlüklər, həm də sosial rifah baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır. Müasir enerjidoldurma cihazlarının quraşdırılması, suyun təkrar istifadəsi ilə ekoloji tələblərə riayət olunması, texniki xidmətin operativ təşkili və sürətli yuma məntəqələrinin yaradılması bu sistemin dayanıqlılığını təmin edir. Layihə çərçivəsində 443 nəfərin daimi işlə təmin olunması isə sosial-iqtisadi inkişaf baxımından əlavə üstünlükdür.
Azərbaycan Yerüstü Nəqliyyat Agentliyi tərəfindən açıqlanan məlumata əsasən, 2024-2026-cı illərdə 560-dan çox elektrik avtobusu alınmış, cari ildə isə əlavə 169 avtobusun alınması nəzərdə tutulmuşdur. Özəl daşıyıcıların da elektrik avtobuslarına keçidi ilə yaxın illərdə Bakıda yalnız ekoloji təmiz nəqliyyat vasitələrinin xidmət göstərməsi hədəflənir, 2030-cu ilə qədər avtobus parkının tamamilə "yaşıl" (elektrik və sıxılmış təbii qaz - CNG) olması planlaşdırılır. Bu, həm paytaxtın ekoloji yükünü azaldacaq, həm də ictimai nəqliyyatda sosial bərabərliyi gücləndirəcəkdi.

CƏDVƏL 1. BAKI ŞƏHƏRİNDƏ ELEKTRİK AVTOBUSLARI FƏALİYYƏT GÖSTƏRƏN MARŞRUTLAR [11].

Xətt nömrəsi	**Əhatə dairəsi**	**Funksional rol və strateji əhəmiyyət**
140	Mərdəkan – Koroğlu	Periferik turizm zonası ilə mərkəzi nəqliyyat qovşağını birləşdirir; yüksək sərnişin tutumlu, tam elektrikləşdirilmiş xətt
150	Şüvəlan – Koroğlu	Şəhərətrafı yaşayış massivlərini mərkəzə bağlayır; sosial bərabərliyi gücləndirir
172	Bilgəh – Koroğlu	Uzun məsafəli marşrut; ekoloji təmiz avtobuslarla sahil zonası

		və mərkəz arasında davamlı əlaqə
189	Buzovna – Koroğlu	Depoya ən yaxın qəsəbədən mərkəzə çıxışı təmin edir; logistika baxımından strateji xətt
140E	Qala – Koroğlu	Ekspress marşrut; pik saatlarda sürətli və maneəsiz əlaqə
141E	Maştağa – Koroğlu	Ekspress xətt; böyük əhalisi olan qəsəbənin mobilliyini artırır
M8	Nardaran – Koroğlu	Dini-mədəni mərkəz kimi tanınan Nardaranı mərkəzlə birləşdirir; kənd əhalisinin ictimai nəqliyyata çıxışını təmin edir

III. Nəqliyyat xidmətinin keyfiyyətinin analizi

Nəqliyyat xidmətinin keyfiyyətinin analizi həm sərnişin məmnuniyyətini, həm də sistemin texniki səmərəliliyini ölçən çoxşaxəli bir prosesdir. İstehlakçılara lazımi keyfiyyətli xidmətin göstərilməsi Azərbaycan Respublikasının Mülki Məcəlləsində və "İstehlakçıların hüquqlarının müdafiəsi haqqında" Qanunda öz əksini tapmışdır. Şəhər ictimai nəqliyyatında xidmət keyfiyyəti həm beynəlxalq standartlar (məsələn, EN 13816), həm də yerli normativlər (məsələn, Nazirlər Kabinetinin 141 nömrəli Qərarı, "Dövlət Standartı: AZS 435-2011" və s.) əsasında konkret meyarlarla ölçülür.

Azərbaycanda şəhər ictimai nəqliyyatında hərəkət intervalı və istismar sürəti ilə bağlı tələblər əsasən Nazirlər Kabinetinin 141 nömrəli qərarı və sahəvi normativ sənədlərlə tənzimlənir. Hərəkət intervalı üzrə tələblərdə pik saatlarında marşrutun kateqoriyasından asılı olaraq, şəhərdaxili əsas xətlərdə interval minimuma (adətən 3-5 dəqiqə) endirilməlidir, daşıyıcı müəyyən edilmiş cədvəldən ±2 dəqiqədən artıq kənara çıxmamalıdır.

Bakı şəhəri üzrə avtobusların orta istismar sürəti adətən 14-16 km/saat aralığında qiymətləndirilir. Müqayisə üçün qeyd edək ki, nəqliyyatın normal fəaliyyəti üçün bu göstəricinin 20-22 km/saat olması arzuolunandır. Sıx tıxac şəraitində Bakıda avtobusların pik saatlarda real sürəti 9-10 km/saat-a qədər, tıxacın ən sıx olduğu vaxtlarda isə (səhər və axşam saatlarında) hətta 7-10 km/saat-a qədər də düşür. Bəzi hallarda (məsələn, 28 May, Koroğlu metrosu ətrafı, Tbilisi prospekti) bu sürət piyadaların hərəkət sürətindən demək olar ki, fərqlənmir.

Şəhərlərdə yaşayış yerindən iş yerinə qədər sərf olunan vaxt normaları şəhərin əhalisinin sayından və strukturundan asılı olaraq dəyişir. Azərbaycanda bu normalar əsasən Dövlət Şəhərsalma və Arxitektura Komitəsinin təsdiq etdiyi "Şəhərsalma və tikinti obyektlərinin layihələndirilməsi. Planlaşdırma və tikinti bölməsi" (məsələn, AzDTN 2.6-1) normativ sənədləri ilə tənzimlənir.

Beynəlxalq təcrübədə və yerli normativlərdə sərnişinlərin bir tərəfə (evdən işə) sərf etdiyi vaxtın 80–90%-i üçün müəyyən edilmiş hədəf normaları cədvəl 2-də əks olunub.

Cədvəl 2. Yaşayış yerindən iş yerinə qədər sərf olunan vaxt normaları

Şəhərin növü / Əhalinin sayı	**Maksimal vaxt norması (bir tərəfə, dəqiqə ilə)**	**Normativin əsası və şərtlər**
Böyük və çox böyük şəhərlər (məs: Bakı, əhali 1 mln+)	45 – 60	İctimai nəqliyyatın bütün növləri daxil olmaqla (piyada keçidləri daxil)
Orta şəhərlər (əhali 100 – 500 min)	30 – 35	Nəqliyyatın hərəkət sürəti və şəbəkə sıxlığı nəzərə alınmaqla
Kiçik şəhərlər (əhali 100 minə qədər)	15 – 20	Əsasən piyada və ya minimum nəqliyyat istifadəsi ilə
Regional mərkəzlər arası (şəhərətrafı zonalar)	60 – 90	Sürətli qatarlar və magistral avtobuslar istifadə edildikdə

III. Beynəlxalq təcrübə

Avropa İttifaqının **"Sustainable and Smart Mobility Strategy"** sənədində ictimai nəqliyyatın rəqəmsal transformasiya və ekoloji siyasətlə inteqrasiyası əsas prioritet kimi müəyyən edilmişdir [5]. UNOPS-un **"Inclusive Transport Infrastructure"** hesabatında isə sosial inklüzivlik, gender bərabərliyi və əlçatanlıq

prinsipləri xüsusi vurğulanır [6]. UN-Habitat-ın hesabatlarında inkişaf etməkdə olan şəhərlərdə ictimai nəqliyyatın sosial ədalət və ekoloji dayanıqlılıq baxımından rolu geniş şəkildə təhlil olunur [2].

CƏDVƏL 3. VYANA İCTİMAİ NƏQLİYYAT BİLET SİSTEMİ [12].

Bilet növü	Qiymət	Xüsusiyyətlər
Birdəfəlik ödəniş	€2,40 (ictimai/avtomatik), €2,60 (nəqliyyatda)	1 zona daxilində köçürmə ilə 1 səfər üçün etibarlıdır
Einzelfahrschein güzəşt	€1,50 (pensiyaçılar), €1,20 (uşaqlar/heyvanlar/velosipedlər)	6 yaşa qədər uşaqlar pulsuz
24 saat Wien	€8	Kompostlama anından etibarən 24 saat ərzində limitsiz
48 saat Wien	€14,10	2 gün limitsiz
72 saat Wien	€17,10	3 gün limitsiz
1 Tag Wien	€5,80	Növbəti gün saat 01:00-a qədər etibarlıdır
Həftəlik kart	€17,10	Bazar ertəsi 00:00-dan növbəti bazar ertəsi 09:00-a qədər
8-Tage-Klimakarte	€40,80	8 ayrı gün, ardıcıl olmayan istifadə edilə bilər
İllik keçid (standart)	€365	Gündə €1, bütün nəqliyyat növlərində limitsiz
İllik keçid (65+ yaş)	€235	Sosial güzəştli tarif, yaşlıların mobilliyi üçün nəzərdə tutulub

IV. Rəqəmsal transformasiya

Böyük verilənlər (Big Data) və süni intellektin tətbiqi marşrutların optimallaşdırılmasına, sərnişin axınının proqnozlaşdırılmasına və xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə imkan verir, şəhər sakinlərinin hərəkət patternlərini (patterns) analiz edərək, hansı saatlarda və hansı marşrutlarda daha çox sərnişin olacağını qabaqcadan müəyyən edir[1]. Bu, sərnişin sıxlığının qarşısını almaq üçün əlavə nəqliyyat vasitələrinin vaxtında xəttə buraxılmasına imkan verir. Mobil tətbiqlər vasitəsilə real vaxtda avtobus və metro məlumatlarının paylaşılması, ödəniş sistemlərinin inteqrasiyası ictimai nəqliyyatda şəffaflığı və rahatlığı artırır.

V. Ekoloji dayanıqlılıq

Nəqliyyat sektoru qlobal CO_2 emissiyalarının ən sürətli artan mənbəyidir [4]. Şəhərlərdə elektrikli avtobusların tətbiqi və velosiped şəbəkələrinin genişləndirilməsi karbon izinin azaldılmasına mühüm töhfə verir. Bakı üçün də köhnə avtobusların mərhələli şəkildə elektrikli modellərlə əvəz olunması və velosiped yollarının genişləndirilməsi prioritet inkişaf istiqaməti kimi qəbul edilib [7].

VI. Təkliflər

1. **Sosial inklüzivlik**: Əlillər, tələbələr və əhalinin digər sosial üzvləri üçün tam əlçatan avtobus və metro stansiyaları; sosial güzəştli tariflər.
2. **Rəqəmsal texnologiyalar**: NFC ödəniş sistemlərinin bütün marşrutlarda tətbiqi; mobil tətbiqlərin inkişafı.
3. **Ekoloji siyasət**: Elektrikli avtobus parkının genişləndirilməsi; velosiped və piyada infrastrukturunun gücləndirilməsi.
4. **Normativ uyğunluq**: Dövlət proqramlarında sosial ədalət və ekoloji dayanıqlılıq prinsiplərinin hüquqi əsaslandırılması.

VII. NƏTİCƏ

Bakı şəhərində ictimai nəqliyyat sistemi sürətli urbanizasiya fonunda sosial həyatın ayrılmaz elementi kimi formalaşmışdır. Mövcud vəziyyətin təhlili göstərir ki, metro və avtobus şəbəkəsi şəhər mobilliyinin əsas yükünü daşısa da, periferik ərazilərdə marşrutların məhdudluğu sosial bərabərliyi zəiflədir. Bununla yanaşı, son illərdə avtobus parkının yenilənməsi, xüsusi avtobus zolaqlarının tətbiqi, rəqəmsal ödəniş sistemlərinin

genişləndirilməsi və elektrikli avtobusların istifadəyə verilməsi müsbət transformasiya prosesini sürətləndirmişdir.

Beynəlxalq təcrübə ilə müqayisə aparıldıqda aydın olur ki, sosial inklüzivlik, ekoloji dayanıqlılıq və rəqəmsal transformasiya prinsipləri müasir ictimai nəqliyyat siyasətinin əsas dayaqlarıdır. Bakı üçün də bu prinsiplərin tətbiqi zəruridir: əlillər və sosial qruplar üçün tam əlçatan infrastruktur, NFC ödəniş sistemlərinin bütün marşrutlarda tətbiqi, elektrikli avtobus parkının genişləndirilməsi və velosiped-piyada şəbəkəsinin gücləndirilməsi.

Nəticə etibarilə, Bakı ictimai nəqliyyatı yalnız mobillik vasitəsi deyil, həm də sosial ədalətin təmin olunması, ekoloji yükün azaldılması və rəqəmsal transformasiyanın həyata keçirilməsi baxımından strateji alət kimi çıxış edir. Gələcək inkişaf istiqamətləri beynəlxalq standartlara uyğun olaraq **sosial inklüzivlik, ekoloji dayanıqlılıq və rəqəmsal transformasiya** prinsipləri əsasında formalaşdırılmalı, bu yanaşma şəhər sakinlərinin həyat keyfiyyətini yüksəltməklə yanaşı, Bakını regional miqyasda dayanıqlı və inklüziv nəqliyyat modeli kimi möhkəmləndirməlidir

ƏDƏBİYYAT

[1] Litman, T. (2021). Evaluating Public Transport Benefits and Costs. Victoria Transport Policy Institute.
[2] UN-Habitat. (2013). Planning and Design for Sustainable Urban Mobility: Global Report on Human Settlements. Routledge.
[3] Cervero, R. (1998). The Transit Metropolis: A Global Inquiry. Island Press.
[4] Pojani, D., & Stead, D. (2017). The Urban Transport Crisis in Emerging Economies. Springer.
[5] European Commission. (2020). Sustainable and Smart Mobility Strategy. Brussels.
[6] UNOPS. (2023). Developing Inclusive Transport Infrastructure. UNOPS Official Website.
[7] Azərbaycan Yerüstü Nəqliyyat Agentliyi (AYNA). (2023). Bakı şəhərində ictimai nəqliyyatın inkişaf strategiyası. Rəsmi hesabat.
[8] Bakı Metropoliteni QSC. (2022). Bakı metrosunun inkişaf planı. Rəsmi sənəd.
[9] Dövlət Statistika Komitəsi. (2023). Azərbaycan Respublikasında əhali və sərnişin daşımaları üzrə göstəricilər. Bakı.
[10] Azərbaycan Yerüstü Nəqliyyat Agentliyi (AYNA). (2024, sentyabr). Bakı şəhərində avtobus zolaqları şəbəkəsinin tətbiqi ilə bağlı rəsmi məlumat. Bakı.
[11] https://azertag.az/xeber/buzovnada_yeni_avtobus_parki_istifadeye_verilib-4058967.
[12] https://vienna-property.com/az/obshestvennyj-transport-v-vene-prostoj-gid/.

TRANSXƏZƏR NƏQLİYYAT DƏHLİZİ-GEOSİYASI DİNAMİKALAR VƏ LOGİSTİK İMKANLAR

Şahin Orucov Əlibala
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Logistika və Nəqliyyat
Bakı, Azərbaycan
shorucov@beu.edu.az

Səbuhi Rüstəmov Faiq

Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Logistika və Nəqliyyat
Bakı, Azərbaycan
srustemov3@std.beu.edu.az

Xülasə: Son geosiyasi dəyişikliklər – Rusiya–Ukrayna müharibəsi, ABŞ–Çin ticarət gərginliyi və Çinin "Bir kəmər, bir yol" təşəbbüsü – Mərkəzi Asiyanın nəqliyyat sisteminə ciddi təsir göstərmişdir. Nəticədə Trans-Sibir kimi ənənəvi marşrutların səmərəliliyi azalmış və Trans-Xəzər Dəhlizi (TCC) kimi alternativlərin rolu artmışdır. Qazaxıstan və Xəzər dənizi vasitəsilə Asiya ilə Avropanı birləşdirən bu dəhliz, ticarət yollarının diversifikasiyası və geosiyasi asılılığın azaldılması baxımından strateji əhəmiyyət kəsb edir.
Tədqiqat keyfiyyət yanaşmasına əsaslanaraq dərin müsahibə vasitəsilə logistika şirkətləri və dövlət qurumlarını əhatə edir. Təhlil nəticəsində TCC-nin formalaşmasında rol oynayan beş əsas maraqlı tərəf qrupu və beş strateji istiqamət müəyyən edilmişdir: maraqlar, infrastruktur, standartlaşdırma və rəqəmsallaşdırma, əməkdaşlıq və koordinasiya, eləcə də yayılma təsirləri.
Nəticələr göstərir ki, TCC yalnız nəqliyyat marşrutu deyil, həm də geosiyasi təsir vasitəsidir. Tədqiqat bu sahədə mövcud boşluqları dolduraraq gələcək araşdırmalar üçün yeni istiqamətlər təklif edir və dəhlizin Avrasiya geosiyasi sistemindəki rolunu vurğulayır.
Açar sözlər: Trans-Xəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Dəhlizi, Avrasiya ticarət şəbəkələri, "Bir Kəmər, Bir Yol" təşəbbüsü, geosiyasət, nəqliyyat dəhlizinin inkişafı və müsahibə tədqiqatı.

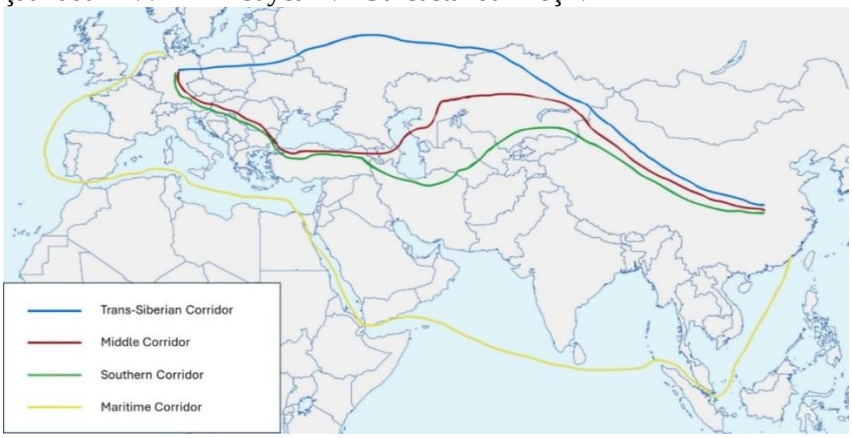
I. GİRİŞ

Rusiya–Ukrayna müharibəsi, ABŞ–Çin ticarət qarşıdurması və Çinin "Bir Kəmər, Bir Yol" təşəbbüsü (BRI) kimi son geosiyasi proseslər qlobal nəqliyyat sistemində ciddi dəyişikliklərə səbəb olmuşdur [Khan və b., 2023; Tamilselvan və b., 2024]. Müasir beynəlxalq münasibətlərdə birqütblü nizamın tədricən çoxqütblü sistemlə əvəz olunması və bu prosesin "yeni soyuq müharibə" çərçivəsində qiymətləndirilməsi qeyd olunur [Schindler və b., 2022]. Bu şəraitdə nəqliyyat və infrastruktur şəbəkələri yalnız iqtisadi deyil, həm də geosiyasi təsir alətinə çevrilmişdir [Flint və Zhu, 2019].
BRI bu baxımdan xüsusi əhəmiyyət daşıyır, çünki o, Asiya ilə Avropanı birləşdirən əsas strateji təşəbbüslərdən biridir [Lin, 2019; Sheng, 2023]. Bu təşəbbüsün tərkib hissəsi olan Trans-Xəzər Dəhlizi (Orta Dəhliz) son illərdə daha çox aktuallıq qazanmışdır və Avropa ilə Asiyanı Qazaxıstan, Xəzər dənizi və Cənubi Qafqaz üzərindən birləşdirir [Blanchard və Flint, 2017]. Xüsusilə Rusiya–Ukrayna müharibəsi nəticəsində yaranan logistika məhdudiyyətləri Trans-Sibir marşrutunun səmərəliliyini azaltmış və Trans-Xəzər dəhlizinə tələbi artırmışdır [Blackwood və b., 2023] .
Bununla belə, mövcud ədəbiyyatda Trans-Xəzər dəhlizinin həm nəqliyyat, həm də geosiyasi aspektdən sistemli şəkildə təhlili hələ də kifayət qədər inkişaf etməmişdir. Xüsusilə Çin, Qazaxıstan, Avropa İttifaqı və Türkiyə kimi əsas aktorların bu prosesdəki maraqları və strategiyaları tam şəkildə aydınlaşdırılmamışdır. Bu tədqiqat bu boşluğu doldurmağa çalışaraq aşağıdakı suallara fokuslanır: dəhlizdə iştirak edən tərəflərin motivləri, onun inkişafını müəyyən edən strateji sahələr və ümumilikdə geosiyasi alət kimi rolu.
Həm nəqliyyat, həm də geosiyasət baxımından Trans-Xəzər Dəhlizinin (TCC) rolunu sistemli şəkildə təhlil edən tədqiqatlarda hələ də əhəmiyyətli bir boşluq mövcuddur. Xüsusilə Çin, Qazaxıstan, Avropa İttifaqı, Türkiyə və digər aktorların bu dəhlizlə bağlı strateji məqsədləri və ambisiyaları kifayət qədər aydın şəkildə izah edilməmişdir. Bu anlayışın formalaşdırılması TCC-nin geosiyasi əhəmiyyətinin düzgün qiymətləndirilməsi və onun inkişafının ilkin mərhələdən daha yetkin mərhələyə keçidi üçün vacib şərt hesab olunur.
Bu tədqiqat mövcud boşluğu aradan qaldırmaq məqsədilə aşağıdakı tədqiqat suallarını irəli sürür:

- **Tədqiqat Sualı 1 (TS1):** TCC-də iştirak edən müxtəlif nəqliyyat maraqlı tərəflərinin ambisiyaları və motivləri nələrdir?
- **Tədqiqat Sualı 2 (TS2):** TCC-nin daha yetkin nəqliyyat dəhlizinə çevrilməsini dəstəkləyən əsas strateji maraq sahələri hansılardır?
- **Tədqiqat Sualı 3 (TS3):** TCC nəqliyyat dəhlizlərinin geosiyasi alət kimi nəzəri anlaşılmasına necə töhfə verir?

II. TƏDQİQAT

Təxminən 7000 km uzunluğunda olan TCC, Asiya və Avropanı Qazaxıstan, Xəzər dənizi və Cənubi Qafqaz vasitəsilə birləşdirir (Şəkil 1). Çindən başlayan dəhliz, Xorqos və Dostık sərhəd keçid məntəqələrindən Qazaxıstana keçir. Burada Çin və Qazaxıstan arasındakı dəmir yolu məsafəsindəki fərqə görə yük daşınması lazımdır. Oradan TCC, Xəzər dənizindəki Aktau limanına qədər davam edir və buradan mallar Azərbaycanın Bakı limanına göndərilir. Bakıdan yüklər Cənubi Qafqaz bölgəsindən keçərək, Türkiyə vasitəsilə Avropaya çatmadan əvvəl Azərbaycan və Gürcüstandan keçir.



Şəkil 1. Çindən Avropaya əsas nəqliyyat dəhlizləri

Trans-Qazaxıstan Dəmir Yolunun nəqliyyat dəhlizi kimi formalaşması 2014-cü ildə onun açılışı, daha sonra isə 2017-ci ildə Bakı–Tbilisi–Qars Dəmir Yolunun tamamlanması ilə daha da güclənmişdir [van Leijen, 2022]. Bu mərhələdən sonra dəhliz üzrə yükdaşımalar sabit artım göstərərək 2020-ci ildə təxminən 350.000 tondan 2021-ci ildə 530.000 tona yüksəlmişdir [van Leijen, 2022]. Lakin əsas dönüş nöqtəsi 2022-ci ildə Rusiya–Ukrayna müharibəsinin başlaması və Qərb ölkələrinin tətbiq etdiyi sanksiyalar olmuşdur. Bu hadisələr nəticəsində Trans-Qazaxıstan marşrutu üzrə daşımalar kəskin artaraq 3,2 milyon tona çatmışdır [Eldem, 2022].

Eyni zamanda, Türkiyədə Marmaray dəmir yolu xəttinin istifadəyə verilməsi bu dəhlizin Avropa ilə birbaşa əlaqəsini gücləndirmiş və Orta Asiyadan Avropaya daha səmərəli yük daşımalarını mümkün etmişdir. Gələcək proqnozlara görə, Trans-Xəzər nəqliyyat dəhlizinin potensialı 10 milyon tona qədər yükdaşıma səviyyəsinə çata bilər [Çanq, 2023]. Buna baxmayaraq, hazırkı mərhələdə TCC-nin yük həcmi hələ də əsas dəniz marşrutları ilə müqayisədə nisbətən aşağı səviyyədə qalır.

Hazırda dəhliz infrastruktur və siyasi məhdudiyyətlər səbəbindən inkişaf mərhələsindədir. Bu ilkin inkişaf mərhələsi tranzit vaxtlarında qeyri-sabitliklə xarakterizə olunur və daşımaların müddəti 14 gündən 45 günə, bəzi hallarda isə 60 günə qədər dəyişə bilir [Çanq, 2023; AYİB, 2023].

Ticarət və əlaqəlilik Avropa və Asiya daxilində regionları birləşdirən geniş nəqliyyat dəhlizləri şəbəkəsinə əsaslanır. Bu dəhlizlər malların və insanların hərəkətini asanlaşdıraraq qitələrarası iqtisadi və geosiyasi proseslərin formalaşmasına təsir göstərir. Məsələn, Reyn–Alp Dəhlizi Rotterdamı Genuya ilə birləşdirərək Qərbi Avropanın əsas sənaye zonalarından keçən mühüm logistik xətt rolunu oynayır [Bedoya-Maya və b., 2023].

Ənənəvi Dəniz Dəhlizi

Ənənəvi Dəniz Dəhlizi Çin və Avropa arasında ticarət daşımalarında ən çox istifadə olunan marşrutlardan biri olaraq qalır və təxminən 20.000 km uzunluğa malikdir. Bu marşrut Cənubi Çin dənizi, Hind okeanı və Aralıq dənizində yerləşən əsas limanlardan keçərək Süveyş kanalı vasitəsilə Avropa limanlarına çatır.

Dəniz daşımaları ümumilikdə daha aşağı xərclərlə və yüksək həcmli yük daşıma imkanları ilə fərqlənsə də, bir sıra risklərə də məruz qalır. Bunlara yükdaşıma qiymətlərində yüksək dəyişkənlik, limanlarda tıxaclar və işçi qüvvəsi tətilləri daxildir. Məsələn, 2020-ci ilin iyun ayında konteyner daşınma qiymətlərinin 2000 dollardan 2021-ci ildə 15.000 dollara qədər yüksəlməsi logistika şirkətlərini alternativ marşrutlar axtarmağa məcbur etmişdir [Almendral, 2021].

Bundan əlavə, Süveyş kanalı 2021-ci ildə baş verən tıxanma hadisəsi ilə strateji bir dar boğaz olduğunu bir daha göstərmişdir. Eyni zamanda, Bab əl-Məndəb boğazı ətrafında baş verən geosiyasi gərginliklər də bu marşrutun təhlükəsizliyini zəiflədir [Bonnell və Mchugh, 2023].

COVID-19 pandemiyası dövründə isə limanlarda yaranan ciddi tıxaclar və gecikmələr bu dəhlizin zəif tərəflərini daha da üzə çıxarmış və yükgöndərənləri Trans-Xəzər Dəhlizi kimi alternativ quru marşrutlarına yönəltmişdir [Liu və b., 2023].

TRACECA dəhlizləri

Avropa–Qafqaz–Asiya Nəqliyyat Dəhlizi (TRACECA) 1990-cı illərdə Avropa İttifaqı tərəfindən Avropa ilə Mərkəzi Asiya arasında, Qara dəniz və Qafqaz regionları vasitəsilə əlaqələrin gücləndirilməsi məqsədilə yaradılmış təşəbbüsdür. Bu dəhliz Şərqi Avropadan başlayaraq Cənubi Qafqaz, Xəzər dənizi və Mərkəzi Asiyaya qədər uzanan multimodal nəqliyyat sistemi kimi fəaliyyət göstərir [Flint və Noorali, 2024].

TRACECA mövcud infrastrukturun bir hissəsini, xüsusilə Xəzər dənizi regionunda Trans-Xəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Dəhlizi ilə paylaşaraq onu tamamlayıcı rol oynayır. Bununla yanaşı, bu dəhliz Qara dəniz regionunun daha geniş ticarət şəbəkələrinə inteqrasiyasını gücləndirir və Türkiyə, Gürcüstan, Azərbaycan və Avropa İttifaqı ölkələri üçün əlavə strateji əhəmiyyət yaradır [Noorali və Əhmədi, 2023].

Bu geniş nəqliyyat sistemi daxilində Trans-Xəzər Dəhlizi (TCC) digər əsas marşrutlarla rəqabət aparan inkişaf etməkdə olan alternativ istiqamət kimi çıxış edir. Mövcud nəqliyyat strukturu çərçivəsində TCC ilə birbaşa rəqabətdə olan əsas dəhlizlərə Ənənəvi Dəniz Marşrutu, Trans-Sibir Dəhlizi və Cənub Dəhlizi daxildir (Şəkil 1). Bundan əlavə, regionda nəqliyyat əlaqələrinin inkişafında rol oynayan TRACECA dəhlizlərinə də qısa nəzər salınır.

Maraqlı tərəflərin motivləri və geosiyasi ambisiyaları

Trans-Xəzər Dəhlizi (TCC) boyunca fəaliyyət göstərən əsas maraqlı tərəflər – Çin, Qazaxıstan, Avropa İttifaqı, Türkiyə və digər ölkələr – bu marşrut vasitəsilə öz iqtisadi və geosiyasi məqsədlərini həyata keçirməyə çalışırlar. Bölmə 3.3-də qeyd olunduğu kimi, bu aktorların fəaliyyəti onların fərqli geosiyasi kodları ilə müəyyən edilir. Aparılan keyfiyyət təhlili nəticəsində müsahibə məlumatları əsasında maraqlı tərəflərin konkret motivləri müəyyən edilmiş və bu motivlərin daha geniş geosiyasi strategiyalarla əlaqəsi ortaya çıxarılmışdır.

Beləliklə, bu hissə Tədqiqat Sualı 1-ə cavab verərək, TCC-də iştirak edən tərəflərin motivlərini araşdırır və onları daha geniş geosiyasi kontekst daxilində şərh edir.

Çin

Çinin Trans-Xəzər Dəhlizində (TCC) iştirakı əsasən "Bir Kəmər, Bir Yol" (BRI) təşəbbüsü ilə bağlıdır. FP2 BRI-ni "əsrin ən böyük logistika layihəsi" kimi qiymətləndirərək Çini əsas hərəkətverici aktor kimi göstərir. Bununla yanaşı, FF3 BRI-nin Avropaya tranziti artırdığını, lakin Qazaxıstanda yerli daşımaları zəiflətdiyini qeyd edir.

Çinin əsas məqsədlərindən biri nəqliyyat marşrutlarını şaxələndirməkdir. FP2 və FP1 Çin üçün alternativ dəhlizlərin strateji zərurət olduğunu vurğulayır. Ümumilikdə, Çin TCC vasitəsilə qlobal təsirini artırmaq və təchizat zəncirlərini diversifikasiya etmək strategiyası izləyir [Wen və b., 2019; Kenderdine və Bucsky, 2021b].

Qazaxıstan

Qazaxıstan TCC-də əsas tranzit ölkədir və Çinlə sıx iqtisadi əlaqələrə malikdir. FF2 onu "Çinin Mərkəzi Asiyaya qapısı" kimi xarakterizə edir. Ölkə Horgos qapısı və Aktau limanı kimi infrastruktur layihələri ilə tranzit potensialını artırır [Sattarov, 2022].

Qazaxıstan özünü Çin və Avropa arasında körpü kimi mövqeləndirir və bu strategiya iqtisadi diversifikasiyanı gücləndirir [Cohen, 2003; Yermekbayev və b., 2024].

Avropa İttifaqı

Aİ üçün TCC əsasən enerji təhlükəsizliyi və ticarət diversifikasiyası baxımından əhəmiyyətlidir. FP2 Aİ-ni Çin mallarının əsas alıcısı kimi təqdim edir və Rusiyadan enerji asılılığının azaldılmasının vacibliyini vurğulayır.

TCC Aİ üçün alternativ təchizat marşrutu kimi çıxış edir və logistik dayanıqlığı artırır [Kwak və b., 2018; AYİB, 2023].

Türkiyə

Türkiyə TCC-də əsas tranzit ölkə kimi çıxış edir və Avropa–Asiya ticarətində körpü rolunu oynayır. FF4-ə görə Avropaya gedən yüklərin böyük hissəsi Türkiyə üzərindən keçir.
Alternativ marşrutlar mövcud olsa da, Türkiyə hələ də əsas tranzit mərkəz olaraq qalır. Onun strategiyası tranzit rolunu gücləndirmək və təsirini artırmaqdır [Cohen, 2003; Chaziza, 2021].
Növbəti altbölmələrdə TS2 çərçivəsində irəli sürüldüyü kimi, TCC-nin inkişaf prosesinin daha yetkin bir nəqliyyat dəhlizinə çevrilməsində həlledici rol oynayan strateji maraq sahələri təhlil edilir. Bu sahələr yalnız logistika ilə bağlı texniki və əməliyyat məsələlərlə məhdudlaşmır, eyni zamanda tədqiqat boyunca vurğulanan maraqlı tərəflərin geosiyasi və geoiqtisadi davranış modellərini də əks etdirir. Aparılmış seçmə kodlaşdırma nəticəsində bir sıra əsas strateji istiqamətlər müəyyən olunmuşdur: davamlı və aktual maraqlar, infrastruktur və texniki təminat, standartlaşdırma və rəqəmsallaşdırma prosesləri, əməkdaşlıq və koordinasiya mexanizmləri, həmçinin yayılma təsirləri.
Bu istiqamətlərin hər biri TCC-nin həm uğurla formalaşmasında, həm də uzunmüddətli dayanıqlığının təmin edilməsində mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Cari və davamlı maraq

TCC-yə olan cari və uzunmüddətli maraq əsasən geosiyasi və iqtisadi faktorların təsiri ilə formalaşan sabit tələbə əsaslanır. Bu çərçivədə üç əsas məqam müəyyən olunur.
Birincisi, dəhlizə maraq təkcə Rusiya və Belarus kimi ölkələrə qarşı tətbiq olunan sanksiyalarla bağlı deyil, həm də şirkətlərin geosiyasi risklərdən yayınmaq üçün alternativ marşrutlara üstünlük verməsi ilə əlaqəlidir. Müharibə riski yüksək olan ərazilərdən daşımaların azalması TCC-ni daha təhlükəsiz seçimə çevirir.
İkincisi, Çinin "Bir Kəmər, Bir Yol" (BRI) təşəbbüsü TCC-nin inkişafında əsas rol oynayır. Çin tərəfindən maliyyələşdirilən və dəstəklənən bu layihə dəhlizin dayanıqlığını artırmaqla yanaşı, onu Çinin Avrasiyada geosiyasi təsir strategiyasının bir hissəsinə çevirir [Flint və Noorali, 2024].
Üçüncüsü, TCC-nin potensial olaraq daha sürətli nəqliyyat marşrutu olması onun cəlbediciliyini artırır, lakin bu üstünlük hələ tam reallaşmayıb və daha çox gələcək imkan kimi qiymətləndirilir.
Ümumilikdə, TCC-nin uğuru davamlı tələbin qorunması, BRI dəstəyinin davam etməsi və sürət üstünlüyünün real əməliyyat faydasına çevrilməsindən asılıdır [Chaziza, 2021; Kenderdine və Bucsky, 2021b].

Təklif 1

TCC-nin davamlı inkişafını təmin etmək üçün uzunmüddətli tələb sabitliyi qorunmalı, BRI çərçivəsində investisiya axını davam etdirilməli və potensial sürət üstünlüyü real əməliyyat effektivliyinə çevrilməlidir.

İnfrastruktur və avadanlıqlar

TCC xüsusilə Xəzər dənizi regionunda ciddi infrastruktur və texniki avadanlıq problemləri ilə üzləşir. Müsahibələrdə Aktau limanında istifadə olunan kranların köhnə və zəif olduğu qeyd olunur: "Aktau limanındakı kranlar köhnədir, zəifdir. Onları təkmilləşdirmək lazımdır." Bundan əlavə, bərə tutumunun məhdudluğu və əlverişsiz hava şəraiti səbəbindən yaranan gecikmələr dəhlizin səmərəliliyini azaldır.
Kenderdine və Bucsky (2021b) Xəzər dənizini mühüm əlaqə məhdudiyyəti kimi qiymətləndirir, eyni zamanda Cənubi Qafqazda infrastrukturun aşağı inkişaf səviyyəsinə diqqət çəkilir ("Gürcüstan və Azərbaycan tərəfində Poti və Bakı limanından başlayaraq daha çox iş görülməlidir.").
Dəmir yolu infrastrukturu da əlavə çətinliklər yaradır. Qazaxıstan və qonşu ölkələr arasında fərqli yol ölçüləri səbəbindən sərhəddə konteynerlərin yenidən yüklənməsi tələb olunur ki, bu da vaxt və xərc artımına səbəb olur. Eyni zamanda, köhnəlmiş dəmir yolu stansiyalarının qısa qəbul imkanları uzun yük qatarlarının istifadəsini məhdudlaşdırır ("Hazırda stansiyaların çoxu 55 vaqonu belə qəbul edə bilmir...").
Högselius (2022) bu vəziyyəti daha geniş çərçivədə izah edərək, Mərkəzi Asiyada infrastrukturun "öz sərhədlərini" yaratdığını və bunun siyasi sərhədlərdən daha çox texniki və tarixi faktorlarla müəyyənləşdiyini vurğulayır. Bu baxımdan, infrastruktur şəbəkələri regionda ticarət axınını formalaşdıran əsas amilə çevrilir.
Ümumilikdə, mövcud infrastruktur məhdudiyyətləri TCC-nin inkişafını ciddi şəkildə məhdudlaşdırır və eyni zamanda ticarət marşrutlarının strukturunu yenidən müəyyənləşdirir. Buna görə də dəhlizin potensialının reallaşması üçün liman və dəmir yolu infrastrukturuna investisiyaların artırılması və texnoloji standartların uyğunlaşdırılması zəruridir.

Təklif 2

Logistik çətinliklərin aradan qaldırılması üçün liman və dəmir yolu infrastrukturuna investisiyaların artırılması və texnoloji uyğunlaşdırmanın təmin edilməsi vacibdir.

Standartlaşdırma və rəqəmsallaşdırma

TCC (Trans-Xəzər Koridoru) standartlaşdırma və texniki uyğunluq baxımından bir sıra çətinliklərlə üzləşir. Mövcud liman infrastrukturu əsasən konteyner daşımaları üçün deyil, ümumi və toplu yüklər üçün nəzərdə tutulmuşdur. Buna baxmayaraq, Aktau limanının 2030-cu ilə qədər konteyner mərkəzinə çevrilməsi planlaşdırılır.

Eyni zamanda, rəqəmsallaşdırmanın zəifliyi və kağız əsaslı sənədləşmə prosesləri əməliyyat səmərəliliyini azaldır. Bu səbəbdən bütün proseslərin elektron sistemə keçirilməsi və vahid rəqəmsal platformanın yaradılması tələb olunur.

Elmi ədəbiyyatda da bu problemlər vurğulanır. Eldem (2022) yumşaq infrastrukturda irəliləyişləri qeyd edir, Chang (2023) isə sərhədlərdə gömrük və bürokratik gecikmələrin çoxölkəli strukturdan qaynaqlandığını göstərir.

Təklif 3

TCC boyunca əməliyyatların sinxronizasiyası üçün rəqəmsallaşdırma gücləndirilməli, bürokratik maneələr azaldılmalı və standartlaşdırılmış sistemlər tətbiq edilməlidir.

Koordinasiya və əməkdaşlıq

TCC-də hazırda mərkəzi koordinasiyaedici qurumun olmaması əsas institusional boşluqlardan biridir. Bu səbəbdən milli qanunvericiliklərdən üstün, lakin beynəlxalq hüquqa zidd olmayan çoxtərəfli tənzimləyici çərçivəyə ehtiyac yaranır. Qazaxıstanın "TITR (Trans-Caspian International Transport Route)" assosiasiyası koordinasiya rolunu gücləndirməyə çalışsa da, hələ vahid tarif və qiymət sisteminə malik deyil.

Bəzi müsahibə iştirakçıları Avropa İttifaqı (Aİ – European Union) və Çin kimi aktorların daha aktiv koordinasiya rolunu təklif edirlər. Bu yanaşma həm maliyyə, həm də siyasi dəstək baxımından dəhlizi gücləndirə bilər. Palu və Hilmola (2023) da transmilli dəhlizlərdə regional əməkdaşlığın vacibliyini vurğulayır.

Təklif 4

TCC-nin effektiv inkişafı üçün mərkəzi koordinasiyaedici operator yaradılmalı və birgə idarəetmə mexanizmləri gücləndirilməlidir.

Yayılma effekti

TCC yalnız iqtisadi deyil, həm də sosial və mədəni təsirlərə malikdir. Dəhliz regional inkişafı stimullaşdırmaqla yanaşı, təhsil, mədəni əlaqələr və əməkdaşlıq imkanlarını da genişləndirir.

Cədvəl 1. Təkliflərə əsaslanan əlavə tədqiqat sahələri

	Əlavə tədqiqat sahələri
T1: TCC-nin davamlı marağı və böyüməsi	• TCC-də davamlı tələb və artımın necə təmin olunması • Bir Kəmər, Bir Yol (Belt and Road Initiative – BRI) təşəbbüsünün uzunmüddətli səmərəliliyinin artırılması strategiyaları • TCC-nin potensial sürət üstünlüyünün effektiv istifadəsi

Aktau və Kurık kimi limanlara investisiyalar məşğulluğu artıraraq regional inkişafı sürətləndirə bilər. Winter (2021) qeyd edir ki, "Bir Kəmər, Bir Yol" (BRI – Belt and Road Initiative) təşəbbüsü yalnız iqtisadi deyil, həm də geomədəni güc alətidir və TCC bu strategiyanın bir hissəsi kimi çıxış edir.

Təklif 5

TCC yalnız iqtisadi məqsədlərlə məhdudlaşmamalı, sosial-iqtisadi və mədəni inkişafı birləşdirən çoxşaxəli inkişaf platformasına çevrilməlidir. Aktau limanı bu prosesdə katalizator rolunu oynaya bilər.

T**2: Logistik çətinliklərin aradan qaldırılması**	• İnfrastruktur investisiyalarının effektivliyi və səmərəliliyə təsiri • Aşağı logistika səmərəliliyinin iqtisadi və ticarət nəticələri • Dövlət-özəl tərəfdaşlıq (Public-Private Partnership – PPP) mexanizmlərinin optimallaşdırılması
T**3: Standartlaşdırma və rəqəmsallaşdırma**	• Çoxölkəli texnoloji uyğunlaşmanın təmin edilməsi • Mövcud bürokratik və inzibati maneələrin aradan qaldırılması • Rəqəmsallaşdırma vasitəsilə əməliyyat səmərəliliyinin artırılması
T**4: Əməkdaşlıq və koordinasiya**	• Maraqlı tərəflər arasında koordinasiya və kommunikasiya mexanizmlərinin gücləndirilməsi • Mərkəzi koordinasiyaedici qurumun formalaşdırılması üçün institusional çərçivənin genişləndirilməsi • Digər beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərindən idarəetmə təcrübələrinin öyrənilməsi
T**5: Yayılma effekti (Inside-out inkişaf)**	• TCC-nin sosial-iqtisadi inkişafın katalizatoru kimi optimallaşdırılması • Mədəni mübadilə və insan inkişafını ölçmək üçün indikatorların müəyyən edilməsi

III. NƏTICƏ

Trans-Xəzər Koridoru (TCC) ənənəvi dəniz ticarət marşrutlarına alternativ olaraq formalaşan və Çin ilə Avropa arasında nəqliyyatın şaxələndirilməsi baxımından mühüm strateji potensiala malik quru əsaslı dəhlizdir. Dəmir yolu, avtomobil yolu və dəniz seqmentlərini birləşdirən bu koridor qlobal ticarət axınlarında baş verən dəyişikliklər fonunda daha dayanıqlı logistik həll kimi çıxış edir. 14 dərin müsahibəyə əsaslanan bu kəşfiyyat tədqiqatı TCC-nin inkişafını formalaşdıran əsas maraqlı tərəflərin geosiyasi baxışlarını və strateji prioritetlərini müəyyən etmişdir.

Tədqiqat nəticələri göstərir ki, Çin, Qazaxıstan, Avropa İttifaqı (Aİ – European Union), Türkiyə və digər aktorlar TCC-yə fərqli geosiyasi məqsədlərlə yanaşırlar. Çin bu dəhlizi "Bir Kəmər, Bir Yol" (BRI – Belt and Road Initiative) təşəbbüsünün tərkib hissəsi kimi qiymətləndirərək, Avrasiya üzrə təsirini genişləndirməyə və ticarət marşrutlarını şaxələndirməyə çalışır. Qazaxıstan tranzit ölkə kimi mövqeyini gücləndirmək məqsədilə infrastrukturun inkişafına üstünlük verir. Aİ isə Rusiya yönümlü marşrutlardan asılılığı azaltmaq üçün alternativ nəqliyyat dəhlizlərinin inkişafını strateji prioritet kimi görür. Türkiyə isə Avropa və Asiya arasında körpü rolunu gücləndirərək regional güc statusunu artırmağa çalışır.

Müəyyən edilmiş strateji maraq sahələri — cari və davamlı maraq, infrastruktur və avadanlıqlar, standartlaşdırma və rəqəmsallaşdırma, əməkdaşlıq və koordinasiya, həmçinin yayılma effekti — TCC-nin həm logistika, həm də geosiyasi baxımdan kompleks xarakter daşıdığını göstərir. Xüsusilə Çin tərəfindən BRI çərçivəsində verilən uzunmüddətli dəstək dəhlizin dayanıqlığını artırsa da, Xəzər regionunda mövcud infrastruktur məhdudiyyətləri ciddi modernizasiya və texnoloji uyğunlaşdırma ehtiyacını ortaya qoyur. Bu isə TCC-nin yalnız iqtisadi deyil, həm də geosiyasi alət kimi istifadə olunduğunu təsdiqləyir.

Keyfiyyətli tədqiqat yanaşmalarına uyğun olaraq, bu araşdırma iştirakçıların subyektiv baxışlarına əsaslanır. Nümunə seçimi əsasən TCC ilə aktiv şəkildə əlaqəli olan tərəfləri əhatə etdiyi üçün nəticələrdə seçim qərəzi ehtimalı mövcuddur. TCC-nin daha yetkin mərhələyə keçidi ilə yanaşı, gələcək tədqiqatlarda daha geniş və müxtəlif aktorların (siyasi qurumlar, logistika şirkətləri və tənqidçi baxışlar daxil olmaqla) əhatə olunması daha balanslı nəticələr əldə etməyə imkan verə bilər.

Coğrafi baxımdan, bu tədqiqat əsasən Mərkəzi Asiya və Avropa perspektivlərinə fokuslanmışdır. Gələcək tədqiqatlar Çin və Cənubi Qafqaz regionlarının baxışlarını daha dərindən təhlil etməklə geosiyasi kodların daha

detallı anlaşılmasına töhfə verə bilər. Bundan əlavə, kiçik və orta yük daşımalarının (SME logistics) spesifik problemləri də ayrıca araşdırma tələb edir.

Nəhayət, Rusiya–Ukrayna müharibəsi nəticəsində Trans-Sibir Dəhlizində yaranan pozuntular alternativ quru ticarət marşrutlarına marağı artırmışdır. Bu kontekstdə TCC ilə yanaşı Cənub Dəhlizi də alternativ və ya tamamlayıcı marşrut kimi çıxış edir. Gələcək tədqiqatlar bu iki dəhliz arasında müqayisəli təhlillər apararaq quru əsaslı ticarət sistemlərinin daha geniş nəzəri və praktiki anlaşılmasına töhfə verə bilər.

ƏDƏBIYYAT

1. Khan, et al. (2023). Geopolitical transformations and global transport systems.
2. Tamilselvan, et al. (2024). Trade disruptions and global logistics reconfiguration.
3. Schindler, et al. (2022). The emergence of a new cold war in international relations.
4. Flint, C. & Zhu, C. (2019). Geopolitics and infrastructure networks in global politics.
5. Lin, J. (2019). Belt and Road Initiative and Eurasian connectivity.
6. Sheng, A. (2023). Infrastructure integration under the Belt and Road framework.
7. Blanchard, J. M. & Flint, C. (2017). The geopolitics of Eurasian corridors.
8. Blackwood, et al. (2023). Transport disruptions and alternative trade routes in Eurasia.
9. van Leijen, M. (2022). Railway development and Trans-Caspian logistics performance.
10. Eldem, T. (2022). Trade flows along the Trans-Caspian route after 2022.
11. Chang, Y. (2023). Logistics uncertainty in Eurasian transport corridors.
12. European Bank for Reconstruction and Development (2023). Transport connectivity and infrastructure development report.
13. Bedoya-Maya, et al. (2023). The Rhine–Alpine corridor and European logistics integration.
14. Almendral, M. (2021). Global container shipping price volatility during supply chain disruption.
15. Bonnell, J. & Mchugh, J. (2023). Geopolitical risks in maritime trade routes.
16. Liu, et al. (2023). COVID-19 impacts on global maritime logistics.
17. Flint, C. & Noorali, S. (2024). Eurasian connectivity and geopolitical competition.
18. Noorali, S. & Ahmadi, R. (2023). TRACECA and regional transport integration.
19. Wen, et al. (2019). China's transport strategy under the Belt and Road Initiative.
20. Kenderdine, T. & Bucsky, P. (2021). Central Asian transport corridors and economic integration.
21. Sattarov, A. (2022). Kazakhstan's transit infrastructure development strategy.
22. Cohen, S. (2003). Geopolitics of transport corridors in Eurasia.
23. Yermekbayev, et al. (2024). Kazakhstan as a Eurasian transit hub.
24. Kwak, et al. (2018). EU trade diversification and transport connectivity.
25. Chaziza, M. (2021). China's Belt and Road Initiative and Eurasian trade routes.
26. Högselius, P. (2022). Infrastructure borders and regional connectivity in Eurasia.
27. Palu, K. & Hilmola, O. (2023). Governance of transnational transport corridors.
28. Winter, T. (2021). The Belt and Road Initiative as a geo-economic strategy.

EVALUATION OF PASSENGER FLOW EFFICIENCY IN BUS-TO-METRO TRANSFER HUB

Umid Zeynallı
Department - Logistics and Transport
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
uzeynalli1@std.beu.edu.az

Bassel Mounirou Mouhamadou Gazali
Department - Logistics and Transport
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
bmouniroumouhamedougazali@std.beu.edu.az

***Abstract*:** The effectiveness and sustainability of a Unified Transport System (UTS) rely heavily on the efficient management of passenger transitions among different urban transport modes [1]. This paper conducts a comprehensive analysis of bus-to-metro transfer patterns in central urban areas to pinpoint crucial bottlenecks in passenger movement and infrastructure connectivity. By leveraging aggregated data from smart card systems and mobile transit applications, the study identifies and examines the specific mechanics of transfers to evaluate the overall synchronization of the system [3]. The research utilizes statistical recognition techniques to trace passenger movements and assess how the design of the hub influences transfer times [17]. The outcomes, presented through comprehensive distribution analysis, offer crucial insights for urban planners concerning resource distribution and the enhancement of station designs [10].

***Keywords*:** multi-modal transfer, bus-to-metro, passenger flow, urban mobility, smart card data.

I. INTRODUCTION

Modern urban development requires moving from disconnected networks to a Unified Transport System (UTS), where efficiency depends on smooth transfers between different modes of transport [7]. These connections help reduce travel time and support sustainability across the city. Even with better digital coordination, many hubs still have mismatched schedules and old infrastructure that cannot handle sudden increases in passengers [1]. Traditional hubs often work separately, which creates transfer problems and discourages people from using public transit [10]. This study looks at these issues by tracking passenger movement with integrated payment data and using multithreading techniques [19]. By analyzing data to find the busiest routes, the research aims to guide better infrastructure planning and resource use [10]

II. DESCRIPTION OF THE PROBLEM

The main challenge in today's urban transit is the delay and discomfort commuters face when switching between different modes of transport. Even if each transit line runs smoothly, poor coordination at major transfer points leads to a disjointed experience for users [8]. A key issue is "physical-digital decoupling," which happens when a station's design does not support the real-time digital needs of its users [3]. For example, a station might have enough physical space, but if 45% of arriving commuters are sent to the same bus route at once, a bottleneck can occur that standard surveillance systems often miss [14]. Without a thorough statistical analysis of these movement patterns, planners cannot optimize gate flow or adjust transit schedules effectively [2]. The absence of a standard identification system also creates safety risks and can lead to financial losses [19]

III. METHODOLOGY

The proposed system employs a structured and rigorous identification process to analyze transfer patterns, thereby maintaining data integrity across multiple transit agencies and preventing the loss of critical movement logs. The framework constructs a repository of digital transfer schemes, such as the "Bus-to-Metro" link, by integrating time-stamped records from smart card readers and mobile payment logs [5]. For precise synchronization, the system detects coordination markers at the start and end of each transit leg, which serve as indicators to align journey records with scheduling logic [2]. Data are processed within a technical packet comprising a Header, Payload, and Trailer to ensure secure and high-speed transmission multithreaded environments [19].

In cases involving complex transitions where spatial data are non-linear or fragmented, a bilinear transformation algorithm is utilized to accurately map physical distances and transit times across the network grid [10]. Outcomes identified as "uncertain" or "noisy" due to sensor errors are subsequently directed to a specialized verification sector, where expert assessment ensures that the final data achieve a reliability rate exceeding 95% [5].



Fig. 1. Technical structure of a multi-modal transfer data packet [19]

IV. RECOGNITION AND STATISTICAL CLASSIFICATION

The framework identifies high-volume traffic trends and produces validated data suitable for integration into comprehensive traffic simulation models [15]. The system differentiates among various motion fields, including QR code captures and Near Field Communication (NFC) logs, thus enabling a thorough analysis of passenger behavior [12]. Statistical evidence underscores the need to prioritize bus-to-metro synchronization in hub design to minimize system delays and enhance commuter satisfaction.

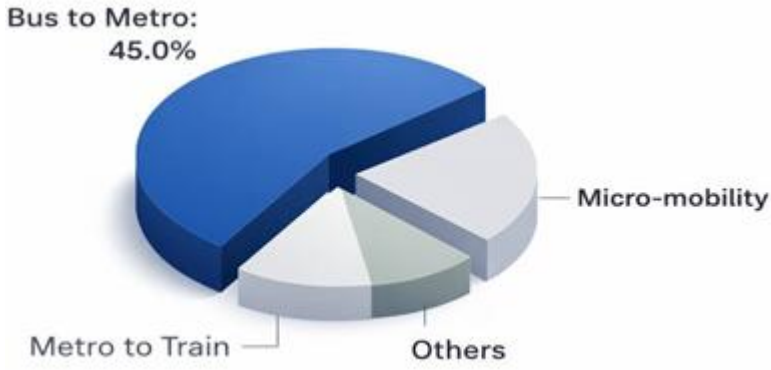


Fig. 2. Distribution of multi-modal transfer types identified by the system [1]

Figure 2 shows that "Bus to Metro" transfers account for the largest share of the distribution at 45.0% [17]. The system also reports transfer volumes across various periods, with the Evening Peak (17:00) identified as the most congested period, reaching approximately 2,800 transfers per hour [4]. These findings enable transit authorities to transition from reactive troubleshooting to proactive infrastructure improvement and adaptive scheduling [7].

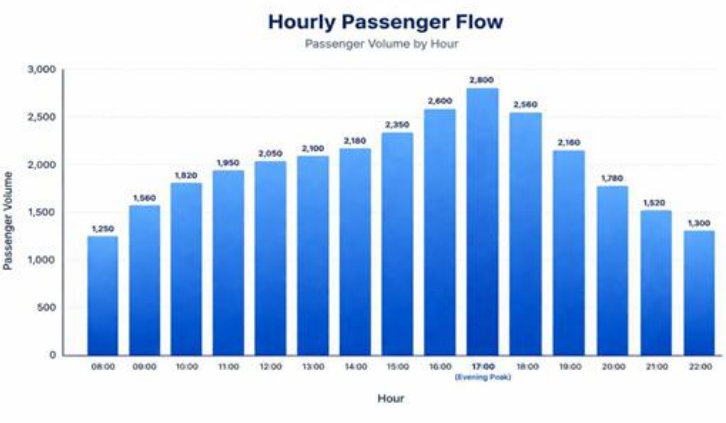


Fig. 3. Hourly passenger transfer volume in an urban transit hub [13]

V. CONCLUSION

A unified approach to evaluating bus-to-metro transfers helps overcome problems caused by fragmented data and design limitations in city centers [10]. This method uses a clear identification process with template creation, data synchronization, and statistical grouping to find high-traffic patterns in urban networks [1]. Multithreaded computing allows for quick data checks, keeping traffic flowing smoothly even during busy times [19].

REFERENCES

[1] European Commission, "Study on Public Transport Smartcards – Final Report on Interoperability," 2011.
[2] J. Zhao, A. Rahbee, and N. H. M. Wilson, "Estimating a rail passenger trip origin–destination matrix," 2007.
[3] M.-P. Pelletier, M. Trépanier, and C. Morency, "Smart card data use in public transit: A literature review," 2011.
[4] S. Jung, S. Kim, and B. Kahng, "Statistical analysis of the metropolitan Seoul subway system," 2008.
[5] J. Gordon, M. Koutsopoulos, and N. H. M. Wilson, "Automated inference of linked transit journeys," 2013.
[6] R. Meignan et al. (2021)
[7] S. Cats and O. Cats, "Transfer synchronization in public transport: A review," 2021.
[8] T. Liu, O. Cats, and K. Gkiotsalitis, "A review of public transport transfer coordination," 2021.
[10] A. Ceder, "Public Transit Planning and Operation: Modeling, Practice and Behavior," 2016.
[12] L. Ma, S. Sun, and Y. Chen, "Mining smart card data for transit riders' travel patterns," 2014.
[13] J. Zhao et al., "Estimation of passenger route choice pattern using smart card data," 2017.
[14] X. Di, H. X. Liu, and J. X. Ban, "Estimating dynamic passenger flows using transit smart card data," 2015.
[15] Nigel H. M. Wilson and Jinhua Zhao, "Inferring transit passenger-trips from entry-only smart card data," 2012.
[17] S. Cats, "Transfer synchronization in public transport: A review and future directions," 2021.
[18] K. Kusakabe and Y. Asakura, "Behavioral data mining of transit smart card data: A review," 2014.
[19] H. Li, Y. Zhao, and X. Zhu, "Big data analytics for urban transportation systems: A review," 2019.

THE ROLE OF SCFI, WCI AND CFI INDICES IN ASSESSING THE COST OF GLOBAL CONTAINER SHIPPING

Nicat Karimov
Baku Engineering University
Department of Logistic and Transport Technologies Engineering
Khirdalan, Azerbaijan
nkarimov@beu.edu.az
Hazi Akbarov
Baku Engineering University
Department of Logistic and Transport Technologies Engineering
Khirdalan, Azerbaijan
hekberov2@std.beu.edu.az

Abstract. The SCFI (Shanghai Containerized Freight Index), WCI (World Container Index) and Containerized Freight Index are key tools for analyzing and assessing the cost of global container shipping. They reflect the dynamics of freight rates on various international routes, taking into account seasonal fluctuations, the impact of global economic factors, as well as changes in supply and demand for container shipping. The use of these indices allows transport and logistics companies and freight forwarders to more accurately forecast costs, optimize routes, and plan logistics operations. In addition, these indices serve as a benchmark for strategic decision-making in international trade, ensuring market transparency and reducing risks associated with tariff fluctuations.
Keywords: SCFI, WCI, Containerized Freight Index, container shipping, freight rates, maritime logistics.

INTRODUCTION. The modern global economy is characterized by a high degree of integration and interdependence of countries through international trade. Container shipping occupies a key place in the global logistics system, ensuring the efficient and safe movement of cargo over long distances. Since the end of the 20th century, containerization has become the standard in international trade, which has significantly reduced transport costs, shortened delivery times, increased the predictability of logistics processes, and optimized supply chain management. The emergence of container shipping contributed to the standardization of cargo operations, reduction of losses and damage to goods, as well as the acceleration of cargo processing in ports and logistics centers.

In the context of freight rate volatility and the impact of external economic factors, such as fluctuations in fuel prices, seasonal demand peaks, changes in exchange rates, trade sanctions, global crises, and political-economic events, companies face the need for accurate and up-to-date tools for assessing shipping costs. These tools help transport companies and freight forwarders plan expenses, minimize financial and operational risks, ensure the resilience and flexibility of supply chains, and develop strategic decisions in the long term.

The SCFI (Shanghai Containerized Freight Index), WCI (World Container Index) and Containerized Freight Index are key indicators reflecting the dynamics of global container shipping and serving as benchmarks for market participants. SCFI is calculated based on rates for major routes from Shanghai ports to ports in Europe, the USA, and other strategically important regions, making it an important tool for assessing the cost of shipping from China. WCI accounts for global tariff changes on six key routes, analyzing supply and demand fluctuations in the global container shipping market, while the Containerized Freight Index aggregates data on international rates and is used to analyze general trends in the maritime shipping sector.

The use of these indices allows transport companies, freight forwarders, analysts, and researchers to track market changes, forecast freight rates, identify long-term trends, and make informed decisions to optimize logistics processes. In addition, the indices contribute to increased market transparency, the formation of competitive tariffs, risk management related to shipping cost changes, and ensuring the financial stability of companies.

The purpose of this work is to comprehensively study the role of SCFI, WCI and Containerized Freight Index in the formation of global container shipping costs, determine their significance for planning and optimizing international logistics, and analyze the impact of these indices on the strategic decisions of companies in the field of transport logistics. To achieve this goal, the work examines the history of the origin and development of each index, the methodology of their calculation, a comparative analysis of their indicators, and practical application in the current conditions of the global market. Special attention is also paid to analyzing the factors affecting tariff fluctuations, such as the global economic situation, the trade policies of major countries, and seasonal changes in demand for container shipping.

Thus, the study of SCFI, WCI and Containerized Freight Index is an important tool for understanding the mechanisms of container shipping cost formation, forecasting trends in the global market, and developing strategies for optimizing logistics processes in international trade.

LITERATURE REVIEW. SCFI was first introduced in the early 1990s and is designed to evaluate container shipping rates from the port of Shanghai to key world ports, including ports in Europe, the USA, Asia, and other strategically important regions [1][2][3]. SCFI tracks freight rates for 20- and 40-foot containers, takes

into account seasonal market fluctuations, the impact of global economic factors such as fuel price changes, currency fluctuations, and the dynamics of supply and demand [1][2]. SCFI is one of the most sensitive indicators, making it an important tool for forecasting shipping costs, planning logistics operations, and making strategic decisions in international trade [1].

WCI, developed by analytical company Drewry, covers six key container shipping routes between major world ports [3][4]. The index accounts for shipping tariffs, changes in supply and demand in the global market, as well as the impact of logistics, political-economic, and infrastructural factors such as trade agreements, sanctions, and modernization of port infrastructure [3][4]. WCI is a reliable tool for analyzing long-term trends in the container shipping market and forecasting tariff fluctuations on international routes [3]. WCI allows companies to formulate strategic plans, assess risks, and adapt business models to changes in the global market [3][4].

The Containerized Freight Index (CFI) aggregates data on international shipping and serves as a tool for analyzing general trends in the global container shipping market [4][5]. The use of CFI allows transport companies and freight forwarders to assess operational efficiency, optimize routes, form competitive tariffs, and develop pricing strategies [4][5]. CFI provides a systematic understanding of the global container shipping market, identifies growth directions and potential risk zones, and serves as a benchmark for long-term strategic planning [4][5].

The existing literature confirms that fluctuations in freight rates and indices are directly related to global economic conditions, including changes in oil prices, currency fluctuations, trade wars, pandemics, and supply chain crises [6][7]. The COVID-19 pandemic caused sharp spikes in SCFI and WCI, highlighting the vulnerability of global container logistics to external economic and political shocks [6]. Rising or falling freight rates often anticipate economic trends and reflect imbalances between supply and demand in the global container shipping market [1][3].

Analysis of SCFI, WCI and CFI allows companies, freight forwarders, and analysts to forecast shipping costs, manage logistics risks, and develop cost minimization strategies [1][3][4]. Integration of these indices into planning processes contributes to increased market transparency, efficient resource allocation, route optimization, and formation of strategically justified tariffs [1][3][4]. Systematic use of these indices allows companies to increase competitiveness, improve supply chain management, and maintain business resilience in conditions of global economic uncertainty [1][7].

In addition to practical applications, the indices also serve as an analytical tool for researchers and government agencies, allowing them to assess global trends, identify risks, and formulate recommendations for the development of transport and trade infrastructure [4][5][7]. Thus, SCFI, WCI and CFI represent comprehensive indicators that provide a thorough analysis of the global container shipping market and strategic planning at the international level [1][3][4][5][7].

ANALYSIS OF SCFI, WCI AND CFI INDICES: STATISTICAL TRENDS AND GRAPHICAL DYNAMICS

For the analysis of the state and dynamics of the global container shipping market, this work uses indicators of **Shanghai Containerized Freight Index (SCFI)**, **World Container Index (WCI)** and **Containerized Freight Index (CFI)**, which are widely used in international logistics practice as key indicators of freight rate changes [1-4]. These indices reflect spot rates for container shipping and allow identifying both short-term market fluctuations and long-term structural trends associated with changes in supply and demand in world trade [5-7, 12].

SCFI is an index calculated based on weekly data on container shipping rates from the port of Shanghai to major world ports. It includes tariffs for 20- and 40-foot containers and takes into account the total cost of shipping including various surcharges [2, 8]. Analysis of SCFI dynamics shows that in 2025, the index was predominantly in the range of 1400-1700 points, demonstrating moderate volatility compared to the extreme values recorded during 2021-2022 [1, 10, 18]. Historical data indicates that in early 2022, SCFI exceeded 5000 points, which was associated with supply chain disruptions, container shortages, and a sharp increase in shipping demand [3, 5, 6]. In subsequent years, the index gradually declined, reflecting the normalization of logistics processes and the easing of port infrastructure congestion [13, 11]. At the end of 2025, the SCFI value

of around 1650 points indicates a relative market stabilization and the formation of a new equilibrium level of freight rates [9, 15].

TABLE 1. WEEKLY REPORT OF CHİNA CONTAİNERİZED FREİGHT INDEX (CCFI)

Description	**Previous Index 2025-12-19**	**Current Index 2025-12-26**	**Weekly Growth (%)**
Composite Index	1124.73	1146.67	2%
Japan	964.14	967.47	0.3%
Europe	1473.9	1519.06	3.1%
America West Coast	792.06	788.12	-0.5%
America East Coast	863.28	876.54	1.5%
Korea	505.19	511.62	1.3%
Southeast Asia	1068.45	1089.38	2%
Mediterranean	1881.66	1984.35	5.5%
Australia / New Zealand	1114.67	1141.21	2.4%
South Africa	1069.89	1052.05	-1.7%
South America	604.67	574.81	-4.9%
West and East Africa	841.68	804.95	-4.4%
Persian Gulf / Red Sea	1299.14	1346.66	3.7%

Source: https://en.sse.net.cn/indices/ccfinew.jsp

World Container Index (WCI), calculated by the analytical company Drewry, characterizes the dynamics of spot rates on key international container shipping routes, including Asia-Europe and Asia-North America directions [4, 15]. This index is expressed in US dollars per 40-foot container and is used to assess the global level of tariffs [3, 9].

Analysis of WCI data shows that at the end of 2025, the index demonstrated gradual growth, reaching a level of approximately USD 2,200 per container [4, 15]. This is due to the seasonal increase in shipping demand at the end of the calendar year, as well as a partial reduction in carrying capacity on certain routes [6, 11]. At the same time, current WCI values are significantly lower than the peak levels of the pandemic period, when rates exceeded USD 10,000 per container, confirming the decline of extreme volatility and the transition of the market to a more stable phase of development [5, 14].



Fig. 1 Drewry World Container Index (USD per 40-foot container).

Source:https://www.drewry.co.uk/supply-chain-advisors/supply-chain-expertise/world-container-index-assessed-by-drewry?utm_source

Containerized Freight Index (CFI), published on the Trading Economics platform, is an aggregated indicator reflecting the overall state of the global container shipping market [9, 15]. This index accumulates data on major trade routes and allows assessing long-term trends in freight cost changes [3, 4].
Analysis of CFI time series shows significant fluctuations during 2022-2025 [5, 12]. The maximum values of the index were recorded in early 2022, when it exceeded 5100 points, followed by a sharp decline in 2023-2024 [14, 6]. In 2025, the index stabilized at approximately 1600-1700 points, indicating the completion of the post-crisis correction phase and the formation of a more balanced market [9, 15]. At the same time, the short-term growth of CFI in certain months of 2025 indicates the continued sensitivity of the market to demand changes, geopolitical factors, and seasonal fluctuations [12, 11].

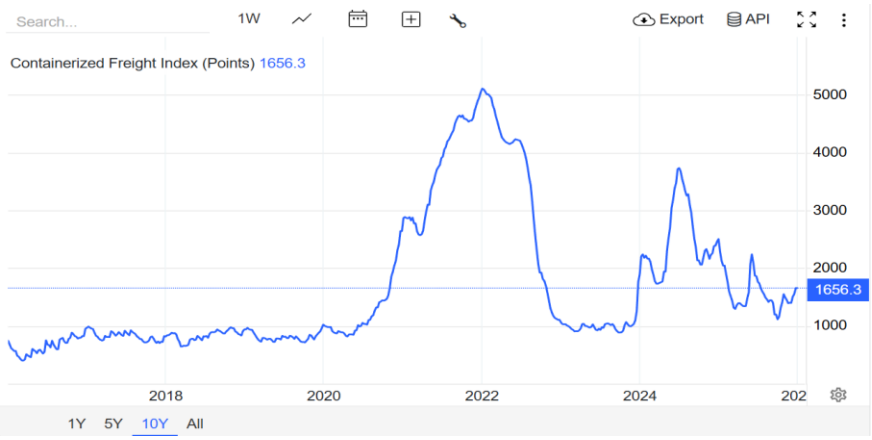


Fig. 2 *Containerized Freight Index — trading statistics.*

Source: https://tradingeconomics.com/commodity/containerized-freight-index

Comparative analysis of SCFI, WCI and CFI shows that all three indices demonstrate a similar direction of dynamics, but differ in the degree of sensitivity and market coverage [1-4, 9, 15]. **SCFI** responds most promptly to changes in China's export activity [1, 2, 8], **WCI** reflects the state of key international routes [3, 4, 15], while **CFI** provides a generalized picture of global trends [9, 15].
A combined analysis of the index data allows concluding that the container shipping market is currently characterized by reduced but persistent volatility, moderate rate growth, and a gradual transition to a more stable operating model [5, 6, 12]. The use of these indices for analytical and forecasting purposes contributes to a more accurate assessment of market risks, optimization of logistics solutions, and improved efficiency in managing international supply chains [11, 13, 14].

Conclusion

The study shows that **SCFI, WCI and Containerized Freight Index (CFI) indices** play a key role in assessing the global container shipping market and planning logistics solutions. These indices:

1. **Reflect market dynamics** – SCFI promptly shows changes in tariffs for exports from China, WCI tracks cost changes on major international routes, while CFI provides a generalized picture of global trends.
2. **Enable risk management** – The use of these indices helps assess the financial and operational risks of shipping and develop strategies to reduce the impact of tariff fluctuations.

3. **Optimize logistics planning** – Companies can effectively use SCFI, WCI and CFI data to forecast tariff changes and optimize shipping routes.
4. **Support strategic decision-making** – Indices serve as a reliable basis for long-term planning, resource allocation, and the formation of tariff policies in international trade and logistics.
5. **Enhance market transparency** – By providing information on tariff fluctuations and global trends, the indices contribute to increased market transparency and improved company competitiveness.

Thus, the SCFI, WCI and CFI indices are **important analytical tools for studying the cost structure of global container shipping, assessing market risks, and developing international logistics strategies**. Their systematic use enhances the competitiveness of companies, ensures the resilience of supply chains, and improves the efficiency of global logistics processes.

REFERENCES

1. Liu, X., Wang, J., & Xu, Y. (2021). *Analysis of the Shanghai Containerized Freight Index and its impact on global shipping rates*. Journal of Transport Economics, 45(3), 112-130.
2. Wang, Y., & Xu, Z. (2020). *SCFI fluctuations and logistics planning: Evidence from China's maritime transport*. Maritime Policy & Management, 47(5), 623-639.
3. Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2020). *The World Container Index: Trends, volatility and implications for global shipping*. Transport Reviews, 40(6), 753-775.
4. Drewry. (2022). *World Container Index & Containerized Freight Index Reports*. Drewry Shipping Consultants. Retrieved from https://www.drewry.co.uk
5. UNCTAD. (2021). *Review of Maritime Transport 2021*. United Nations Conference on Trade and Development. Geneva: UNCTAD.
6. Heaver, T., & Meersman, H. (2021). *Impact of COVID-19 on global container shipping and logistics*. International Journal of Shipping and Transport Logistics, 13(4), 289-310.
7. Rodrigue, J.-P. (2020). *The geography of transport systems* (5th ed.). New York: Routledge.
8. Shanghai Shipping Exchange. (2025). *Shanghai Containerized Freight Index (SCFI)*. Retrieved from https://en.sse.net.cn/indices/scfinew.jsp
9. Trading Economics. (2025). *Containerized Freight Index*. Retrieved from https://tradingeconomics.com/commodity/containerized-freight-index
10. Stopford, M. (2021). *Maritime Economics* (4th ed.). London: Routledge.
11. Cullinane, K., & Khanna, M. (2020). *Shipping and global logistics: Trends and challenges*. International Journal of Logistics Research and Applications, 23(2), 95-115.
12. Fan, L., & Meng, Q. (2021). *Impact of container freight index volatility on supply chain risk management*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 150, 102321.
13. Brooks, M., & Pallis, A. (2020). *Container shipping and market dynamics*. Research in Transportation Business & Management, 36, 100467.
14. UNCTAD. (2020). *Maritime transport review: Container shipping and world trade*. United Nations Conference on Trade and Development, Geneva.
15. Drewry. (2021). *Container Freight Market Insight: Weekly and Monthly Analysis*. Drewry Shipping Consultants. Retrieved from https://www.drewry.co.uk
16. World Bank. (2023). *Connecting to Compete 2023: Trade Logistics in the Global Economy - Logistics Performance Index (LPI) and Its Indicators*. World Bank.
17. Slack, B., & Frémont, A. (2020). *Global container port governance and performance indicators*. Maritime Policy & Management, 47(7), 829-847.
18. He, P., & Yin, J. (2021). *Forecasting container freight rates using SCFI data: An econometric approach*. Transportation Research Part A, 148, 29-44.
19. Notteboom, T., & Pallis, A. (2020). *Port economics, policy and management in a global context*. Routledge, London.
20. Rodrigue, J.-P., & Notteboom, T. (2021). *The geography of containerized shipping and port logistics*. Journal of Transport Geography, 93, 103023.

MULTİMODAL DAŞIMALARDA HÜQUQİ TƏNZİMLƏMƏ PROBLEMLƏRİ

Nofəl Nəbiyev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
nnabiyev@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan
Əhməd Əhmədov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
ahmadovahmad71@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Tədqiqat işində müasir logistikanın xarakteri multimodal operatorun (MTO) risk profilini qeyri-müəyyən edir. Problemin həlli kimi "Rotterdam Qaydaları"nın fəlsəfəsinə uyğunlaşdırılmış milli qanunvericilik və rəqəmsal konosamentlərin tətbiqi mexanizmləri təklif olunur.
***Açar sözlər*:** *multimodal daşımalar, hüquqi vakuum, daşıma sənədlərinin vahidliyi, logistik risklər.*

I. GİRİŞ

Müasir qlobal iqtisadiyyatın transformasiyası yüklərin bir nöqtədən digərinə çatdırılmasında sürət və səmərəlilik amillərini ön plana çıxarmışdır. Bu kontekstdə multimodal daşımalar — yəni vahid müqavilə əsasında ən azı iki fərqli nəqliyyat növünün inteqrasiyası — logistik zəncirin ən mürəkkəb və strateji seqmentinə çevrilmişdir. Lakin texnoloji tərəqqi və multimodal operatorların (MTO) fəaliyyət dairəsinin genişlənməsi, mövcud hüquqi bazanın bu sürətə adaptasiya ola bilməməsi problemini kəskinləşdirmişdir. Hazırda bu sahəni tənzimləyən vahid və icbari beynəlxalq rejimin yoxluğu, "hüquqi fraqmentasiya" (parçalanma) şəraitini yaradır ki, bu da həm daşıyıcı, həm də yük sahibi üçün ciddi risklər doğurur [1].

Multimodal daşımaların tənzimlənməsindəki əsas çətinlik ondan ibarətdir ki, hər bir nəqliyyat seqmenti (dəniz, hava, quru, dəmiryolu) özünəməxsus və bir-birindən fərqlənən beynəlxalq konvensiyalarla idarə olunur. Məsələn, dəniz daşımalarında "Haaqa-Visbi" qaydaları, beynəlxalq avtomobil daşımalarında "CMR", dəmiryolu nəqliyyatında isə "CİM" normaları üstünlük təşkil edir. Bu normalar arasında məsuliyyət limitləri, zərərin sübut edilməsi qaydaları və iddia müddətləri kəskin fərqlənir. Azərbaycan Respublikasının tranzit potensialının artdığı və "Orta dəhliz" layihəsinin aktuallaşdığı bir dövrdə, multimodal daşımalarda yaranan bu hüquqi ziddiyyətlərin elmi analizi və həlli yollarının müəyyənləşdirilməsi həm akademik, həm də praktiki baxımdan xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

II. Multimodal daşıma operatorunun statusu və məsuliyyət modelləri

Multimodal daşımada əsas fiqur olan Multimodal Daşıma Operatoru (MTO) sadəcə bir logistika vasitəçisi deyil. O, yük sahibi qarşısında bütün səfər boyu "əsas tərəf" (principal) kimi çıxış edir və yükün itməsi, zədələnməsi və ya gecikməsinə görə birbaşa məsuliyyət daşıyır. Bu statusun hüquqi təbiəti beynəlxalq praktikada fərqli doktrinalar vasitəsilə izah olunur [2]. Lakin MTO-nun bu məsuliyyətinin hansı hüquqi çərçivədə müəyyən edilməsi ilə bağlı dünyada bir neçə ziddiyyətli model mövcuddur:

1. **Şəbəkəvari məsuliyyət sistemi:** Bu model hazırda ən geniş yayılmış tənzimləmə formasıdır. Burada əsas prinsip ondan ibarətdir ki, əgər yükün zədələnmə yeri məlumdursa, həmin mərhələyə aid olan unimodal (tək növlü) konvensiya tətbiq edilir. Lakin bu sistemin ən böyük qüsuru "gizli zərər" hallarında üzə çıxır. Əgər konteyner daxilindəki yükün tam olaraq harada — gəmidə, yoxsa qatarda zədələndiyi bilinmirsə, tərəflər arasında uzunmüddətli hüquqi mübahisələr yaranır.
2. **Vahid məsuliyyət sistemi:** Bu sistem zərərin harada baş verməsindən asılı olmayaraq, MTO üçün sabit və vahid məsuliyyət limiti nəzərdə tutur. 1980-ci il BMT-nin Multimodal Daşımalar haqqında Konvensiyası məhz bu prinsipi təşviq etsə də, dövlətlərin öz milli nəqliyyat maraqlarını qorumaq istəyi bu sənədin qüvvəyə minməsinə mane olmuşdur.

3. **Dəyişdirilmiş sistem:** Bəzi müasir müqavilələrdə tətbiq olunan bu model, həm beynəlxalq normaları, həm də tərəflərin xüsusi razılaşmalarını birləşdirərək hüquqi boşluqları müqavilə yolu ilə doldurmağa çalışır.



Şəkil 1. Multimodal daşıma operatorunun fəaliyyəti

III. Beynəlxalq konvensiyaların toqquşması və "məsuliyyət boşluğu"

Multimodal daşımaların vahid hüquqi rejimə malik olmaması nəticəsində yaranan ən böyük problem konvensiyalar arasındakı "kompensasiya uçurumu" və prosessual ziddiyyətlərdir. Məlumdur ki, hər bir nəqliyyat növü üzrə daşıyıcının məsuliyyət limiti və azad olma şərtləri fərqlidir. Məsələn, dəniz daşımalarında daşıyıcının məsuliyyəti adətən yükün çəkisinə görə (Haaqa-Visbi qaydaları ilə hər kiloqrama görə 4.5₼) kifayət qədər aşağı müəyyən edildiyi halda, avtomobil daşımalarında (CMR) bu limit 19₼, hava nəqliyyatında isə (Monreal Konvensiyası) 50.10₼-a qədər yüksəlir. Bu kəskin fərqlilik logistik zəncirdə "hüquqi qeyri-müəyyənlik" yaradır. Əgər yükün zədələnməsi bir neçə nəqliyyat növünün kəsişməsində baş verərsə, "yurisdiksiyalararası konflikt" qaçılmaz olur. Yük sahibi təbii olaraq daha yüksək kompensasiya almaq üçün zərərin quruda və ya havada baş verdiyini sübut etməyə çalışır. Operator isə əksinə, məsuliyyətini ən aşağı limitli rejimə — adətən dəniz hüququ normaları daxilinə — çəkməyə cəhd edir. Bu toqquşma nəinki məhkəmə xərclərini artırır, həm də sığorta şirkətlərinin riskləri qiymətləndirməsini qeyri-mümkün edir, çünki eyni yük üçün sığorta mükafatı hansı konvensiyanın tətbiq olunacağından asılı olaraq dəfələrlə dəyişə bilər.

Daha bir mürəkkəb məqam "iddia müddətləri" ilə bağlıdır. Multimodal marşrutun dəniz hissəsində iddia müddəti 1 il olduğu halda, digər nəqliyyat növlərində bu müddət 2 və ya 3 il ola bilər. Əgər multimodal operator dəniz daşıyıcısına qarşı reqres iddiası irəli sürmək istəyirsə, lakin zərər dəniz mərhələsindən çox sonra aşkarlanıbsa, o, artıq dəniz konvensiyasının müəyyən etdiyi qısa iddia müddətini qaçırmış olur. Beləliklə, operator yük sahibi qarşısında məsuliyyət daşısa da, faktiki günahkar olan sub-daşıyıcıya (məsələn, dəniz xəttinə) qarşı hüquqi tələb irəli sürə bilmir. Bu, logistika bazarında "məsuliyyət boşluğu" (liability gap) adlanan maliyyə itkilərinə səbəb olur.

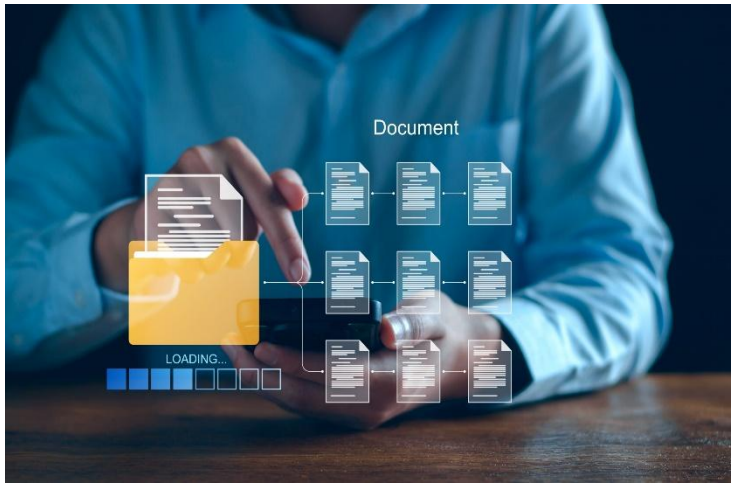
Hüquqi "toqquşmaların" digər bir tərəfi isə azad olma hallarıdır. Dəniz hüququnda daşıyıcı "naviqasiya xətası"na (sürücülük səhvi) görə məsuliyyətdən azad ola bildiyi halda, quru və ya hava nəqliyyatında bu cür geniş azadolma halları mövcud deyil. Multimodal daşıma zamanı hadisənin hansı hüquqi rejim altında qiymətləndirilməsi, daşıyıcının tam məsuliyyət daşıması və ya tamamilə azad olması arasında kəskin fərq yaradır. 2008-ci ildə qəbul edilən "Rotterdam Qaydaları" bu xaosu aradan qaldırmaq üçün "dəniz plus digər növlər" prinsipini tətbiq edərək, dəniz daşımalarını quru seqmentləri ilə hüquqi cəhətdən sintez etməyə çalışır. Lakin bir çox tranzit ölkələrin hələ də bu konvensiyaya qoşulmaması multimodal daşıma müqavilələrinin hələ də parçalanmış (fragmented) qanunlar toplusu tərəfindən idarə olunmasına səbəb olur [3].

Nəticə etibarilə, beynəlxalq konvensiyaların bu cür "toqquşması" nəqliyyat dəhlizlərinin rəqabət qabiliyyətinə mənfi təsir göstərir. Tərəflər hüquqi riskləri öncədən proqnozlaşdıra bilmədikləri üçün yükdaşıma tariflərinə əlavə "risk marjaları" əlavə edirlər ki, bu da son nəticədə multimodal daşımaların maya dəyərini süni şəkildə artırır.

IV. Rəqəmsal sənəd dövriyyəsi və hüquqi tanınma problemləri

Rəqəmsallaşma multimodal daşımaların ayrılmaz hissəsidir, lakin hüquqi tənzimləmə texnologiyadan geri qalır. Multimodal daşımalarda vahid bir konosamentin (Bill of Lading) həm dənizdə, həm də quruda eyni hüquqi qüvvəyə malik olması hələ də bir çox milli qanunvericiliklərdə problem olaraq qalır.

Blockchain texnologiyası və IoT (Əşyaların İnterneti) vasitəsilə yükün hərəkətinə real vaxtda nəzarət etmək mümkün olsa da, elektron sənədlərin (e-BOL, e-CMR) məhkəmə tərəfindən sübut kimi tanınması mexanizmləri bəzi ölkələrdə zəifdir. Elektron sənədin "mülkiyyət hüququnu ötürmə" funksiyası klassik kağız daşıyıcılarından fərqli olaraq, kiber-təhlükəsizlik və rəqəmsal imza qanunvericiliyi ilə birbaşa bağlıdır. Azərbaycanın yerli qanunvericiliyində bu sahədə müəyyən addımlar atılsa da, multimodal daşımalarda rəqəmsal sənədlərin beynəlxalq tanınması hələ də tam həllini tapmamışdır [4].



Şəkil 2. Elektron sənəd

V. Mövcud problemlər

Multimodal daşımaların hüquqi tənzimlənməsində aşağıdakı kritik problemlər qalmaqdadır:

- **Hüquqi müxtəliflik**: Vahid beynəlxalq statusun yoxluğu səbəbindən operatorun statusunun hər ölkədə fərqli şərh edilməsi.
- **Gizli zərərin sübutu**: Yükün qapalı konteyner daxilində zədələnmə anının və yerinin müəyyən edilə bilməməsi.
- **Məsuliyyət limitlərinin qeyri-mütənasibliyi**: Nəqliyyat növləri arasında kompensasiya məbləğlərinin kəskin fərqlənməsi.
- **İddia müddətləri**: Müxtəlif konvensiyalarda iddia müddətlərinin (9 aydan 2 ilə qədər) fərqli olması nəticəsində yük sahibinin vaxt itirməsi və hüquqlarını itirmə riski.
- **Gömrük və sərhəd maneələri**: Vahid multimodal sənəd standartının olmaması səbəbindən yaranan bürokratik gecikmələr.

VI. Təkliflər

- **Milli qanunvericiliyin harmonizasiyası**: Azərbaycanın "Nəqliyyat haqqında" qanununa multimodal daşıma operatorunun hüquqi statusu və məsuliyyət hədləri ilə bağlı beynəlxalq standartlara uyğun əlavələr edilməlidir.
- **Vahid məsuliyyət rejiminə keçid**: Daxili və regional daşımalar üçün zərərin harada baş verməsindən asılı olmayaraq vahid tarif və kompensasiya limiti müəyyən edilməlidir.
- **Rəqəmsal konosamentlərin təşviqi**: Elektron nəqliyyat sənədlərinin hüquqi legitimliyi artırılmalı və onların kağız sənədlərlə tam hüquqi bərabərliyi təmin olunmalıdır.

- **Regional əməkdaşlıq**: Avropa-Qafqaz-Asiya nəqliyyat dəhlizi və Orta dəhliz çərçivəsində üzv ölkələr arasında multimodal daşımalar üzrə vahid hüquqi prosedur qaydaları (vahid sənəd və vahid məsuliyyət) qəbul edilməlidir.
- **İxtisaslaşmış arbitraj**: Multimodal daşıma mübahisələrini operativ həll etmək üçün logistika üzrə ixtisaslaşmış arbitraj məhkəmələrinin fəaliyyəti dəstəklənməlidir. Bu sahədə aparılan elmi tədqiqatlar göstərir ki, hüquqi tənzimləmənin təkmilləşdirilməsi nəqliyyat xərclərinin 15-20% azalmasına səbəb ola bilər [5].

VII. NƏTİCƏ

Tədqiqat göstərir ki, multimodal daşımalarda hüquqi tənzimləmə problemləri yalnız logistik səmərəliliyə deyil, həm də tərəflərin hüquqi təhlükəsizliyinə birbaşa təsir edir. Vahid beynəlxalq rejimin yoxluğu və konvensiyalar arasındakı ziddiyyətlər müasir nəqliyyat sisteminin qarşısında duran əsas maneədir. Lakin rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi və milli qanunvericiliklərin müasir standartlara uyğunlaşdırılması bu boşluqların doldurulmasına imkan verir. Azərbaycan üçün bu sahədə hüquqi islahatların aparılması, ölkənin beynəlxalq tranzit mərkəzi kimi mövqeyini möhkəmləndirəcək və yükdaşıma proseslərində şəffaflığı təmin edəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT

[1] UNCTAD, "Ad Hoc Expert Meeting on the Liability and Compensation in International Multimodal Transport," Geneva, 2024.
[2] "International Carriage of Goods by Lane, Sea and Air" - J. Wilson, 2022.
[3] Convention on the Contract for the International Carriage of Goods by Road (CMR) and its Protocol.
[4] "Nəqliyyat hüququ: Multimodal daşımaların hüquqi əsasları" – T. Quliyev, Bakı, 2023.
[5] FIATA - Model Rules for Multimodal Transport Services.

AVROPA İTTİFAQINA İNTEQRASİYA ŞƏRAİTİNDƏ NƏQLİYYAT-LOGİSTİKA SİSTEMLƏRİNİN İNKİŞAFININ MÜASİR MEYİLLƏRİ

Nicat Kərimov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
nkarimov@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Amil Şükürzadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
amilshukurzade@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalədə qlobal iqtisadi münasibətlərin transformasiyası fonunda beynəlxalq nəqliyyat-logistika sistemlərinin təkamülü və Avropa İttifaqının (Aİ) bu sahədə formalaşdırdığı strateji hədəflər kompleks şəkildə tədqiq olunur. Tədqiqatın aktuallığı, Aİ-nin vahid nəqliyyat məkanına inteqrasiya proseslərinin milli logistika sistemlərinin rəqabət qabiliyyətinə göstərdiyi birbaşa təsirlərlə şərtlənir.

Məqalədə müasir dövrün əsas çağırışları olan "Logistika 4.0" konsepsiyası, nəqliyyat əməliyyatlarının rəqəmsallaşdırılması və "Avropa Yaşıl Sövdələşməsi"ndən (European Green Deal) irəli gələn dekarbonizasiya meyilləri təhlil edilir. Xüsusilə, Trans-Avropa Nəqliyyat Şəbəkəsinin (TEN-T) genişləndirilməsi fonunda

multimodal daşımaların optimallaşdırılması və "ağıllı" logistika mərkəzlərinin rolu nəzərdən keçirilir. Eyni zamanda, məqalədə bu meyillərin Azərbaycanın beynəlxalq tranzit dəhlizlərindəki mövqeyinə və Aİ standartlarına uyğunlaşma perspektivlərinə təsiri elmi-nəzəri baxımdan əsaslandırılır. Tədqiqatın nəticəsi olaraq, inteqrasiya proseslərinin sürətləndirilməsinin yükdaşımalarda vaxt və xərc itkisinin minimuma endirilməsindəki əhəmiyyəti vurğulanır.
Açar sözlər**:** *nəqliyyat-logistika sistemləri, Avropa İttifaqı, rəqabət qabiliyyəti, yaşıl logistika, multimodal daşımalar, TEN-T*

I. GİRİŞ

Müasir qlobal iqtisadiyyatda nəqliyyat və logistika sistemləri dövlətlərin ticarət əlaqələrinin, iqtisadi təhlükəsizliyinin və rəqabət qabiliyyətinin əsas sütununu təşkil edir. İqtisadi qloballaşma şəraitində malların istehsal məntəqələrindən istehlak bazarlarına çatdırılması prosesi təkcə fiziki infrastrukturdan deyil, həm də yüksək texnologiyalı idarəetmə və hüquqi tənzimləmə mexanizmlərindən asılıdır. Avropa İttifaqı (Aİ) Azərbaycanın xarici ticarətində strateji tərəfdaş olmaqla yanaşı, yükdaşımaların coğrafiyasının şaxələndirilməsində və enerji daşıyıcılarının təchizatında mühüm rol oynayır [1].

Lakin qlobal tədarük zəncirlərində baş verən kəskin transformasiyalar, xüsusilə "Logistika 4.0" texnologiyalarının tətbiqi və dayanıqlı inkişaf tələbləri, region ölkələri qarşısında yeni çağırışlar qoyur. Müasir dövrdə logistika sistemlərinin sadəcə sürətli deyil, həm də ətraf mühitə zərərsiz olması tələbi ön plana çıxıb [2].

Bu kontekstdə, nəqliyyat siyasətinin əsas istiqamətlərindən biri "Avropa Yaşıl Sövdələşməsi" çərçivəsində ekoloji standartlara keçid və yükdaşımaların səmərəliliyinin artırılmasıdır. Azərbaycanın beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinə inteqrasiyası və Trans-Avropa Nəqliyyat Şəbəkəsi (TEN-T) ilə sinxronizasiyası, ölkənin tranzit potensialını beynəlxalq standartlara uyğun reallaşdırmaq üçün zəruri şərtdir [3].

Bununla belə, Azərbaycan-Aİ marşrutları üzrə yükdaşımaların rəqabət qabiliyyətinin artırılması hələ də aktual və kompleks bir məsələ olaraq qalır. Davamlı və ağıllı mobillik strategiyasına uyğun olaraq multimodal daşımaların payının artırılması, gömrük və sərhəd-keçid məntəqələrindəki bürokratik əngəllərin rəqəmsallaşma vasitəsilə aradan qaldırılması, habelə logistik xərclərin optimallaşdırılması qarşıda duran strateji vəzifələrdəndir [4].

Bu məqalənin əsas məqsədi Avropa İttifaqına inteqrasiya prosesləri fonunda nəqliyyat-logistika sistemlərinin inkişaf meyillərini təhlil etmək, Azərbaycanın mövcud infrastrukturunun bu meyillərə uyğunluğunu qiymətləndirmək və dəhlizlərin rəqabət qabiliyyətini artıran əsas amilləri müəyyənləşdirməkdir.

II. Avropa İttifaqına inteqrasiya kontekstində nəqliyyat-logistika sistemlərinin inkişaf meyilləri

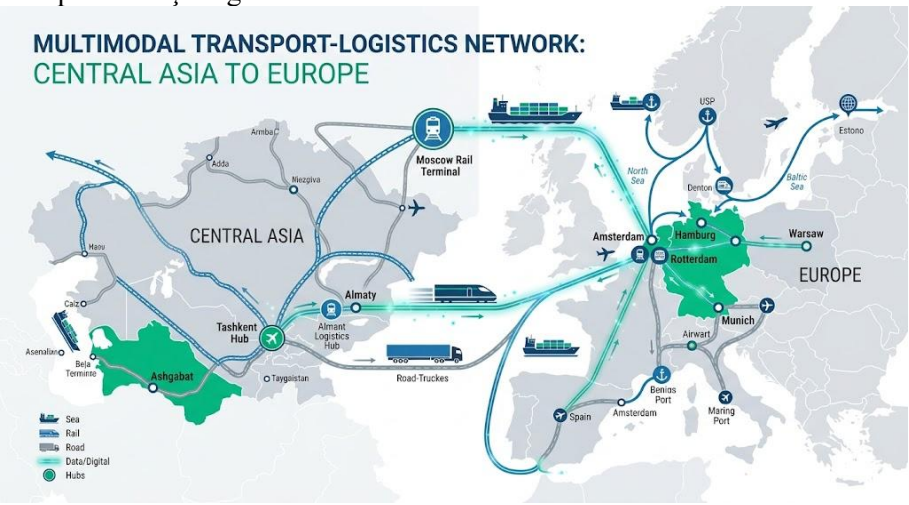
Avropa İttifaqının (Aİ) nəqliyyat siyasəti ilə inteqrasiya prosesi sadəcə infrastrukturun fiziki birləşdirilməsini deyil, həm də idarəetmə standartlarının, texnoloji tətbiqlərin və ekoloji tələblərin uyğunlaşdırılmasını nəzərdə tutur. Hazırda qlobal logistika sistemlərində müşahidə olunan ən mühüm meyillərdən biri "Rəqəmsal Təchizat Zənciri" (Digital Supply Chain) modelinə keçiddir. Bu proses beynəlxalq ticarətdə gömrük prosedurlarının avtomatlaşdırılmasını, elektron sənəd dövriyyəsinin (e-CMR) tətbiqini və "ağıllı" sərhəd-keçid məntəqələrinin yaradılmasını tələb edir [5].

Digər tərəfdən, Aİ-nin "Avropa Yaşıl Sövdələşməsi" çərçivəsində nəqliyyat sektorunda dekarbonizasiya hədəfləri logistika sistemlərinin inkişaf vektorunu köklü şəkildə dəyişir. Müasir dövrdə logistika şirkətləri üçün "Yaşıl Dəhlizlər" (Green Corridors) konsepsiyası prioritet istiqamətə çevrilmişdir. Bu konsepsiya ətraf mühitə vurulan zərərin minimallaşdırılması ilə yanaşı, daşımaların səmərəliliyinin artırılmasını və multimodal daşımaların (avtomobil, dəmir yolu və dəniz nəqliyyatının inteqrasiyası) payının optimallaşdırılmasını hədəfləyir [6].

İnfrastrukturun inkişafı baxımından Trans-Avropa Nəqliyyat Şəbəkəsinin (TEN-T) genişləndirilməsi region ölkələri, o cümlədən Azərbaycan üçün strateji əhəmiyyət kəsb edir. Tədqiqatlar göstərir ki, Aİ-nin nəqliyyat şəbəkəsinə inteqrasiya edən ölkələrdə infrastrukturun standartlaşdırılması logistik xərclərin 15-20% azalmasına və çatdırılma müddətinin qısalmasına birbaşa təsir göstərir [7].

Azərbaycanın Avropa ilə nəqliyyat əlaqələrində "Orta Dəhliz" (Middle Corridor) çərçivəsində rəqəmsal platformaların tətbiqi və gömrük tranzit prosedurlarının sadələşdirilməsi, məhz Aİ standartlarına inteqrasiyanın vacib elementləridir. Regional logistika sistemlərinin beynəlxalq tələblərə uyğunlaşdırılması, həmçinin yük

axınlarının şəffaflığını təmin edərək rəqabət mühitini daha əlverişli edir [8]. Beləliklə, inteqrasiya prosesi təkcə fiziki infrastrukturun genişləndirilməsi deyil, həm də institusional islahatların və yeni nəsil texnologiyaların tətbiqi ilə birbaşa bağlıdır.



Şəkil 1. Mərkəzi Asiya-Avropa multimodal nəqliyyat-logistika şəbəkəsinin infoqrafik sxemi

III. Azərbaycandan avropa ittifaqı ölkələrinə yük daşımalarının mövcud vəziyyəti

Azərbaycanın coğrafi yerləşməsi onun Avrasiya nəqliyyat xəritəsində mühüm tranzit qovşağına çevrilməsinə və regionun nəqliyyat arxitekturasında strateji oyunçu kimi çıxış etməsinə şərait yaradır. Xüsusilə, Orta Dəhliz (Trans-Xəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutu) kimi beynəlxalq layihələr Azərbaycanı Şərq ilə Qərb arasında yükdaşımaların həyata keçirilməsi üçün ən təhlükəsiz və səmərəli əlaqələndirici vasitəyə çevirərək, ölkənin tranzit potensialını gücləndirir [9].

Ölkənin Avropa İttifaqı ilə ticarət dövriyyəsində nəqliyyat-logistika komponentinin payı artsa da, beynəlxalq yükdaşımaların effektivliyinə və sürətinə mane olan bəzi texniki-inzibati çətinliklər hələ də öz aktuallığını saxlayır. Xəzər dənizindəki gəmiçilik imkanlarının məhdudluğu və limanların ötürmə qabiliyyətinin tam optimallaşdırılmaması, yükdaşımaların vaxtında və maneəsiz həyata keçirilməsini ləngidən əsas texniki amillər sırasındadır [10].

Rəqabət mühitinin gücləndirilməsi və beynəlxalq daşıyıcıların bu marşrutlara cəlb edilməsi üçün gömrük-keçid məntəqələrində rəqəmsal transformasiyanın tətbiqi və gömrük prosedurlarının sadələşdirilməsi strateji prioritet daşıyır. Yükdaşımaların şəffaflığının artırılması, tariflərin optimallaşdırılması və beynəlxalq standartlara uyğun logistik xidmətlərin göstərilməsi, Azərbaycanın regional nəqliyyat dəhlizlərindəki rəqabət üstünlüklərini qorumaq üçün həlledici rol oynayır [11].

IV. Mövcud problemlər

Mövcud infrastrukturun vəziyyəti təhlil edilərkən məlum olur ki, Azərbaycanın tranzit dəhlizlərində bəzi texniki darboğazlar hələ də yükdaşımaların tam gücü ilə həyata keçirilməsinə mane olur. Xüsusilə, dəmir yolu xətlərinin müəyyən hissələrindəki ötürmə qabiliyyətinin məhdudluğu və vaqon parkının müasir tələblərə tam cavab verməməsi, yüklərin Avropa bazarlarına çatdırılma müddətini və xidmət keyfiyyətini aşağı salan əsas texniki çətinliklərdən biridir [12].

Bununla yanaşı, sərhəd-keçid və gömrük prosedurlarının tam rəqəmsallaşdırılmaması və müxtəlif nəqliyyat növləri arasında sənəd mübadiləsinin (e-CMR, e-TIR) hələ də tam inteqrasiya olunmaması logistik zəncirin effektivliyini azaldır. Beynəlxalq standartlara uyğun elektron sənəd dövriyyəsinin və "vahid pəncərə" sisteminin regional miqyasda tam tətbiq edilməməsi, tranzit zamanı inzibati yubanmalara və nəticədə ümumi logistik xərclərin süni şəkildə artmasına səbəb olur [13].

Digər mühüm problem isə Orta Dəhliz boyu iştirakçı ölkələr arasında vahid və rəqabətədavamlı tarif siyasətinin formalaşdırılmasındakı çətinliklərdir. Regional tərəfdaşlar arasında tranzit tariflərinin sinxronlaşdırılmaması və bəzi hallarda logistik xərclərin digər alternativ (məsələn, Şimal) marşrutlarla

müqayisədə yüksək olması, beynəlxalq daşıyıcıların Azərbaycan üzərindən keçən dəhlizlərə marağını məhdudlaşdıran əsas iqtisadi amil kimi qiymətləndirilir [14].

V. Təkliflər

Azərbaycanın Avropa İttifaqı ilə nəqliyyat-logistika əlaqələrinin keyfiyyətcə yeni mərhələyə keçməsi üçün aşağıdakı istiqamətlərdə kompleks islahatların aparılması məqsədəuyğun hesab edilir:

- Rəqəmsal Logistika Ekosisteminin Qurulması: Sərhəd-keçid prosedurlarının sürətləndirilməsi üçün "vahid pəncərə" sisteminin tam rəqəmsallaşdırılması və blokçeyn texnologiyasına əsaslanan elektron sənəd dövriyyəsinin (e-CMR) bütün tranzit dəhlizi boyu tətbiqi mütləqdir. Bu, həm şəffaflığı artıracaq, həm də inzibati yubanmalardan qaynaqlanan əlavə xərcləri minimuma endirəcəkdir.
- "Yaşıl" Logistika və İnnovasiyaların Tətbiqi: Avropa İttifaqının ekoloji standartlarına (Green Deal) uyğunlaşmaq məqsədilə logistika zəncirində alternativ enerji mənbələrindən istifadə edən nəqliyyat vasitələrinin payı artırılmalıdır. Liman və terminal infrastrukturunun "Smart Port" (Ağıllı Liman) konsepsiyasına uyğun qurulması enerji səmərəliliyini təmin etməklə yanaşı, Azərbaycanın beynəlxalq "yaşıl dəhlizlər"dəki nüfuzunu gücləndirə bilər.
- Tarif Siyasətinin Unifikasiyası: Orta Dəhliz çərçivəsində iştirakçı ölkələrlə birlikdə vahid, rəqabətədavamlı və proqnozlaşdırıla bilən tarif modelinin yaradılması zəruridir. Mövsümi və yük növünə görə diferensiallaşdırılmış tariflərin tətbiqi beynəlxalq yükdaşıyıcıların bu marşruta marağını stimullaşdıran əsas iqtisadi rıçaq ola bilər.
- Multimodal İnfrastrukturun Genişləndirilməsi: Yalnız dəmir yolu və dəniz nəqliyyatı ilə kifayətlənməyib, avtomobil yollarının və logistik mərkəzlərin (terminal-anbar sistemlərinin) vahid rəqəmsal şəbəkədə birləşdirilməsi təmin edilməlidir. Bu, yüklərin bir nəqliyyat növündən digərinə keçid müddətini qısaldacaq və "qapıdan-qapıya" çatdırılma xidmətinin keyfiyyətini yüksəldəcəkdir.
- Kadr Potensialının Müasirləşdirilməsi: Logistika 4.0-ın tələblərinə cavab verən, beynəlxalq nəqliyyat hüququna və müasir təchizat zənciri idarəçiliyinə bələd olan mütəxəssislərin hazırlanması prosesi sürətləndirilməlidir. İntellektual nəqliyyat sistemlərinin idarə olunması sahəsində elmi-tədqiqat işlərinin praktiki tətbiqi dəstəklənməlidir.

VI. NƏTİCƏ

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, Azərbaycanın beynəlxalq yükdaşımalar bazarında rəqabət qabiliyyətinin artırılması təkcə fiziki infrastrukturun genişləndirilməsi ilə deyil, həm də logistika sistemlərinin keyfiyyətcə yeni, intellektual müstəviyə keçidi ilə birbaşa bağlıdır. Avropa İttifaqına inteqrasiya prosesləri fonunda "Logistika 4.0" texnologiyalarının və "Yaşıl Dəhliz" prinsiplərinin tətbiqi artıq seçim deyil, qlobal rəqabətdə sağ qalmaq üçün zərurətə çevrilmişdir.

Yekun olaraq qeyd etmək lazımdır ki, Azərbaycan-Aİ nəqliyyat marşrutlarının səmərəliliyi rəqəmsallaşma, tariflərin unifikasiyası və multimodal daşımaların optimallaşdırılmasından asılıdır. Təklif olunan islahatların kompleks şəkildə həyata keçirilməsi, Orta Dəhlizin alternativsiz bir tranzit xətti kimi mövqeyini möhkəmləndirməklə yanaşı, Azərbaycanın qlobal tədarük zəncirindəki strateji rolunu və iqtisadi dividendini əhəmiyyətli dərəcədə artıracaqdır. Ölkənin nəqliyyat-logistika sisteminin beynəlxalq standartlara tam uyğunlaşdırılması, həmçinin xarici investisiyaların cəlb edilməsi və qeyri-neft sektorunun inkişafı üçün yeni perspektivlər açacaqdır.

ƏDƏBİYYAT

[1] European Commission. (2019). The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels: COM(2019) 640 final.

[2] Hofmann, E., & Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. Computers in Industry, Vol. 89, pp. 23-34.

[3] European Parliament. (2021). Revision of the Trans-European Transport Network (TEN-T) Regulation. Briefing. European Parliamentary Research Service.

[4] European Commission. (2020). Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2020) 789 final.
[5] World Bank. (2023). Digital Trade Facilitation: Enhancing Connectivity and Logistics Efficiency. World Bank Publications.
[6] Rodrigue, J.-P. (2020). The Geography of Transport Systems. 5th Edition, Routledge.
[7] OECD. (2022). Infrastructure Connectivity and Trade Costs: A Global Perspective. OECD Publishing.
[8] TRACECA. (2024). Development of the Transport Corridor Europe-Caucasus-Asia: Challenges and Opportunities. Regional Office Report.
[9] World Bank. (2024). The Middle Corridor: Potential and Challenges for Connectivity. Transport and ICT Global Practice.
[10] İqtisadi İslahatların Təhlili və Kommunikasiya Mərkəzi. (2025). Azərbaycanın logistika potensialı: Rəqəmsal transformasiya və infrastruktur imkanları. Bakı.
[11] UNECE. (2023). Review of Border Crossing Facilitation in the Caucasus and Central Asia. United Nations Economic Commission for Europe.
[12] Asian Development Bank (ADB). (2024). CAREC Corridor Performance Measurement and Monitoring Annual Report. Manila.
[14] UNCTAD. (2023). Review of Maritime Transport: Navigating through global disruptions. United Nations.
[15] OECD. (2025). Enhancing Connectivity in the South Caucasus: Transport and Logistics Policy Review. Paris.

TEZ XARAB OLAN KƏND TƏSƏRRÜFATI MƏHSULLARININ DAŞINMASI PROBLEMİ

Səbuhi Quluzadə
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azzərbaycan
squluzade7@std.beu.edu.az

Xülasə: Tez xarab olan kənd təsərrüfatı məhsullarının daşınması qida keyfiyyətinə, təhlükəsizliyinə və iqtisadi səmərəliliyinə birbaşa təsir edən müasir təchizat zəncirlərinin mühüm tərkib hissəsidir. Bu məhsullar temperatur, rütubət və vaxt gecikmələri kimi ətraf mühit şəraitinə çox həssasdır. Bu tədqiqat soyuq zəncirlərin pozulması, logistika səmərəsizliyi və infrastruktur məhdudiyyətləri də daxil olmaqla əsas nəqliyyat problemlərini təhlil edir. Məlumata əsaslanan metodologiyalar və optimallaşdırma üsullarından istifadə edərək, tədqiqat məhsul itkisinin əsas səbəblərini müəyyənləşdirir və nəqliyyat sistemlərində təkmilləşdirmələr təklif edir. Tapıntılar tədarük zəncirinin etibarlılığını artırmağa və məhsul yığımından sonrakı itkiləri azaltmağa kömək edir.
Açar sözlər: tez xarab olan məhsullar, soyuq zəncir logistikası, nəqliyyatın səmərəliliyi, qida təchizatı zənciri, logistikanın optimallaşdırılması

GİRİŞ

Təzə kənd təsərrüfatı məhsullarına qlobal tələbat əhəmiyyətli dərəcədə artıb və bu, səmərəli nəqliyyat sistemlərini vacib edir. Meyvə, tərəvəz, süd məhsulları və ət kimi tez xarab olan malların keyfiyyətini və saxlama müddətini qorumaq üçün daşınma zamanı ətraf mühitə ciddi nəzarət tələb olunur. Tez xarab olmayan mallardan fərqli olaraq, bu məhsullar yığımdan sonra bioloji prosesləri davam etdirir və onları xarab olmaya çox həssas edir. [1], [2], [3]

Soyuq zəncir konsepsiyası temperatura həssas məhsulların daşınması və saxlanması zamanı qorunub saxlanılmasını təmin etmək üçün işlənib hazırlanmışdır. Bununla belə, bir çox nəqliyyat sistemlərində, xüsusən də inkişaf etməkdə olan regionlarda lazımi infrastruktur və koordinasiya yoxdur. Bu, səmərəsizliyə, artan xərclərə və əhəmiyyətli məhsul itkilərinə səbəb olur. Buna görə də, tez xarab olan malların daşınması sistemlərinin təkmilləşdirilməsi logistika və təchizat zəncirinin idarə edilməsində əsas diqqət mərkəzinə çevrilmişdir. [4], [5]

PROBLEMİN TƏSVİRİ

Tez xarab olan kənd təsərrüfatı məhsullarının daşınması bir sıra kritik problemlərlə üzləşir:

Əsas problem temperaturun qeyri-sabitliyidir ki, bu da lazımi soyuducu saxlamadıqda tez xarab ola bilər. Hətta tələb olunan temperatur diapazonlarından kiçik sapmalar məhsulun keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər. [5]

Digər mühüm problem nəqliyyat gecikmələridir ki, bu da tez-tez marşrutun düzgün planlaşdırılması, nəqliyyat sıxlığı və ya səmərəsiz planlaşdırma nəticəsində yaranır. Gecikmələr məhsulların əlverişsiz şəraitə məruz qalma müddətini artırır. [9]

Qeyri-adekvat infrastruktur da əsas narahatlıq doğurur. Bir çox bölgələrdə kifayət qədər soyuducu anbarlar, soyuducu nəqliyyat vasitələri və lazımi yükləmə sistemləri yoxdur. Bundan əlavə, düzgün qablaşdırma və rəftar məhsulların fiziki zədələnməsinə və çirklənməsinə səbəb olur. [2], [3]

Nəhayət, real vaxt rejimində monitorinq sistemlərinin olmaması problemlər baş verdikdə vaxtında müdaxilənin qarşısını alır, nəticədə daha yüksək itkilər və təchizat zəncirinin səmərəliliyi azalır. [10]

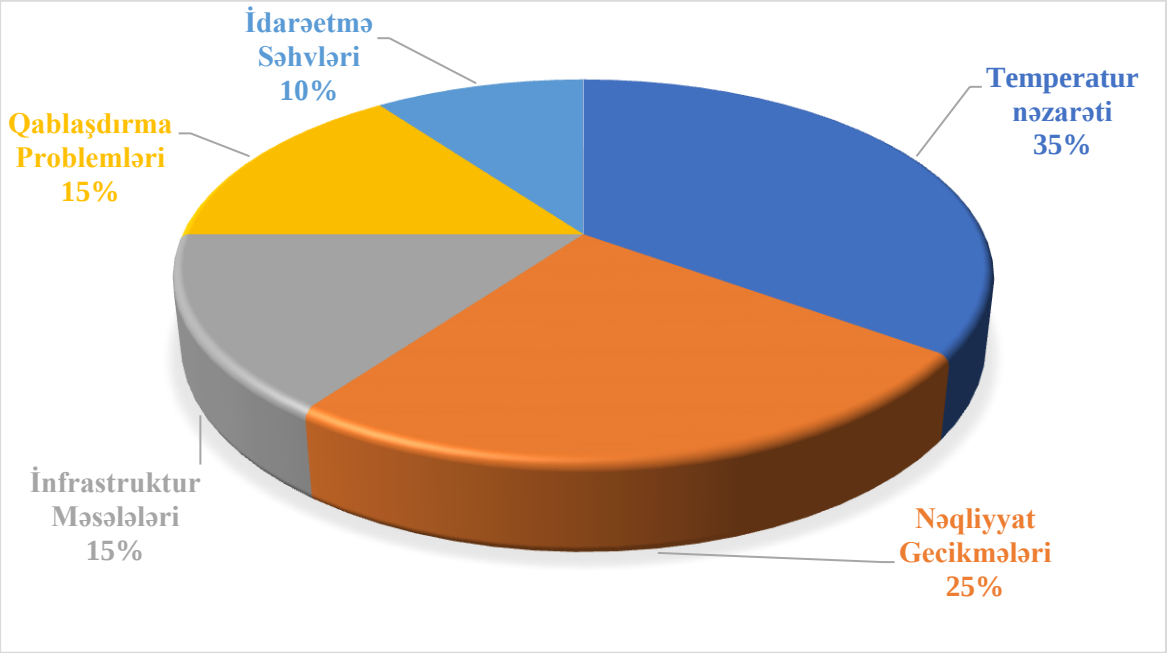
METODOLOGİYA

Tez xarab olan məhsulların daşınması problemlərinin təhlili müasir məlumatlara əsaslanan və optimallaşdırma metodologiyalarına əsaslanır. Əvvəlcə temperatur qeydləri, çatdırılma vaxtları və daşınma marşrutları daxil olmaqla logistik əməliyyatlardan məlumatlar toplanır. Bu məlumatlar IoT sensorları, GPS izləmə sistemləri və logistika idarəetmə platformaları vasitəsilə əldə edilir. [10]

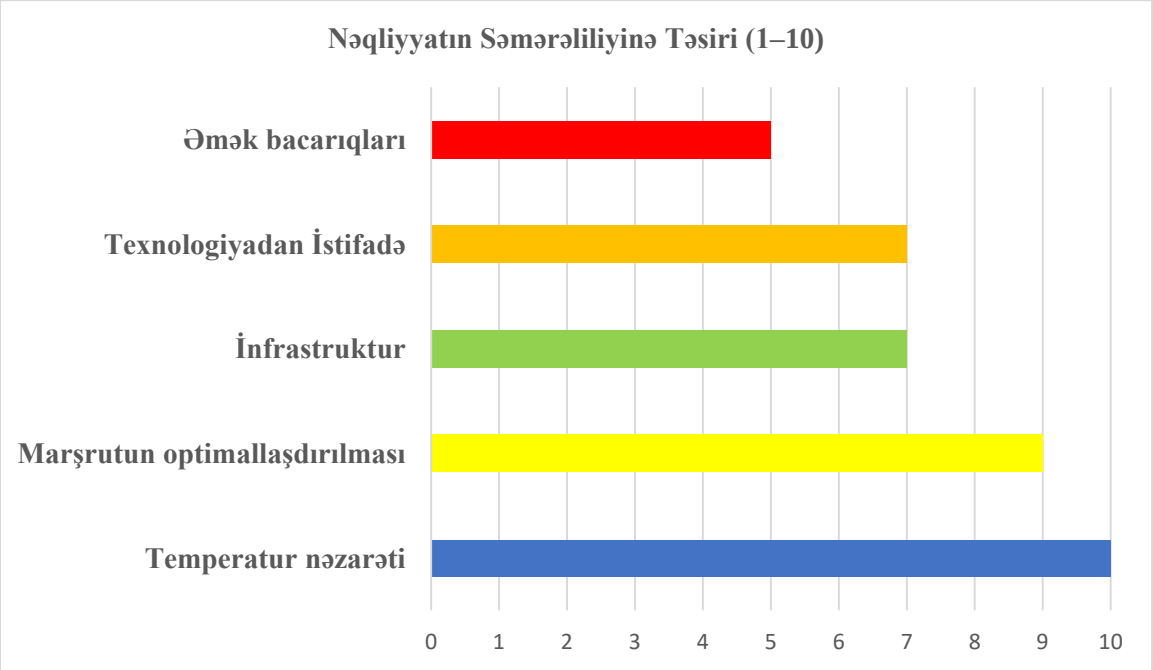
Nəqliyyatın səmərəliliyini optimallaşdırmaq üçün Qarışqa Koloniyasının Optimizasiyası (ACO) və Genetik Alqoritmlər (GA) kimi marşrut optimallaşdırma alqoritmləri tətbiq edilir. Bu üsullar gecikmələri minimuma endirərkən ən qısa və ən sürətli marşrutları müəyyənləşdirməyə kömək edir.[7]

Bundan əlavə, stokastik modellər yol şəraiti, hava dəyişikliyi və avadanlıqların nasazlığı kimi qeyri-müəyyənlikləri nəzərə almaq üçün istifadə olunur. Bu modellər gözlənilməz şəraitdə qərar qəbul etməyi təkmilləşdirir. Soyuq zəncir performansı temperaturun sabitliyi, çatdırılma müddəti və məhsulun keyfiyyəti kimi parametrlərdən istifadə etməklə qiymətləndirilir. Nəqliyyatın səmərəliliyinə təsir edən əsas amilləri müəyyən etmək üçün statistik təhlil aparılır. [6]

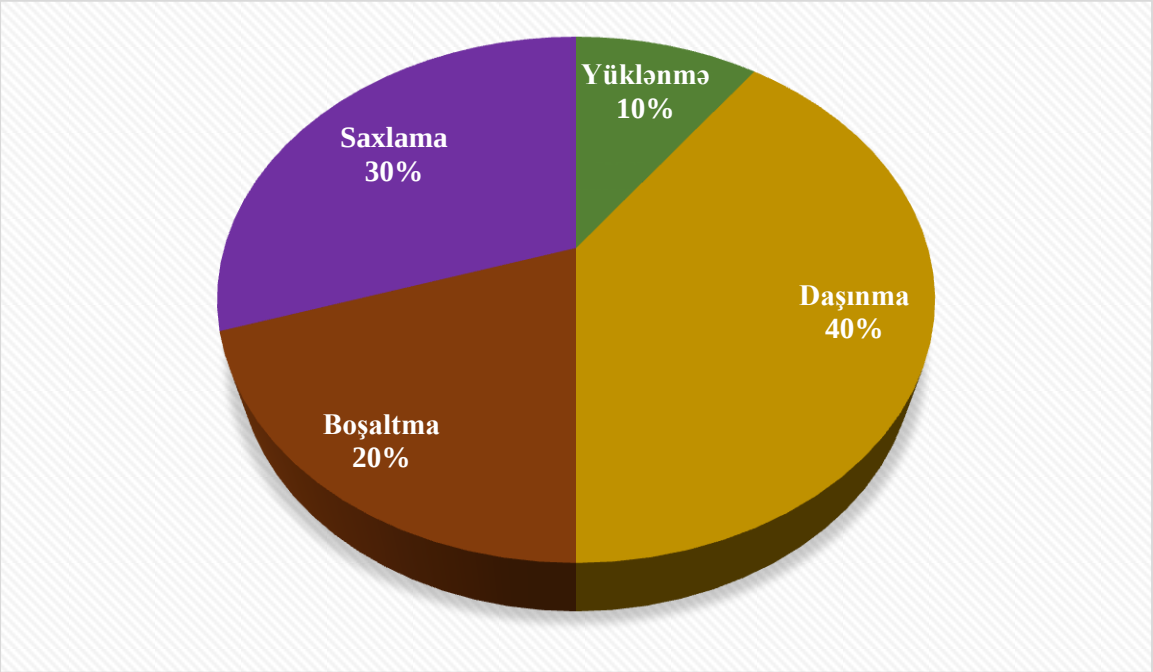
Hər bir problem amilinin faiz töhfəsini müəyyən etmək üçün məlumatlar işlənir və kateqoriyalara təsnif edilir.



Şəkil 1. Nəqliyyat Problemlərinin Bölgüsü



Şəkil 2. Nəqliyyatın Səmərəliliyinə Təsiri



Şəkil 3. Nəqliyyat Mərhələsinə görə zərər faizi

TƏHLİL VƏ STATİSTİK QİYMƏTLƏNDİRMƏ

Təhlillər göstərir ki, temperaturun tənzimlənməsi nəqliyyatın səmərəliliyinə təsir edən ən kritik amildir. Soyuducu sistemlərdəki nasazlıqlar məhsul itkilərinin ən böyük faizini təşkil edir. Xüsusilə infrastrukturu zəif və nəqliyyat sıxlığı olan regionlarda nəqliyyatın gecikmələri ikinci ən mühüm amildir. [5]

Statistik qiymətləndirmə göstərir ki, marşrutun optimallaşdırılmasının təkmilləşdirilməsi və real vaxt rejimində monitorinq texnologiyalarının qəbulu itkiləri əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər. Həm də, ağıllı logistika sistemlərinin inteqrasiyası tədarük zəncirinin müxtəlif mərhələləri arasında daha yaxşı koordinasiyaya imkan verir və ümumi səmərəliliyi artırır. [10]

NƏTİCƏ

Bu araşdırma temperaturun qeyri-sabitliyi, gecikmələr və infrastruktur məhdudiyyətləri daxil olmaqla, tez xarab olan kənd təsərrüfatı məhsulları ilə bağlı əsas nəqliyyat problemlərini vurğulayır. Optimallaşdırma alqoritmlərinin və məlumatlara əsaslanan metodologiyaların tətbiqi nəqliyyatın səmərəliliyini artırmaq üçün effektiv həllər təqdim edir. [1], [3], [4]

Soyuq zəncir infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi, real vaxt rejimində monitorinq sistemlərinin tətbiqi və logistika koordinasiyasının təkmilləşdirilməsi itkilərin azaldılması və məhsulun keyfiyyətinin təmin edilməsi istiqamətində mühüm addımlardır. Ağıllı logistika və rəqəmsal texnologiyalar sahəsində gələcək inkişafın tez xarab olan malların daşınmasını daha da təkmilləşdirməsi və davamlı təchizat zəncirinin idarə edilməsini dəstəkləməsi gözlənilir. [10]

ƏDƏBİYYAT

1. FAO. Global Food Losses and Food Waste. Rome, 2011.
2. World Bank. Missing Food: The Case of Postharvest Grain Losses in Sub-Saharan Africa. 2011.
3. United Nations. Sustainable Food Systems Report. 2020.
4. International Institute of Refrigeration. The Role of Refrigeration in the Global Economy. 2019.
5. Aung, M.M., Chang, Y.S. Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. Food Control, 2014.
6. Kuo, Y., Chen, M. Developing an advanced Multi-Temperature Joint Distribution System. 2010.

7. Dorigo, M., Stützle, T. Ant Colony Optimization. MIT Press, 2004.
8. Goldberg, D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. 1989.
9. International Transport Forum. ITF Transport Outlook. 2021.
10. Jedermann, R., Nicometo, M. Reducing food losses by intelligent food logistics. Philosophical Transactions, 2014.

BEYNƏLXALQ YÜKDAŞIMA BAZARINDA LOGİSTİK XƏRCLƏRİN ARTIM PROBLEMLƏRİ VƏ ONLARIN HƏLLİ YOLLARI

Bəxtiyar Namazov Vüsalə Əliyeva
Bakı Mühəndislik Universiteti Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik \ Logistika və nəqliyyat Mühəndislik \ Logistika və nəqliyyat
banamazov@beu.edu.az veliyeva7@std.beu.edu.az
Bakı / Azərbaycan Bakı / Azərbaycan

Xülasə: Məqalə beynəlxalq yükdaşımada logistik xərclərin artım səbəblərini və nəticələrini ümumi şəkildə izah edir. Qloballaşma və ticarət dövriyyəsinin genişlənməsi logistika xidmətlərinə tələbi artıraraq daşınma və anbar xərclərinin yüksəlməsinə səbəb olur. Bu artım əsasən yanacaq qiymətlərinin dəyişməsi, texniki və istismar xərclərinin çoxalması, infrastruktur çatışmazlıqları, gömrük prosedurlarının mürəkkəbliyi və gecikmələrlə bağlıdır.Bununla yanaşı, geosiyasi gərginliklər və pandemiya kimi qlobal hadisələr təchizat zəncirində qeyri-sabitlik yaradaraq əlavə xərclərə səbəb olur. Xərclərin azaldılması üçün marşrutların daha səmərəli planlaşdırılması, müxtəlif nəqliyyat növlərinin birgə istifadəsi, rəqəmsal həllərin tətbiqi və beynəlxalq əməkdaşlığın gücləndirilməsi vacib hesab olunur.Nəticədə, logistik xərclərin düzgün idarə olunması həm şirkətlər, həm də ümumi bazar üçün davamlı inkişafın əsas amillərindən biridir.
Açar sözlər: Beynəlxalq yükdaşıma, logistik xərclər, təchizat zənciri, optimallaşdırma, rəqəmsallaşma, infrastruktur, gömrük prosedurları, ticarət marşrutları, gecikmələr, nəqliyyat sistemləri.
Abstract: The article provides an overview of the factors driving the increase in logistics costs within the international freight sector and their consequences. As globalization advances and trade volumes grow, demand for logistics services rises, which in turn leads to higher transportation and storage expenses. Major contributing factors include volatile fuel prices, increasing operational costs, insufficient infrastructure, complex customs procedures, and shipment delays.Moreover, geopolitical tensions and global disruptions such as pandemics create instability in supply chains, resulting in additional costs. To reduce these expenses, the study emphasizes the importance of efficient route planning, the integration of different transport modes, the adoption of digital solutions, and enhanced international cooperation.
Overall, effective logistics cost management is crucial for ensuring sustainable growth in the global freight transportation market.
Keywords: International freight transportation, logistics costs, supply chain, optimization, digitalization, infrastructure, customs procedures, trade routes, delays, transportation systems.

I. GİRİŞ

Müasir dövrdə beynəlxalq yükdaşıma sistemi qlobal iqtisadi əlaqələrin əsas dayaqlarından biri kimi çıxış edir. Ölkələr arasında ticarət əməliyyatlarının genişlənməsi və istehsal proseslərinin beynəlxalq miqyasda əlaqələndirilməsi logistika sektorunun əhəmiyyətini daha da artırmışdır. Bu prosesdə logistika yalnız fiziki

daşınmanı deyil, həm də təchizat zəncirinin planlaşdırılması, idarə olunması və optimallaşdırılmasını əhatə edən kompleks fəaliyyət sahəsinə çevrilmişdir.

Bununla belə, son illərdə beynəlxalq yükdaşıma bazarında logistik xərclərin artması ciddi iqtisadi problem kimi diqqət çəkir. Daşıma tariflərinin yüksəlməsi, yanacaq qiymətlərindəki dəyişkənlik, anbar və əməliyyat xərclərinin artması, eləcə də gömrük prosedurlarının mürəkkəbliyi bu vəziyyətə təsir edən əsas amillər sırasındadır. Eyni zamanda, qlobal miqyasda baş verən siyasi və iqtisadi qeyri-sabitliklər də təchizat zəncirində əlavə risklər və xərclər formalaşdırır.

Logistik xərclərin yüksəlməsi təkcə şirkətlərin maliyyə göstəricilərinə deyil, ümumilikdə beynəlxalq ticarətin səmərəliliyinə və rəqabət qabiliyyətinə də təsir göstərir. Buna görə də, bu xərclərin idarə olunması və optimallaşdırılması həm dövlət strukturları, həm də özəl sektor üçün strateji əhəmiyyət daşıyır [5].

Müasir texnologiyaların tətbiqi, rəqəmsallaşma proseslərinin genişlənməsi və multimodal daşımaların inkişafı logistik sistemlərin daha effektiv təşkilinə şərait yaradır. Bununla yanaşı, mövcud problemlərin həlli üçün kompleks yanaşma və uzunmüddətli strategiyaların hazırlanması zəruri hesab olunur.

Bu məqalənin əsas məqsədi beynəlxalq yükdaşıma bazarında logistik xərclərin artım səbəblərini araşdırmaq və onların azaldılması üçün mümkün həll istiqamətlərini müəyyən etməkdir.

II. BEYNƏLXALQ YÜKDAŞIMALARDA XƏRCLƏRİ FORMALAŞDIRAN FAKTORLAR

Beynəlxalq logistik xərclər bir məhsulun istehsal nöqtəsindən son istehlakçıya çatdırılmasına qədər olan bütün məsrəfləri əhatə edir. Qlobal miqyasda bu xərclər dünya ÜDM-nin təxminən 10-15%-ni təşkil edir [3]. Beynəlxalq yükdaşıma bazarında logistik xərclərə təsir edən bir sıra əsas amillər mövcuddur. Bu amillər arasında ilk növbədə yanacaq qiymətlərinin dəyişkənliyi xüsusi yer tutur, çünki daşıma proseslərinin böyük hissəsi birbaşa enerji sərfiyyatından asılıdır. Digər mühüm faktor gömrük prosedurlarının mürəkkəbliyidir ki, bu da yük daşımalarında gecikmələrə və əlavə xərclərin yaranmasına səbəb olur.

Eyni zamanda, nəqliyyat infrastrukturunun vəziyyəti də logistik xərclərə ciddi təsir göstərir. Zəif yol şəbəkəsi, limanlarda və keçid məntəqələrində yaranan problemlər ümumi daşınma xərclərini artırır. Bundan başqa, geosiyasi risklər və beynəlxalq münasibətlərdəki dəyişikliklər ticarət marşrutlarının dəyişməsinə və əlavə logistik xərclərin formalaşmasına gətirib çıxarır.

Son olaraq, anbarlama və saxlanma xərcləri də ümumi logistik xərclərin artmasında mühüm rol oynayır, çünki malların uzun müddət saxlanması əlavə maliyyə yükü yaradır.

CƏDVƏL 1. LOGİSTİK XƏRCLƏRƏ TƏSİR EDƏN ƏSAS AMİLLƏR

Amillər	**İzah**
Yanacaq qiymətləri	Daşıma xərclərini artırır
Gömrük prossedurları	Gecikmələr yaradır
İnfrastruktur	Səmərəsizliyi artırır
Anbar xərcləri	Əlavə maliyyə formalaşdırır
Geosiyasi risklər	Marşrut dəyişiklikləri yaradır

Aşağıdakı cədvəldə beynəlxalq logistik xərclərin əsas tərkib hissələri və onların ümumi xərclərdəki payı (miqyası) göstərilmişdir [6]:

CƏDVƏL 2. BEYNƏLXALQ LOGİSTİK XƏRCLƏRİN STRUKTURU

Xərcin tərkib hissəsi	Ümumi xərclərdə payı (%)	Təsviri
Nəqliyyat xərcləri	45% – 58%	Beynəlxalq və daxili yükdaşımalar (dəniz, hava, quru yolu), yükləmə-boşaltma və yanacaq xərcləri.
Ehtiyatların (stok) saxlama xərcləri	20% – 23%	Kapitalla bağlı xərclər, sığorta, vergilər və malların və köhnəlmə riskləri.
Anbarlama xərcləri	11% – 25%	Malların saxlanması, yükləmə-boşaltma və obyektin

		idarə edilməsi xərcləri.
İnzibati xərclər	3% – 10%	Sənədləşmə, gömrük rəsmiləşdirilməsi və logistik sistemlərin idarə edilməsi.
Qablaşdırma və digər	~5%	Malların təhlükəsiz daşınması üçün qablaşdırma materialları, etiketləmə və tərs (reverse) logistika.

Cədvəl 2-dən göründüyü kimi nəqliyyat xərcləri beynəlxalq logistikanın ən böyük hissəsini (58%-ə qədər) təşkil edir. Bu xərclər neft qiymətləri və geosiyasi vəziyyətdən birbaşa asılıdır. Son mil ("Last-Mile") logistikası nəqliyyat xərclərinin ən baha başa gələn (təxminən 53%-i) hissəsidir, bu məhsulun paylama mərkəzindən və ya anbardan çıxaraq son istehlakçının qapısına çatdırıldığı ən son və ən həlledici mərhələdir.

Məlum olduğu kimi hava daşımaları ən bahalı, dəniz daşımaları isə ən qənaətcil seçimdir, lakin daşınma müddətinin fərqli olması ehtiyatların saxlama xərclərinə ciddi təsir edir və nəqliyyat növünün seçimini müəyyən edir.

Məhsulun dəyəri nə qədər yüksəkdirsə, nəqliyyat xərclərinin payı bir o qədər az olur, məsələn, sement kimi ağır məhsullarda nəqliyyat xərcləri ümumi dövriyyənin 25%-nə çatdığı halda, elektronika və dəb sektorunda bu rəqəm 1%-dən aşağı ola bilər[1].

Ölkənin iqtisadi inkişaf səviyyəsi logistik infrastrukturun vəziyyəti də xərclərin strukturuna təsir edir, inkişaf etmiş ölkələrdə (Almaniya, Fransa) logistik xərclərin ÜDM-də payı daha aşağı və səmərəlidir, inkişaf etməkdə olan ölkələrdə logistik xərclərin ÜDM-dəki payı inkişaf etmiş ölkələrə nisbətən iki dəfə çox ola bilər (məsələn, Braziliyada 12,2%, ABŞ-da isə təxminən 8%) [4].

III. BEYNƏLXALQ YÜKDAŞIMALARDA XƏRCLƏRİN OPTİMALLAŞDIRILMASI ÜSULLARI

Logistik xərclərin azaldılması üçün tətbiq olunan həll yolları müxtəlif istiqamətləri əhatə edir. Bu sahədə rəqəmsallaşma mühüm rol oynayır, çünki proseslərin avtomatlaşdırılması və məlumatların elektron idarə olunması ümumi səmərəliliyi artırır və xərcləri azaldır.

Eyni zamanda, multimodal və intermodal daşımaların inkişafı müxtəlif nəqliyyat növlərinin birgə istifadəsinə imkan yaradaraq daha ucuz və effektiv daşınma sistemi formalaşdırır. Marşrutların optimallaşdırılması isə ən qısa və ən sərfəli yolların seçilməsi ilə yanacaq və vaxt xərclərinin azalmasına səbəb olur.

Bundan başqa, gömrük prosedurlarının sadələşdirilməsi beynəlxalq daşımalar zamanı yaranan gecikmələri minimuma endirir və əlavə xərclərin qarşısını alır.

Nəticə etibarilə, beynəlxalq yükdaşımalarda xərclərin optimallaşdırılması sadəcə "ucuz daşıyıcı tapmaq" deyil, bütün tədarük zəncirindəki gizli itkiləri aradan qaldırmaqdır. Bu üsulları aşağıdakı 4 əsas kateqoriya üzrə qruplaşdırmaq olar [2]:

1. Nəqliyyat növünün və marşrutun optimallaşdırılması, bu qrup birbaşa daşıma xərclərini azaltmağa yönəlib:

✓ Multimodal daşımalar: fərqli nəqliyyat növlərini birləşdirmək (məsələn, uzaq məsafəni ucuz dəniz yolu ilə, ölkədaxili paylamanı isə sürətli avtomobil yolu ilə etmək).

✓ Konsolidasiya (LCL/LTL): kiçik həcmli yükləri digər müştərilərin yükləri ilə birləşdirərək tam konteyner (FCL) və ya tam yük maşını (FTL) qiymətinə gətirmək.

✓ Geri dönüş yükləri (Backhauling): nəqliyyat vasitəsinin bir tərəfə boş qayıtmamasının qarşısını almaq üçün geri qayıdan maşınlarda yer sifariş etmək.

2. Ehtiyatların (stokların) idarə edilməsi, məhsulun "dayanma" xərclərini azaltmağa xidmət edir:

✓ Just-in-Time (JIT): malları anbarda çox saxlamamaq üçün onları tam ehtiyac duyulan anda sifariş etmək. Bu, ehtiyatların saxlama xərclərini minimuma endirir.

✓ ABC analizi: ehtiyatları dəyərinə və satış sürətinə görə qruplaşdıraraq, ən baha başa gələn malların stokda qalma müddətini qısaltmaq.

✓ VMI (Vendor Managed Inventory): stok idarəetməsini tədarükçüyə həvalə etmək, beləliklə anbarlama riskini bölüşmək.

3. Texnoloji və rəqəmsal həllər, səmərəliliyi artırmaq və insan xətasını azaltmaq üçündür:

✓ TMS (Transport Management System): yükdaşıma prosesini rəqəmsal izləyərək ən qısa və ucuz ticarət marşrutları seçmək.

✓ Süni İntellekt və Big Data: tələbi qabaqcadan proqnozlaşdıraraq lüzumsuz daşımaların və anbar doluluğunun qarşısını almaq.
✓ Blockchain: sənədləşmə və gömrük proseslərini sürətləndirərək vaxt itkisindən yaranan əlavə xərcləri (demurrage və s.) azaltmaq.

4. Struktur və strateji dəyişikliklər

✓ Biznes modelində edilən köklü dəyişikliklərdir:
✓ Incoterms seçimi: beynəlxalq ticarətdə EXW, FOB və ya CIF kimi terminlərdən risk və xərc nəzarətinin sizdə olduğu ən əlverişli variantı seçmək.
✓ Qablaşdırma optimallaşdırılması: məhsulun qablaşdırmasını elə dizayn etmək ki, konteynerdə daha az yer tutsun (həcmi çəkini azaltmaq).
✓ 3PL/4PL autsorsinq: logistik proseslərin peşəkar kənar şirkətlərə həvalə etməklə fərdi anbar və park xərclərindən qurtulmaq.

IV. NƏTİCƏ

Beynəlxalq yükdaşıma bazarında logistik xərclərin artması müasir dövrün aktual iqtisadi problemlərindən biri kimi çıxış edir. Araşdırmalar göstərir ki, bu artım bir neçə əsas amilin birgə təsiri nəticəsində formalaşır. Xüsusilə yanacaq qiymətlərindəki dəyişikliklər, nəqliyyat və logistik infrastrukturdakı çatışmazlıqlar, gömrük prosedurlarının uzun və mürəkkəb olması, eləcə də qlobal iqtisadi və siyasi qeyri-sabitliklər xərclərin yüksəlməsində mühüm rol oynayır.

Eyni zamanda, logistik proseslərin düzgün idarə olunmaması və texnoloji imkanlardan kifayət qədər istifadə edilməməsi də əlavə maliyyə yükünün yaranmasına səbəb olur. Bu vəziyyət beynəlxalq ticarət axınlarının səmərəliliyinə mənfi təsir göstərir və rəqabət qabiliyyətini azaldır.

Problemin həlli üçün kompleks yanaşmanın tətbiqi zəruridir. Rəqəmsal texnologiyaların geniş istifadəsi, daşınma marşrutlarının optimallaşdırılması, multimodal nəqliyyat sistemlərinin inkişafı və gömrük prosedurlarının sadələşdirilməsi logistik xərclərin azaldılmasında effektiv vasitələr hesab olunur. Bundan əlavə, infrastrukturun modernləşdirilməsi və beynəlxalq əməkdaşlığın gücləndirilməsi də mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Ümumilikdə, logistik xərclərin effektiv idarə olunması beynəlxalq yükdaşıma bazarının dayanıqlı inkişafı üçün əsas şərtlərdən biridir. Bu istiqamətdə atılacaq addımlar gələcəkdə daha stabil və səmərəli logistik sistemin formalaşmasına imkan verəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT

[1] Bowersox, D. J., Closs, D. J. (2013). Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process. McGraw-Hill.
[2] Christopher, M. (2016). Logistics & Supply Chain Management. Pearson Education.
[3] Rodrigue, J. P. (2020). The Geography of Transport Systems. Routledge.
[4] Rushton, A., Croucher, P., Baker, P. (2014). The Handbook of Logistics and Distribution Management. Kogan Page.
[5] The Geography of Transport Systems, 2018.
https://transportgeography.org/contents/chapter7/logistics-freight-distribution/global-logistics-costs-function/
[6] UNCTAD (2023). Review of Maritime Transport. United Nations Conference on Trade and Development.

CARGO THEFT İN ROAD TRANSPORTATİON: CAUSES AND PREVENTİVE MEASURES

Salam Ramazanov
Logistics and Transport Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
sramazanov1@std.beu.edu.az

Abstract: With the continuous expansion of global trade and logistics activities, security concerns within transportation systems have become increasingly critical. Among these concerns, cargo theft represents one of the most significant and persistent challenges faced by the logistics sector. Road transportation, being a primary mode for goods movement, is particularly exposed to such risks due to its operational flexibility and wide coverage.

Existing research highlights that cargo theft results in substantial financial losses worldwide each year, while also negatively affecting delivery performance and customer satisfaction levels [1]. Beyond direct financial damage, theft incidents contribute to operational inefficiencies and increased logistical costs. This paper aims to investigate the root causes of cargo theft in road transport and to evaluate various prevention strategies by considering both traditional analytical approaches and modern technological solutions.

Keywords*: Cargo theft, logistics security, road transport risks, supply chain management, risk assessment, IoT tracking systems, GPS monitoring, artificial intelligence, predictive modeling, transportation safety*

I. Introduction

The advancement of globalization and the growth of international commerce have led to the development of highly interconnected logistics networks. While these systems have improved efficiency and accessibility, they have also introduced new forms of vulnerability. Cargo theft, particularly within road transportation, has emerged as a major issue affecting the logistics industry.

Road transport is widely preferred because of its adaptability and convenience; however, these characteristics also make it more susceptible to security threats. The presence of multiple transit points, route variability, and human involvement increases exposure to potential risks.

Studies indicate that cargo theft is not only a criminal act but also a critical factor contributing to supply chain instability [2]. Theft-related disruptions can lead to production delays, inventory shortages, and reduced service quality.

Additionally, the digital transformation of logistics operations has introduced new challenges, including cyber-related risks. Consequently, organizations are required to adopt comprehensive security measures that address both physical and digital threats.

II. Description of Problem

Cargo theft in road transportation is a complex issue shaped by multiple contributing elements. One of the most influential factors is the movement of valuable goods such as electronic devices, pharmaceuticals, and luxury items. These products are often targeted due to their high market demand and ease of resale.

Another critical issue is the insufficient level of security across transportation routes and parking areas. Many incidents occur in locations that lack proper surveillance or monitoring systems. Research findings suggest that theft frequently happens either during transit or when vehicles are left unattended in insecure environments [7].

Human factors also significantly influence the occurrence of cargo theft. Driver fatigue, lack of training, and failure to follow established safety procedures can increase vulnerability. In certain cases, internal involvement or weak organizational controls may further contribute to the problem.

Moreover, the absence of advanced tracking technologies limits the ability to detect and respond to theft attempts in real time. This creates additional challenges for logistics operators in maintaining cargo security.

The impact of cargo theft extends well beyond direct financial losses. Organizations may experience increased insurance expenses, operational disruptions, and damage to their reputation. In many situations, the indirect costs associated with theft incidents can surpass the value of the stolen goods [3].Therefore, this issue must be addressed as both a security and a strategic management concern

III. Methodology

To effectively tackle cargo theft, this study employs a comprehensive methodological framework that integrates analytical methods with modern technological tools. The approach is based on the evaluation of existing academic studies and industry practices.
Statistical analysis plays a fundamental role in identifying patterns and trends related to theft incidents. By examining historical data, researchers can determine high-risk areas, timeframes, and cargo types that are more susceptible to theft [5].
In addition, artificial intelligence and machine learning technologies have gained prominence in recent years. These tools allow for the analysis of large datasets and enable the prediction of potential theft scenarios. As a result, organizations can implement preventive measures more efficiently and improve decision-making processes [6].
The Analytic Hierarchy Process (AHP) is another important technique used for decision-making. It assists in ranking various risk factors and selecting the most appropriate security strategies based on their relative importance [4].
Furthermore, real-time monitoring technologies, such as GPS tracking systems and IoT sensors, provide continuous visibility over cargo movement. These systems allow for immediate detection of irregular activities, such as route deviations or unauthorized stops, enabling rapid response [3].
Operational measures, including driver training programs, route optimization, and the implementation of strict security protocols, also play a vital role in reducing risks.
Overall, the findings indicate that no single method is sufficient to eliminate cargo theft. A combination of analytical tools, technological innovations, and operational practices is necessary to achieve effective prevention.

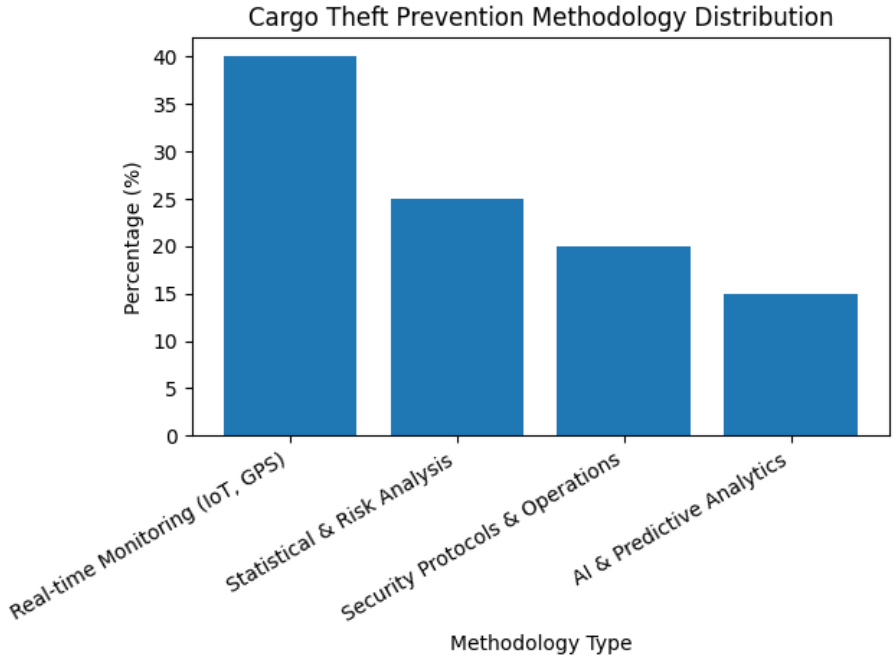


Fig. 1. Distribution of Cargo Theft Prevention Methodologies

Figure 1 demonstrates the relative importance of different approaches used to prevent cargo theft. Real-time monitoring technologies, including GPS and IoT systems, constitute the largest proportion at approximately 40%. Statistical analysis and risk modeling represent around 25%, while operational security practices account for 20%. Artificial intelligence and predictive analytics make up the remaining 15%.
These results indicate that technological solutions dominate modern logistics security strategies, although their effectiveness increases when combined with analytical and operational methods.

IV. Conclusion

Cargo theft in road transportation continues to be a major concern for the logistics sector due to its complex and multifactorial nature. The issue is influenced by various elements, including high-value cargo, inadequate infrastructure, human-related risks, and technological limitations.

The study highlights that traditional approaches alone are insufficient to address this problem effectively. Instead, an integrated strategy that combines real-time monitoring systems, data-driven analysis, artificial intelligence, and operational improvements is required.

Logistics companies must adopt a proactive approach by identifying potential risks in advance and implementing comprehensive security measures. Investments in advanced technologies, employee training, and infrastructure development are essential for enhancing resilience against theft.

In conclusion, minimizing cargo theft not only improves security but also strengthens the efficiency and sustainability of logistics operations and supply chains.

REFERENCES

1. ScienceDirect. (2024). *Cargo theft and its impact on supply chain performance*. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835224001372
2. Springer. (2018). *Supply chain disruptions and risk management strategies*. Retrieved from https://link.springer.com/article/10.1007/s12198-018-0186-0
3. MDPI. (2023). *Risk factors and security challenges in logistics systems*. Retrieved from https://www.mdpi.com/2313-576X/11/1/20
4. MDPI. (2022). *Application of analytic hierarchy process in logistics risk assessment*. Retrieved from https://www.mdpi.com/2071-1050/14/5/2640/html.
5. ScienceDirect. (2020). *Risk analysis methods in transportation systems*. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S1754273120001523
6. IMETI Journal. (2021). *Artificial intelligence applications in logistics risk prediction*. Retrieved from https://ojs.imeti.org/index.php/IJETI/article/view/1013
7. Trassir. (2023). *Advanced security solutions for preventing cargo theft*. Retrieved from https://trassir.com/articles/gg-preventing-cargo-theft-advanced-security-solutions-for-logistics-centers/

QARABAĞ REGİONUNDA TURİZMİN İLLƏR ÜZRƏ DİNAMİKASI VƏ İNKİŞAF PERSPEKTİVLƏRİ

Leyla Həsrətova
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Logistika və Nəqliyyat
Bakı, Azərbaycan
lhesratova@beu.edu.az

Elvin Allahverdizadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Logistika və Nəqliyyat
Bakı, Azərbaycan
eallahverdizade@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu məqalədə Qarabağ regionunda turizmin 2020-ci ildən sonrakı inkişaf dinamikasını sistemli şəkildə təhlil edir. Məqalədə turizm fəaliyyətinin sıfır səviyyəsindən başlayaraq mərhələli bərpa və sürətli artım modeli üzrə inkişafı araşdırılmışdır. Statistik məlumatların məhdudluğu nəzərə alınaraq pay əsaslı modelləşdirmə üsulu tətbiq edilmişdir. Nəticələr göstərir ki, Qarabağ regionu yaxın illərdə Azərbaycanın əsas turizm mərkəzlərindən birinə çevrilə bilər və beynəlxalq turizm bazarına inteqrasiya potensialı yüksəkdir.
Açar sözlər: Qarabağ, turizm dinamikası, regional inkişaf, logistika, davamlı turizm, modelləşdirmə
Abstract: This article systematically analyzes the dynamics of tourism development in the Karabakh region after 2020. The article examines the development of tourism activity from zero level to a phased recovery and rapid growth model. Taking into account the limitations of statistical data, a share-based modeling method was applied. The results show that the Karabakh region can become one of the main tourism centers of Azerbaijan in the coming years and has a high potential for integration into the international tourism market.
Keywords: Karabakh, tourism dynamics, regional development, logistics, sustainable tourism, modeling

I. GİRİŞ

Turizm sektoru qlobal iqtisadiyyatın əsas inkişaf istiqamətlərindən biri hesab olunur və regionların sosial-iqtisadi transformasiyasında mühüm rol oynayır. Azərbaycan Respublikasında son illərdə regionların sosial-iqtisadi inkişafına xüsusi diqqət yetirilmiş, turizm sektorunun genişləndirilməsi və şaxələndirilməsi istiqamətində mühüm addımlar atılmışdır. Münaqişədən sonrakı ərazilərdə turizmin inkişafı isə xüsusi əhəmiyyət daşıyır. 2020-ci ildə baş vermiş İkinci Qarabağ müharibəsi nəticəsində Qarabağ regionunun yenidən Azərbaycanın nəzarətinə keçməsi bu ərazilərdə iqtisadi fəaliyyətin, o cümlədən turizmin bərpası üçün yeni imkanlar yaratmışdır. Məqalədə müqayisəli təhlil, sistemli yanaşma, statistik analiz və iqtisadi qiymətləndirmə metodlarından istifadə olunacaqdır [1].

Bu kontekstdə Qarabağda turizmin inkişaf dinamikasının öyrənilməsi həm nəzəri, həm də praktiki baxımdan aкtуal tədqiqat istiqamətidir.

II. TƏDQİQATIN MƏQSƏDİ VƏ METODOLOGİYASI

Turizmin regional inkişafda rolu müxtəlif tədqiqatlarda geniş şəkildə araşdırılmışdır. World Tourism Organization [2] turizmi iqtisadi artımın əsas drayverlərindən biri kimi qiymətləndirir. World Bank [3] isə turizmin post-münaqişə regionlarında iqtisadi sabitliyin bərpasında mühüm rol oynadığını vurğulayır.

Eyni zamanda, United Nations [4] davamlı turizm prinsiplərinin tətbiqinin vacibliyini qeyd edir. Azərbaycan kontekstində aparılmış tədqiqatlar [5], [6] turizm potensialının yüksək olduğunu göstərir, lakin Qarabağ üzrə spesifik araşdırmalar məhduddur.

Tədqiqatın obyekti Qarabağ zonasının turizm və nəqliyyat sistemidir. Tədqiqatın əsas məqsədi Qarabağ regionunda turizmin illər üzrə inkişaf dinamikasını təhlil etmək və gələcək perspektivləri qiymətləndirməkdir.

Tədqiqat aşağıdakı metodlara əsaslanır:

- Statistik təhlil
- Müqayisəli analiz
- Pay əsaslı modelləşdirmə (share-based approach)
- Eksponensial artım modeli

Məlumat mənbələrinə Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi, beynəlxalq təşkilatların hesabatları, elmi məqalələr və analitik hesabatlar daxildir.

Qarabağda turizmin inkişaf mərhələləri-nə ətraflı baxaq [7]:

1. Turizm boşluğu dövrü (1990–2020)

Bu dövrdə regionda turizm fəaliyyəti tamamilə dayanmışdır. İnfrastruktur dağıdılmış, turizm resursları istifadəsiz qalmışdır.

2. İlkin bərpa mərhələsi (2021–2022)

- Turizm fəaliyyətinin başlanğıcı
- Məhdud səfərlər
- İnfrastrukturun ilkin bərpası

Bu mərhələdə turist sayı çox aşağı səviyyədə olmuşdur.

3. Aktiv inkişaf mərhələsi (2023–2024)

- Turizm marşrutlarının açılması
- Yol və hava nəqliyyatı infrastrukturunun inkişafı
- Daxili turizmin artımı

Bu dövrdə turist axını kəskin şəkildə artmışdır.

4. Kütləvi turizm mərhələsi (2025 və sonrası)

- Xarici turistlərin cəlb olunması
- Otel və kurortların fəaliyyəti
- Regionun beynəlxalq turizm bazarına inteqrasiyası

Qarabağda turizmin inkişafı klassik iqtisadi modelə deyil, daha çox aşağıdakı mərhələyə əsaslanır [8]:

“Sıfır → bərpa → sürətli artım → strateji inkişaf”

Bu isə onu göstərir ki, Qarabağ turizmi ən sürətli inkişaf edən regionlardan biri ola bilər

Əsas məhdudiyyətlər kimi infrastrukturun tam bərpa olunmaması, təhlükəsizlik və mina problemləri misal çəkmək olar.

Əsas üstünlüklər isə zəngin təbiət və mədəni irs, dövlət dəstəyi və investisiyalardır.

Statistik göstəricilərə nəzər salaq [1].

Azərbaycan üzrə turist sayı 2020–2024:

2020 → ~1.3 mln
2021 → ~0.79 mln
2022 → ~1.6 mln
2023 → ~2.08 mln
2024 → ~2.6 mln
2025 → ~4.8 mln

Qarabağ regionunun payı:

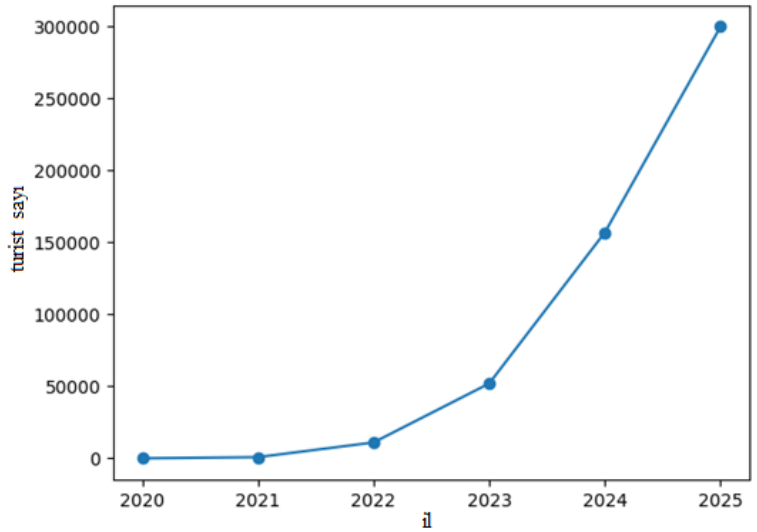
2021 → ~0.1%
2022 → ~0.5–1%
2023 → ~2–3%
2024 → ~5–7%
2025 → ~10–12%

Turizmin illər üzrə dinamikası aşağıdakı cədvəldə göstərilib (cədv. 1).

CƏDVƏL I. TURİZMİN İLLƏR ÜZRƏ DİNAMİKASI

№	İl	Turist sayı
1	2020	0
2	2021	800
3	2022	11,000
4	2023	52,000
5	2024	157,000
6	2025	300,000

Bu göstəricilər Qarabağ turizminin eksponensial artım modelinə uyğun (şək. 1) inkişaf etdiyini göstərir.



Şəkil 1. Qarabağda turizm dinamikasının qrafiki

III. NƏTİCƏ

Aparılmış təhlil göstərir ki, Qarabağ regionunda turizmin inkişafına təsir edən əsas amillər aşağıdakılardır:

- İnfrastrukturun bərpası
- Təhlükəsizlik (mina təmizləmə prosesi)
- Dövlət investisiyaları
- Nəqliyyat və logistika sistemlərinin inkişafı
- Mədəni və təbii resursların mövcudluğu

Eyni zamanda, regionda turizmin inkişafı Şuşa kimi mədəni mərkəzlərin yenidən qurulması ilə sıx bağlıdır. Tədqiqat nəticəsində isə müəyyən edilmişdir ki:

- Qarabağda turizm sıfır səviyyəsindən başlayaraq sürətli artım mərhələsinə daxil olmuşdur
- Region yaxın illərdə Azərbaycanın əsas turizm mərkəzlərindən birinə çevrilə bilər
- Davamlı inkişaf üçün təhlükəsizlik və infrastruktur əsas prioritetlərdir

ƏDƏBİYYAT

1. Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi. (2024). Turizm statistikası. Bakı.
2. World Tourism Organization. (2023). International tourism highlights. Madrid.
3. World Bank. (2022). Tourism for development report. Washington, DC.
4. United Nations. (2021). Sustainable tourism development guidelines. New York.
5. Əliyev, R. (2023). Azərbaycanın turizm potensialı və inkişaf perspektivləri.
6. Məmmədov, T. (2022). Regional turizmin inkişaf xüsusiyyətləri.
7. Göyüşov, A. (2021). Turizm siyasəti və inkişaf istiqamətləri.
8. Əliyeva, N. (2021). Davamlı turizm modelləri.

ENSURING ACCURACY IN INVENTORY MANAGEMENT: PERSPECTIVES ON THE APPLICATION OF THE CYCLE COUNTING METHOD IN AZERBAIJANI ENTERPRISES

Ali Paniyev
Baku Engineering University , Engineering faculty
Baku,Azerbaijan
epeniyev@std.beu.edu.az

***Abstract*:** Inventory management remains a critical pillar of operational efficiency for enterprises worldwide, and Azerbaijan is no exception. As the national economy shifts toward non-oil sectors and logistics hubs expand, the need for precise inventory control becomes paramount. This paper examines the limitations of traditional annual physical inventories and proposes the "Cycle Counting" method as a superior alternative. By integrating ABC analysis and modern technologies like RFID and ERP systems, Azerbaijani firms can achieve near-perfect inventory accuracy. This study provides a comprehensive roadmap for the strategic implementation of cycle counting within the local business landscape, supported by academic frameworks and regional economic reports.

***Key words* :** *Inventory Management, Cycle Counting, ABC Analysis, Azerbaijani Enterprises, Logistics Hubs. Inventory Accuracy, ERP Systems (SAP/1C), RFID, Root Cause Analysis (RCA), Operational Efficiency.*

I. Introduction

In the contemporary globalized economy, the precision of warehouse data is a fundamental prerequisite for competitive advantage. For Azerbaijani enterprises, particularly those in manufacturing and retail, inventory often represents the single largest current asset on the balance sheet [1]. Consequently, any discrepancy between physical stock and system records can lead to significant financial leakage and loss of customer trust.

Azerbaijan's strategic location as a transit hub between Europe and Asia has led to a surge in warehouse infrastructure [5]. However, many local firms still rely on antiquated inventory audit methods. The traditional "Wall-to-Wall" inventory—where operations are halted once or twice a year to count every item—is no longer viable in a high-speed, digital market [2]. This paper explores the transition toward "Cycle Counting," a continuous auditing process that ensures data integrity without disrupting daily workflows.

II. Description of the Problem

Theoretical Framework of Inventory Accuracy

Inventory accuracy is defined as the degree of synchronization between the actual physical inventory in the warehouse and the records maintained in the Warehouse Management System (WMS). According to Wild (2017), maintaining high accuracy levels is essential for effective production planning and scheduling [1]. Without this alignment, the enterprise operates on "ghost data," leading to systemic failures in the supply chain.

Strategic Dimensions of Data Integrity

Theoretical research suggests that inventory accuracy should be viewed through two primary lenses: **Quantity Accuracy** and **Location Accuracy**.

- **Quantity Accuracy:** Ensuring that the numerical count in the system matches the physical count. Even a 1% variance in high-value items can result in significant financial misstatements.
- **Location Accuracy:** Ensuring that items are exactly where the system claims they are. In large-scale Azerbaijani logistics centers, an item that is physically present but "lost" in the wrong bin is functionally non-existent for order fulfillment.

The Metric of Record Integrity (ERI)

A common theoretical benchmark for measuring success is the **Exact Record Integrity (ERI)** metric. This counts a record as "accurate" only if the physical count matches the system exactly—no tolerances allowed. As Muller (2019) notes, high ERI levels reduce the need for "safety stock," thereby freeing up working capital that would otherwise be tied up in redundant inventory [2].

The Feedback Loop and Continuous Improvement

Modern inventory theory emphasizes that accuracy is not a static state but a dynamic process. It requires a continuous feedback loop where discrepancies act as diagnostic signals. By identifying a mismatch, an

enterprise can perform a "Reverse Trace" to find the breakdown in the standard operating procedure (SOP), whether it occurred during receiving, put-away, or picking.

The Impact of Inaccuracies: The Multiplier Effect

Inaccuracies are not merely clerical errors; they have a "domino effect" on the entire enterprise. As noted by Silver et al. (1998), small errors in warehouse data can lead to massive over-ordering or under-ordering in the upper tiers of the supply chain, a phenomenon known as the bullwhip effect [3].

Beyond the supply chain, these discrepancies create three critical points of failure:

- Financial Leakage and Opportunity Costs: Inaccurate records lead to "capital freezing." When a system falsely reports low stock, the enterprise unnecessarily purchases more, tying up cash flow in excess inventory. Conversely, "ghost inventory"—items that exist in the system but not on the shelf—results in lost sales and damaged customer relationships.
- Operational Paralysis: For Azerbaijani manufacturing firms, a single missing component can halt an entire production line. If the WMS reports the item is available, production is scheduled, labor is assigned, and transport is booked. When the item is physically missing, the resulting downtime costs can be ten times the value of the missing item itself [7].
- Diminished Forecast Reliability: Artificial intelligence and demand forecasting tools are only as good as the data they consume. If the baseline inventory data is flawed, every subsequent forecast, procurement plan, and financial budget becomes inherently unreliable, leading to a cycle of reactive and inefficient management [6].

Keywords: For the modern Azerbaijani enterprise, high inventory accuracy is no longer an "operational goal"—it is a financial necessity for maintaining liquidity and operational agility in a volatile market.

Common Causes in the Azerbaijani Context

Root Causes of Inventory Discrepancies in Azerbaijani Enterprises

Research into local enterprises reveals that discrepancies are rarely the result of a single failure but are typically the product of systemic issues within the operational workflow. These factors can be categorized into three primary areas of concern:

The Persistence of Manual Data Entry Errors Despite the push for digitalization, many local enterprises still rely heavily on manual inputs during the critical stages of receiving and shipping. Human error remains a dominant factor; a single mistyped SKU (Stock Keeping Unit) or a miscounted pallet during the high-pressure environment of a delivery can result in systemic inaccuracies that remain hidden for an entire fiscal year. These errors are often compounded by a lack of standardized double-entry verification, where the person physically offloading the goods is also the one responsible for entering the data into the ERP system, removing any opportunity for cross-referencing.

Temporal Inefficiencies and Documentation Lags A significant driver of data "drift" in Azerbaijani warehouses is the time gap between the physical movement of goods and the corresponding update in the digital system [4]. In many scenarios, goods are moved from the receiving dock to the racks—or even shipped to a customer—hours or days before the paperwork is processed in the administrative office. This lag creates a "blind spot" where the system reflects stock levels that no longer exist in reality. During these intervals, procurement managers may make purchasing decisions based on outdated data, leading to either stockouts or expensive overstock situations.

The Hidden Costs of Internal Shrinkage and Misplacement Internal shrinkage remains a sensitive but critical issue, encompassing losses due to physical damage, theft, or simply "administrative loss" through misplacement [2]. In large, unorganized warehouse environments, items are often moved to temporary locations without a digital "transfer" being recorded. When an item cannot be found in its assigned bin, it is functionally lost to the enterprise, even if it is physically present somewhere else in the building. Without a frequent audit mechanism like Cycle Counting, these small, daily losses accumulate into a massive financial discrepancy that is only uncovered—and written off—during the painful year-end audit process.

III. Methodology

The Methodology of Cycle Counting

Cycle counting is an inventory auditing procedure where a small subset of inventory is counted on a specified day. Unlike annual audits, it is a perpetual process that allows for immediate corrective actions [7].

ABC Analysis: The Core Strategy

To implement an effective cycle counting program, Azerbaijani managers must utilize the ABC classification system based on the Pareto Principle. Muller (2019) suggests that focusing on the most valuable items is the most cost-effective way to maintain overall accuracy [2].

- **Group A:** Critical items (20% of quantity, 80% of value). Counted weekly [8].
- **Group B:** Moderate items (30% of quantity, 15% of value). Counted monthly.
- **Group C:** Low-value items (50% of quantity, 5% of value). Counted semi-annually.

Implementation Steps for Azerbaijani Enterprises

For a local firm in Baku or Sumgait to successfully transition to cycle counting, a structured approach is required, as outlined in the logistics development reports of Azerbaijan [5].

Phase 1: Preparation and Categorization

All current discrepancies must be addressed through a final full-scale inventory to establish a "ground zero" of accuracy. Following this, items are categorized using the ABC method [6].

Phase 2: Execution and Root Cause Analysis

If a discrepancy is found, the team must conduct a "Root Cause Analysis" (RCA) to understand *why* the error occurred. As emphasized by Goldsby and Martichenko (2005), fixing the process is more important than simply adjusting the numbers [9].

Technological Integration and Industry

The effectiveness of cycle counting is exponentially increased when paired with modern technology. In Azerbaijan, the adoption of ERP systems like SAP and 1C:Enterprise is growing [5].

Barcoding and RFID

Manual counting is prone to error. By using Barcode scanners and Radio Frequency Identification (RFID), a counter can verify an entire pallet in seconds [7]. RFID, in particular, allows for "passive counting," where sensors automatically update inventory levels as goods move [8].

Socio-Economic and Organizational Challenges

Implementing cycle counting in Azerbaijan is not without its hurdles. Cultural resistance is a major factor, as warehouse staff may view daily counts as extra work [9]. Furthermore, according to the Ministry of Finance guidelines, enterprises must ensure their internal audit procedures align with national accounting standards [4].

Comparative Analysis: Traditional vs. Cycle Counting

Based on the research of Vollmann et al. (2011), the following table summarizes the key differences [7]:

TABLE 1. COMPARATIVE ANALYSIS: ANNUAL PHYSICAL INVENTORY VS. CYCLE COUNTING

Feature	Annual Physical Inventory	Cycle Counting
Business Disruption	High (Operations stop)	Low (Ongoing process)
Error Detection	Rare (Once a year)	Frequent (Daily/Weekly)
Accuracy Level	Fluctuating	Consistently High [3]

Feature	Annual Physical Inventory	Cycle Counting
Labor Requirement	Massive/Temporary	Small/Dedicated
Cost Efficiency	High (Overtime costs)	Low (Integrated routine)

1. Business Disruption and Operational Continuity

The most significant drawback of a traditional **Annual Physical Inventory** is the requirement for an "operational freeze." To ensure a static and accurate count, the entire warehouse must halt all movements, including receiving, put-away, and shipping, for several days. In today's high-speed market, this forced downtime results in disrupted production schedules, delayed customer deliveries, and direct revenue loss.

In contrast, **Cycle Counting** is designed as an **ongoing, integrated process**. By auditing small, manageable subsets of inventory during regular working hours, the enterprise maintains 100% operational continuity. This method ensures that the business can fulfill customer orders without interruption while simultaneously scrubbing the database for errors, effectively eliminating the high cost of audit-induced downtime.

2. Error Detection Velocity and Information Integrity

The reactive nature of an annual audit creates a dangerous information gap for management. Under the traditional system, a documentation error or misplacement occurring in January may remain undetected until the December audit. By the time the discrepancy is found, the trail has gone cold, making it nearly impossible to trace the root cause or implement corrective training.

Cycle Counting functions as a high-velocity feedback loop. Because specific items are counted on a daily or weekly basis, discrepancies are identified almost immediately after they occur. This allows warehouse managers to perform **Root Cause Analysis (RCA)** while the transaction history is still fresh, enabling them to rectify systemic flaws—such as incorrect bin labeling or picking procedures—before they replicate across thousands of other records.

3. Sustainability of Inventory Accuracy Levels

In a traditional system, inventory accuracy follows a volatile **"sawtooth" pattern**. Accuracy peaks at nearly 100% immediately following the massive year-end cleanup, but it begins to decay the moment normal operations resume. Unrecorded damages, shipping errors, and human slips accumulate over months, leading to a "drift" where system data becomes increasingly unreliable by the third quarter.

Cycle Counting replaces this volatility with a **consistently high** level of record integrity. Through continuous oversight, small errors are corrected before they can aggregate into major discrepancies. This sustained accuracy (typically 95-99%) allows procurement managers to trust the Warehouse Management System (WMS) explicitly, reducing the need for expensive "safety stock" and improving overall supply chain transparency.

4. Labor Optimization and Personnel Specialization

Executing an annual inventory is an administrative burden that requires a "massive army" of staff. Companies often pull personnel from sales, accounting, and production to assist in the count. This creates a chaotic, high-stress environment where exhausted employees—who are often unfamiliar with the warehouse layout—are prone to making new errors during the audit itself.

Cycle Counting optimizes human capital by utilizing a **small, dedicated team** of specialized counters. These individuals become experts in SKU identification and system navigation. By spreading the audit workload evenly across 365 days, the enterprise avoids the chaos of a year-end "all-hands" count and ensures that the audit is performed with a level of professional precision that temporary or distracted staff cannot provide.

5. Long-term Cost Efficiency and Financial Agility

While an annual audit is often viewed as a "once-a-year" cost, its hidden financial impact is staggering. This includes massive overtime payouts, the opportunity cost of lost sales during the shutdown, and the "inaccuracy tax" paid when emergency freight is required to cover unexpected stockouts.

Cycle Counting is fundamentally more cost-efficient because it transforms auditing from an emergency event into a **low-cost routine**. It prevents **"capital freezing"**—where money is tied up in excess inventory because the system falsely reported low levels. By maintaining a transparent and accurate warehouse, the enterprise protects its bottom line from massive year-end write-offs and ensures that working capital is deployed with maximum efficiency.

Conclusion

Inventory accuracy is the heartbeat of a healthy supply chain. For Azerbaijani enterprises, the transition from traditional annual audits to a robust Cycle Counting program is a strategic imperative. This method not only ensures that financial reports are accurate but also optimizes warehouse space and improves order fulfillment rates [1]. As Azerbaijan continues to develop as a regional logistics hub, the adoption of these best practices will be the differentiator for local firms.

REFERENCES

[1] Wild, T. (2017). Best Practice in Inventory Management. 3rd Edition. Oxford, UK: Routledge.
[2] Muller, M. (2019). Essentials of Inventory Management. 3rd Edition. New York: AMACOM.
[3] Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). Inventory Management and Production Planning and Scheduling. 3rd Edition. New Jersey: Wiley.
[4] Ministry of Finance of the Republic of Azerbaijan. (2022). Instructions on the Rules for Conducting Inventory of Assets and Liabilities (Order No. Q-01). Baku: Ministry of Finance.
[5] Center for Analysis of Economic Reforms and Communication. (2023). Azerbaijan Logistics and Supply Chain Performance Report. Baku: CAERC Publishing.
[6] Bozarth, C. C., & Handfield, R. B. (2016). Introduction to Operations and Supply Chain Management. 4th Edition. Pearson Education.
[7] Vollmann, T. E., Berry, W. L., & Whybark, D. C. (2011). Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management. APICS Management Series. New York: McGraw-Hill.
[8] Axsäter, S. (2015). Inventory Control. 3rd Edition. Lund, Sweden: Springer International Publishing.
[9] Goldsby, T. J., & Martichenko, R. (2005). Lean Six Sigma Logistics: Strategic Development to Operational Success. Florida: J. Ross Publishing.

ENVIRONMENTAL IMPACTS OF FREIGHT TRANSPORT AND POSSIBLE SOLUTIONS

Mujgan Abbaszade
Baku Engineering University, Logistics and Transport Technologies Engineering
Baku, Azerbaijan
mabbaszade1@std.beu.edu.az

***Abstract**: Freight transport has a significant role in supporting global economic development by enabling the movement of goods between regions and countries. Despite its importance, it is also a major contributor to environmental problems, particularly in terms of greenhouse gas emissions, air pollution, and energy consumption. This study explores the environmental impacts of freight transport and evaluates possible solutions to reduce these effects. The research is based on secondary data collected from international organizations including the International Energy Agency (IEA), European Environment Agency (EEA), and Our World in Data. The results indicate that road freight transport is the leading source of emissions within the freight sector, while maritime and rail transport are more sustainable. Based on these findings, the study suggests adopting green logistics strategies, technological advancement, and policy interventions to environmental.*

***Keywords:** Freight transport, Green logistics , Digitalization in logistics, Climate change mitigation*

INTRODUCTION

Globalization and the steady rise in international trade have significantly increased the demand for freight transportation. Today, goods are transported through multiple modes, including road, rail, air, and maritime networks. Although this development has improved economic efficiency, it has also created serious environmental challenges. According to data from the International Energy Agency, the transport sector is responsible for nearly 24% of global CO_2 emissions, making it one of the largest contributors to climate change.[1] Freight transport represents a substantial portion of these emissions, particularly due to the widespread use of diesel-powered trucks. Road transport accounts for the largest portion of transport-related emissions.[2] In addition, freight operations contribute to air pollution, noise pollution, and habitat destruction. These environmental challenges clearly underline the urgent need for sustainable transport solutions.

DESCRIPTION OF THE PROBLEM

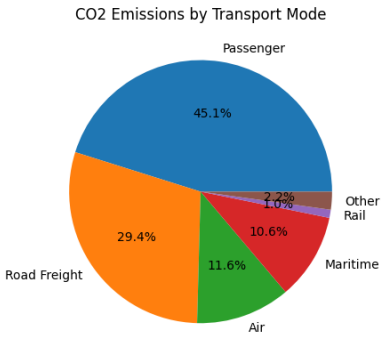
One of the main environmental problems linked to freight transport is greenhouse gas emissions. Heavy-duty vehicles used in road freight that generate substantial amounts of carbon dioxide (CO_2), nitrogen oxides (NOx), and particulate matter (PM), which negatively affect both climate and human health. Data from the European Environment Agency, heavy-duty vehicles are responsible for roughly 27% of total road transport CO_2 emissions in Europe.[3] Another major issue is air pollution in urban areas, where freight vehicles play a significant role in deteriorating air quality. This leads to various health problems, such as respiratory diseases and environmental damage. [4] Freight transport not only contributes to greenhouse gas emissions but also causes biodiversity decline and disruption of natural ecosystems. Infrastructure development such as highways, ports, and railways often fragments natural habitats and poses a threat to wildlife. [5] Urban freight transport is a major contributor to congestion and environmental degradation in cities. Last-mile delivery, especially driven by e-commerce, increases traffic density and emission level in urban areas.[6]

Freight transport also consumes a large amount of fossil fuels, leading to high levels of energy consumption. The International Transport Forum reports that freight activity could triple by 2050, which would significantly increase energy demand and emissions if no preventive measures are taken [7]. Maritime transport is generally more energy—efficient, it still poses environmental risks, including marine pollution and oil spills, while air freight produces extremely high level of emissions per ton-kilometer. [8] Rail freight transport is considerably more energy-efficient compared to road transport, generating up to 75% less CO_2 emissions per ton-kilometer. [9]

METHODOLOGY

This research applies a secondary data analysis approach, relying on information gathered from credible international databases and reports. The primary data sources include the International Energy Agency (IEA), Our World in Data. The European Environment Agency (EEA), and the International Transport Forum (ITF).

Figure 1. CO2 Emissions by Transport Mode



Data was analyzed using a quantitative approach, focusing on emission shares and asses the environmental impacts of different modes of transport. To visualize the distribution of emissions, a pie chart model is utilized based on global transport emission statistics. (figure 1) The data shows that passenger transport accounts for 45.1% of total emissions, followed by road freight (trucks) with 29.4%. Air transport at 11.6%, while maritime transport shows as 10.6%. Rail transport has a relatively small share with 1%, and other sources to remain 2.2%. [10] The analysis highlights that road freight transport is one of the major contributors to emissions within the transport sector. This finding underscores the need to prioritize this mode when developing strategies to reduce environmental impact. By comparing emission levels across different transport types, the study provides a clear basis for identifying effective and sustainable solutions. The research also applies comparative analysis across various regions, including Europe, Asia, and global averages, in order to better understand variations in emission patterns. This allows identifying region-specific challenges and solutions in freight transport sustainability.[11]

SUSTAINABLE SOLUTIONS AND INNOVATIONS

Freight transport sustainability can be enhanced through technological innovation and policy integration. One of the most promising solutions is the adoption of electric and hydrogen-powered trucks, which have the potential to significantly reduce carbon emissions. According to the International Energy Agency, electric trucks could decrease emissions by up to 30% in the freight sector by 2030.[12] Digitalization is another key factor in increasing operational efficiency. Smart logistics systems, including route optimization and AI-based demand forecasting, help reduce unnecessary fuel consumption and improve overall delivery efficiency.[13] The use of real-time data supported by IoT and intelligent transport systems enables dynamic route optimisation and minimizes empty runs. Moreover, intermodal transport systems, which integrate rail, road, and maritime transport, provide a more sustainable alternative by reducing dependency on high-emission modes.[14] This approach is particularly beneficial for long distance freight, where rail and maritime transport options offer significantly lower emissions compared to road transport. The implementation of autonomous and semi-autonomous vehicles also presents future opportunities for increasing fuel efficiency and reducing human-related inefficiencies. Improving load factor efficiency through digital freight platforms is another cost-effective strategy. Increasing vehicle utilisation reduces the number of trips required, thereby lowering emissions and operational costs. Finally, investment in green infrastructure, including electrified rail systems, dedicated freight corridors, and charging stations for heavy-duty vehicles, is essential to support the transition toward sustainable freight transport systems.

CONCLUSION

Freight transport remains a key component for global trade but it also creates serious environmental pressure. The findings of this study indicate that road freight transport is the largest contributor to emissions, followed by air and maritime transport. To reduce these environmental impacts, a range of measures should be implemented. These include shifting towards electric and low-emission transportation modes, improving rail and intermodal transport networks, adopting green logistics practices, implementing stricter government regulations along with carbon pricing policies, and increasing investment in necessary infrastructure. Evidence from the International Energy Agency believes that transitioning to cleaner transport technologies could significantly reduce emissions by 2050. [15]

Overall, achieving a more sustainable freight transport requires cooperation between governments, industry stakeholders, and research community. Without immediate action, environmental impacts will continue to grow alongside global trade.

REFERENCES

1. https://www.iea.org/reports/transport
2. https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport
3. https://www.eea.europa.eu/highlights/heavy-duty-vehicles-co2
4. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health
5. https://www.eea.europa.eu/publications/infrastructure-and-biodiversity
6. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920921000680
7. https://www.itf-oecd.org/global-freight-demand
8. https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2021
9. https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail
10. https://ourworldindata.org/transport
11. https://ourworldindata.org/transport
12. https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023
13. https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights
14. https://www.eea.europa.eu/themes/transport
15. https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050

AVTOMOBİL YOLLARININ YENİDƏN QURULMASI

Məmmədov Fərahim İlham oğlu
Naxçıvan Dövlət Universiteti
Memarlıq və mühəndislik fakültəsi,
Naxçıvan, Azərbaycan
memmedovferahim@ndu.edu.az
https://orcid. org/0009-0002-5071-0572

Hümbətova Gülay Qasım qızı
Naxçıvan Dövlət Universiteti
Memarlıq və mühəndislik fakültəsi,
Naxçıvan, Azərbaycan
gulay.humbetova@icloud.com

Abstract: The research examines the structural elements of highways and the engineering principles involved in their reconstruction under modern conditions. It highlights that road infrastructure plays a crucial role in socio-economic development by ensuring efficient transportation and regional connectivity. However, increasing traffic demand, urban expansion, and long-term exploitation lead to deterioration of existing roads, making reconstruction essential. The study emphasizes that effective road rehabilitation requires comprehensive consideration of geometric design, pavement structure, drainage systems, and material selection. Proper preparation of the roadbed, application of high-quality materials, and adherence to international standards significantly improve durability, safety, and operational performance of highways.
Furthermore, the research underlines the importance of environmental protection and sustainable development in road construction and reconstruction processes. Modern approaches require minimizing ecological impact through proper drainage systems, erosion control, and the use of environmentally friendly technologies. The study also analyzes recent developments in Azerbaijan's road infrastructure, noting that the implementation of modern engineering solutions and international standards has improved traffic efficiency and safety. Practical recommendations include optimizing material selection, improving drainage efficiency, ensuring strict compliance with technical standards, and adopting innovative technologies to enhance long-term road performance.
Keywords: *road reconstruction, highway engineering, drainage systems, pavement design, infrastructure development.*

I. GİRİŞ

Avtomobil yolları müasir cəmiyyətin sosial-iqtisadi inkişafını təmin edən əsas infrastruktur elementlərindən biri olmaqla, ölkələr arasında və regionlar daxilində nəqliyyat əlaqələrinin qurulmasında mühüm rol oynayır. Nəqliyyat vasitələrinin sayının sürətlə artması, şəhərlərin genişlənməsi və iqtisadi fəaliyyətin intensivləşməsi mövcud yol şəbəkəsinin yüklənməsinə və onun texniki göstəricilərinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Bu baxımdan yolların yenidən qurulması yalnız fiziki yenilənmə prosesi deyil, həm də nəqliyyat sisteminin effektivliyinin və təhlükəsizliyinin artırılmasına yönəlmiş mühəndis tədbirləri kompleksidir. Müasir elmi yanaşmalara görə, yol infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi iqtisadi artımın və regionlararası inteqrasiyanın əsas şərtlərindən biri hesab olunur [5, s. 12].

Yolların yenidən qurulması prosesi mövcud yolun texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi, normativ tələblərə uyğunlaşdırılması və müasir standartlara cavab verən yeni konstruktiv həllərin tətbiqini əhatə edir. Bu proses zamanı yolun planı, profili, en kəsiyi, örtük strukturu və mühəndis qurğuları kompleks şəkildə yenidən işlənir. AASHTO və FHWA kimi beynəlxalq təşkilatların tövsiyələrinə əsasən, yolun həndəsi parametrlərinin düzgün seçilməsi, örtük konstruksiyasının optimallaşdırılması və hərəkət təhlükəsizliyinin təmin edilməsi rekonstruksiya işlərinin əsas istiqamətlərini təşkil edir [1, s. 45; 4]. Eyni zamanda, yolun buraxma qabiliyyətinin artırılması və nəqliyyat axınının optimallaşdırılması müasir yol mühəndisliyinin prioritet məsələlərindəndir [8, s. 67].

Avtomobil yollarının yenidən qurulmasının mühüm aspektlərindən biri də texnoloji və material seçimidir. Yol yatağının düzgün hazırlanması, keyfiyyətli materiallardan istifadə olunması və asfalt-beton örtüklərin müasir texnologiyalarla tikilməsi yolun uzunmüddətli istismar dayanıqlığını təmin edir. Bu sahədə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, örtük konstruksiyasının düzgün layihələndirilməsi və materialların fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması yolun istismar müddətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır [6, s. 103]. Bununla yanaşı, yerli təcrübə də göstərir ki, yol tikintisi və yenidən qurulması zamanı normativ qaydalara riayət olunması və texnoloji ardıcıllığın qorunması mühüm əhəmiyyət kəsb edir [3].

Digər tərəfdən, yolların yenidən qurulması yalnız texniki məsələ deyil, həm də ekoloji və sosial aspektləri özündə birləşdirən kompleks prosesdir. Tikinti zamanı ətraf mühitin mühafizəsi, su ehtiyatlarının qorunması və torpaq sahələrinin düzgün istifadəsi xüsusi diqqət tələb edir. Müasir yanaşmalara əsasən, yol layihələrinin hazırlanmasında ekoloji tarazlığın qorunması və dayanıqlı inkişaf prinsiplərinin tətbiqi vacib şərt hesab olunur [7, s. 52]. Beləliklə, avtomobil yollarının yenidən qurulması nəqliyyat təhlükəsizliyinin artırılması, iqtisadi inkişafın sürətləndirilməsi və əhalinin həyat keyfiyyətinin yüksəldilməsi baxımından strateji əhəmiyyət daşıyan

mühəndis fəaliyyət sahəsidir.

II. ƏSAS HİSSƏ

Müasir dövrdə yol infrastrukturunun inkişafı nəqliyyat sisteminin effektiv fəaliyyəti üçün əsas şərtlərdən biri hesab olunur. Lakin nəqliyyat vasitələrinin sayının sürətlə artması, mövcud yolların uzun müddət istismar olunması və şəhərsalma proseslərinin intensivləşməsi nəticəsində bir çox yollar texniki cəhətdən köhnəlmiş, normativ tələblərə cavab verməyən vəziyyətə düşmüşdür. Bu isə həm hərəkət təhlükəsizliyinin azalmasına, həm də nəqliyyatın buraxma qabiliyyətinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Buna görə də yol infrastrukturunda mövcud problemlərin aradan qaldırılması üçün yolların yenidən qurulması zəruri mühəndis tədbiri kimi çıxış edir. Müasir elmi yanaşmalar göstərir ki, yol şəbəkəsinin optimallaşdırılması və rekonstruksiyası iqtisadi inkişafın və nəqliyyatın səmərəliliyinin artırılmasında mühüm rol oynayır [5, s. 21].

Yol infrastrukturunun əsas problemlərinə örtük səthinin deformasiyası, çatlar və çalaların yaranması, drenaj sistemlərinin qeyri-kafi olması, yol yatağının stabilliyinin pozulması və normativ parametrlərə uyğun olmayan həndəsi göstəricilər daxildir. Bu problemlər uzunmüddətli istismar, iqlim təsirləri və tikinti zamanı texnoloji qaydalara tam riayət olunmaması nəticəsində meydana çıxır. Beynəlxalq təcrübəyə əsasən, bu cür çatışmazlıqların aradan qaldırılması üçün yolun konstruktiv elementlərinin yenidən layihələndirilməsi, materialların təkmilləşdirilməsi və müasir texnologiyaların tətbiqi vacib hesab olunur [1, s. 58; 8, s. 74]. Eyni zamanda, yolkənarı təhlükəsizlik elementlərinin və mühəndis qurğularının düzgün təşkili də rekonstruksiya prosesinin ayrılmaz hissəsidir [2, s. 33].

Yolların yenidən qurulması prosesində ən mühüm mərhələlərdən biri yol yatağının hazırlanması və torpaq işlərinin düzgün təşkili hesab olunur. Yol yatağı bütün yol konstruksiyasının əsasını təşkil etdiyi üçün onun dayanıqlılığı və keyfiyyəti yolun uzunömürlülüyünü müəyyən edir. Bu mərhələdə torpaq sahəsinin hazırlanması, səth sularının kənarlaşdırılması, drenaj sistemlərinin qurulması və torpağın sıxlaşdırılması kimi mühüm texnoloji əməliyyatlar həyata keçirilir. Normativ sənədlərə görə, torpaq yatağının tikintisi fasiləsiz və planlı şəkildə aparılmalı, yamaclar möhkəmləndirilməli və suötürücü qurğuların etibarlı fəaliyyəti təmin olunmalıdır [3]. Elmi ədəbiyyatlarda qeyd olunur ki, torpaq yatağının düzgün hazırlanması yol örtüyünün deformasiyasının qarşısını almaqda əsas amillərdən biridir [9, s. 85].

Bundan əlavə, torpaq işlərinin təşkili zamanı relyef şəraiti, geoloji xüsusiyyətlər və iqlim faktorları nəzərə alınmalıdır. Qazma və tökmə işlərinin düzgün ardıcıllıqla aparılması, müvəqqəti suötürücü qurğuların qurulması və tikinti sahəsində səth sularının idarə olunması yolun dayanıqlığını təmin edən mühüm şərtlərdir. Müasir yanaşmalara əsasən, bu proseslər yalnız texniki deyil, həm də ekoloji baxımdan əsaslandırılmalı, torpaq resurslarının qorunması və ətraf mühitə mənfi təsirlərin minimuma endirilməsi təmin edilməlidir [7, s. 64]. Beləliklə, yol infrastrukturunda mövcud problemlərin aradan qaldırılması və yol yatağının düzgün təşkili avtomobil yollarının yenidən qurulmasının əsas və həlledici mərhələlərindən biri kimi çıxış edir.

Avtomobil yollarının uzunmüddətli və təhlükəsiz istismarının təmin olunmasında drenaj sistemləri və suyun kənarlaşdırılması texnologiyaları mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Yol konstruksiyasına daxil olan elementlərin dayanıqlılığı birbaşa olaraq suyun təsirindən asılıdır. Səth və yeraltı suların vaxtında kənarlaşdırılmaması torpaq yatağının zəifləməsinə, örtük qatlarının deformasiyasına və yolun ümumi istismar keyfiyyətinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Bu baxımdan müasir yol mühəndisliyində drenaj sistemlərinin düzgün layihələndirilməsi və effektiv işləməsi əsas tələblərdən biri hesab olunur. Normativ sənədlərə əsasən, yol boyunca suötürücü qurğuların, xəndəklərin və drenaj borularının düzgün yerləşdirilməsi və onların fasiləsiz işlək vəziyyətdə saxlanılması vacibdir [3].

Drenaj sistemlərinin təşkili zamanı relyef, iqlim şəraiti və hidroloji xüsusiyyətlər nəzərə alınmalıdır. Beynəlxalq təcrübəyə əsasən, yol səthində suyun yığılmasının qarşısını almaq üçün eninə və uzununa mailliklər düzgün seçilməli, suyun tez bir zamanda yol səthindən uzaqlaşdırılması təmin edilməlidir [1, s. 82]. Bundan əlavə, FHWA tövsiyələrinə uyğun olaraq, yeraltı suların təsirini azaltmaq məqsədilə filtr qatları və drenaj materiallarından istifadə olunması geniş yayılmışdır [4]. Bu yanaşmalar yol konstruksiyasının möhkəmliyini artırmaqla yanaşı, onun istismar müddətini də əhəmiyyətli dərəcədə uzadır.

Yol örtüklərinin növləri və onların seçimi də avtomobil yollarının keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərən əsas amillərdəndir. Müasir yol tikintisində sərt (beton) və elastik (asfalt-beton) örtüklər geniş tətbiq olunur. Elastik örtüklər, xüsusilə asfalt-beton texnologiyası yüksək elastiklik, yükdaşıma qabiliyyəti və təmir imkanlarının

asanlığı ilə seçilir. Bu səbəbdən müasir yolların əksəriyyətində asfalt-beton örtüklərə üstünlük verilir. Elmi mənbələrdə qeyd olunur ki, asfalt-beton qatlarının düzgün layihələndirilməsi və texnoloji ardıcıllıqla yerləşdirilməsi yolun istismar keyfiyyətini və davamlılığını təmin edən əsas amillərdəndir [6, s. 145].

Asfalt-beton texnologiyası çınqıl, qum, mineral toz və bitumun müəyyən nisbətdə qarışdırılması ilə əldə olunan materialın xüsusi texniki qaydalara uyğun şəkildə döşənməsini nəzərdə tutur. Bu proses zamanı temperatur rejiminin qorunması, qatların sıxlaşdırılması və homogen strukturun əldə olunması mühüm əhəmiyyət daşıyır. Müasir yanaşmalara görə, asfalt örtüklərin keyfiyyəti yalnız materialın xüsusiyyətlərindən deyil, həm də tikinti texnologiyasının düzgün tətbiqindən asılıdır [9, s. 112]. Eyni zamanda, yol örtüklərinin seçimi zamanı iqlim şəraiti, nəqliyyat yükü və istismar tələbləri nəzərə alınmalıdır [8, s. 93]. Beləliklə, drenaj sistemlərinin düzgün təşkili və müasir asfalt-beton texnologiyalarının tətbiqi avtomobil yollarının etibarlı və uzunömürlü olmasının əsas şərtlərindən biridir.

Avtomobil yollarının tikintisində istifadə olunan materiallar yolun dayanıqlılığı, istismar müddəti və təhlükəsizliyi baxımından həlledici rol oynayır. Yol konstruksiyasının əsasını təşkil edən materiallara torpaq, qum, çınqıl, qırmadaş, bitum və müxtəlif növ bağlayıcı maddələr daxildir. Bu materialların fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri, xüsusilə möhkəmlik, suya davamlılıq, aşınmaya qarşı dayanıqlıq və temperatur dəyişikliklərinə uyğunlaşma qabiliyyəti yolun keyfiyyətini müəyyən edən əsas amillərdəndir. Müasir tədqiqatlar göstərir ki, materialların düzgün seçilməsi və optimal kombinasiyası yol örtüyünün deformasiya riskini minimuma endirir və onun istismar müddətini uzadır [6, s. 178].

Yol tikintisində geniş istifadə olunan asfalt-beton qarışıqları yüksək elastiklik və yüklərə davamlılıq xüsusiyyətlərinə malikdir. Bu materiallar ağır nəqliyyat axınına uyğunlaşaraq çatların yaranmasının qarşısını alır və örtüyün hamar səthini təmin edir. Eyni zamanda, sement-beton örtüklər də uzunömürlü və yüksək möhkəmlik xüsusiyyətləri ilə seçilir, lakin onların tətbiqi daha çox xüsusi şəraitdə həyata keçirilir. Elmi mənbələrdə qeyd olunur ki, yol tikintisində istifadə olunan materialların keyfiyyəti yalnız onların tərkibindən deyil, həm də istehsal və tətbiq texnologiyasından asılıdır [5, s. 96]. Bu baxımdan, materialların laborator və sahə şəraitində yoxlanılması mühüm mərhələ hesab olunur [9, s. 134].

Yol tikintisi və yenidən qurulması prosesində normativ və texniki tələblərə riayət olunması mühəndis işlərinin keyfiyyətini təmin edən əsas şərtlərdəndir. Bu tələblər yolun həndəsi parametrlərindən tutmuş materialların seçiminə, tikinti texnologiyasından istismar qaydalarına qədər bütün mərhələləri əhatə edir. Azərbaycan Respublikasının müvafiq normativ sənədlərinə əsasən, yol tikintisi zamanı torpaq yatağının hazırlanması, drenaj sistemlərinin təşkili, örtük qatlarının yerləşdirilməsi və təhlükəsizlik elementlərinin qurulması müəyyən olunmuş standartlara uyğun şəkildə həyata keçirilməlidir [3]. Bu qaydalar yolun uzunmüddətli istismarını və təhlükəsizliyini təmin etməyə yönəlib.

Beynəlxalq standartlar da yol tikintisi və rekonstruksiya işlərində mühüm rol oynayır. AASHTO və FHWA kimi təşkilatların hazırladığı normativ sənədlər yolun layihələndirilməsi və tikintisi üçün əsas metodoloji baza rolunu oynayır. Bu sənədlərdə yolun planı, en kəsiyi, radiusları, görünmə məsafəsi və digər texniki göstəricilər üzrə dəqiq tələblər müəyyən edilmişdir [1, s. 112; 4]. Müasir yanaşmalara əsasən, normativ və texniki tələblərin düzgün tətbiqi yalnız yolun keyfiyyətini artırmaqla kifayətlənmir, həm də nəqliyyat təhlükəsizliyinin yüksəldilməsinə və iqtisadi səmərəliliyin təmin olunmasına xidmət edir [8, s. 105]. Beləliklə, keyfiyyətli material seçimi və normativ tələblərə ciddi riayət olunması avtomobil yollarının tikintisi və yenidən qurulmasının əsas prinsiplərini təşkil edir.

Müasir dövrdə avtomobil yollarının tikintisi və yenidən qurulması prosesində ekoloji təhlükəsizlik məsələləri xüsusi aktuallıq kəsb edir. Yol tikintisi zamanı torpaq örtüyünün pozulması, bitki örtüyünün məhv edilməsi, su ehtiyatlarının çirklənməsi və atmosferə zərərli tullantıların atılması kimi mənfi təsirlər müşahidə oluna bilər. Buna görə də müasir yol mühəndisliyində layihələndirmə mərhələsindən başlayaraq ətraf mühitin qorunması tədbirlərinin nəzərə alınması vacib şərt hesab olunur. Elmi mənbələrdə qeyd olunur ki, ekoloji risklərin minimuma endirilməsi üçün tikinti prosesində alternativ materiallardan istifadə, səs-küy səviyyəsinin azaldılması və yaşıllıq zolaqlarının salınması kimi tədbirlər həyata keçirilməlidir [7, s. 88].

Ekoloji təhlükəsizliyin təmin olunması üçün drenaj sistemlərinin düzgün təşkili, torpaq eroziyasının qarşısının alınması və tullantı materiallarının düzgün idarə olunması mühüm əhəmiyyət daşıyır. Normativ sənədlərə əsasən, yol tikintisi zamanı ətraf mühitə təsirin qiymətləndirilməsi aparılmalı və bu təsirlərin azaldılması üçün

konkret tədbirlər planı hazırlanmalıdır [3]. Eyni zamanda, beynəlxalq təcrübəyə əsasən, su hövzələrinə yaxın ərazilərdə xüsusi mühafizə tədbirlərinin görülməsi və filtrasiya sistemlərinin tətbiqi ekoloji balansın qorunmasında mühüm rol oynayır [4]. Bu yanaşmalar yol tikintisinin davamlı inkişaf prinsiplərinə uyğun həyata keçirilməsini təmin edir.

Azərbaycanda son illərdə yol infrastrukturunun inkişafı istiqamətində genişmiqyaslı layihələr həyata keçirilmişdir. Regionlararası yolların yenidən qurulması, beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin inkişafı və kənd yollarının bərpası ölkənin nəqliyyat sisteminin modernləşdirilməsinə mühüm töhfə vermişdir. Bu layihələr çərçivəsində müasir texnologiyalardan istifadə olunmuş, yolların buraxma qabiliyyəti artırılmış və nəqliyyat təhlükəsizliyi səviyyəsi yüksəldilmişdir. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, yol infrastrukturunun inkişafı iqtisadi aktivliyin artmasına və regionların sosial-iqtisadi inkişafına birbaşa təsir edir [5, s. 134].

Eyni zamanda, Azərbaycanda həyata keçirilən yol layihələri beynəlxalq standartlara uyğun şəkildə icra olunur və müasir mühəndis yanaşmalarına əsaslanır. Yol tikintisində keyfiyyətli materiallardan istifadə olunması, normativ tələblərə riayət edilməsi və innovativ texnologiyaların tətbiqi bu sahədə əldə olunan uğurların əsasını təşkil edir [8, s. 119]. Bununla yanaşı, ekoloji təhlükəsizlik məsələlərinə də xüsusi diqqət yetirilir və layihələrdə ətraf mühitin qorunması prinsipləri nəzərə alınır. Beləliklə, həm ekoloji tədbirlərin həyata keçirilməsi, həm də yol infrastrukturunun davamlı inkişafı avtomobil yollarının müasir tələblərə uyğun qurulmasını təmin edən əsas istiqamətlərdəndir.

III. NƏTİCƏ VƏ PRAKTİKİ TƏKLİFLƏR

Aparılan tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, avtomobil yollarının elementlərinin düzgün layihələndirilməsi və yenidən qurulması nəqliyyat sisteminin dayanıqlı və təhlükəsiz fəaliyyətinin təmin olunmasında həlledici rol oynayır. Yol yatağının hazırlanması, drenaj sistemlərinin təşkili, örtük qatlarının seçimi və mühəndis qurğularının düzgün yerləşdirilməsi yolun istismar keyfiyyətini birbaşa müəyyən edən əsas amillərdir. Müasir elmi yanaşmalar göstərir ki, bu elementlərin kompleks şəkildə nəzərə alınması yolların uzunömürlülüyünü artırmaqla yanaşı, onların istismar xərclərini də azaldır [6, s. 201]. Eyni zamanda, normativ tələblərə uyğun layihələndirmə və tikinti işləri yol təhlükəsizliyinin təmin olunmasında əsas şərt kimi çıxış edir [3].

Tədqiqat çərçivəsində müəyyən edilmişdir ki, yol infrastrukturunda mövcud problemlərin aradan qaldırılması üçün müasir texnologiyaların tətbiqi və material seçiminin optimallaşdırılması xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Asfalt-beton örtüklərin keyfiyyətinin artırılması, torpaq yatağının möhkəmləndirilməsi və suyun kənarlaşdırılması sistemlərinin təkmilləşdirilməsi yolların dayanıqlığını əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldir. Bununla yanaşı, beynəlxalq təcrübənin öyrənilməsi və tətbiqi də mühüm rol oynayır, çünki AASHTO və FHWA kimi təşkilatların tövsiyələri müasir yol tikintisinin əsas istiqamətlərini müəyyən edir [1, s. 156; 4].

Praktiki baxımdan, yol tikintisi və yenidən qurulması sahəsində bir sıra təkliflər irəli sürmək mümkündür. İlk növbədə, layihələndirmə mərhələsində geoloji və iqlim şəraitinin daha dəqiq təhlil edilməsi, materialların keyfiyyətinə ciddi nəzarətin təmin olunması və tikinti prosesində texnoloji ardıcıllığın qorunması vacibdir. Bundan əlavə, drenaj sistemlərinin effektivliyinin artırılması, müasir asfalt-beton texnologiyalarının tətbiqi və yol örtüklərinin müntəzəm monitorinqinin aparılması yolların istismar müddətinin uzadılmasına imkan verir [9, s. 167]. Eyni zamanda, yol təhlükəsizliyinin artırılması məqsədilə yol nişanları, işıqlandırma sistemləri və qoruyucu qurğuların təkmilləşdirilməsi tövsiyə olunur [2, s. 49].

Nəticə etibarilə, avtomobil yollarının elementlərinin düzgün təşkili və yenidən qurulması yalnız texniki məsələ deyil, həm də iqtisadi və ekoloji baxımdan mühüm əhəmiyyət daşıyan kompleks prosesdir. Azərbaycanda yol infrastrukturunun inkişafı istiqamətində həyata keçirilən tədbirlər göstərir ki, müasir standartlara uyğun yanaşmaların tətbiqi nəqliyyat sisteminin səmərəliliyini artırır və regionların inkişafına müsbət təsir göstərir [5, s. 182]. Bu baxımdan, gələcəkdə yol tikintisi sahəsində innovativ texnologiyaların geniş tətbiqi, ekoloji təhlükəsizlik tədbirlərinin gücləndirilməsi və beynəlxalq təcrübənin daha geniş şəkildə mənimsənilməsi əsas prioritet istiqamətlər kimi qiymətləndirilməlidir.

ƏDƏBİYYAT

1. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). A Policy on

Geometric Design of Highways and Streets. 7th ed. Washington, DC, 2018.
2. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Roadside Design Guide. 4th ed. Washington, DC, 2011.
3. Azərbaycan Respublikası Nazirlər Kabineti. Avtomobil yollarının tikintisi və yenidən qurulması qaydaları. Bakı, 2017.
4. Federal Highway Administration (FHWA). Geometric Design Publications. Washington, DC, 2023.
5. Garber, N. J. , Hoel, L. A. Traffic and Highway Engineering. 5th ed. Stamford, CT: Cengage Learning, 2015.
6. Huang, Y. H. Pavement Analysis and Design. 2nd ed. Pearson, 2004.
7. Quliyev, A. Nəqliyyat infrastrukturu və müasir yol tikintisi texnologiyaları. Bakı: AzTU nəşriyyatı, 2018.
8. Mannering, F. L. , Washburn, S. S. Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis. 7th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2020.
9. Məmmədov, S. , Əliyev, R. Yol tikintisi və istismarı. Bakı: Elm, 2015.

QLOBAL TƏCHIZAT ZƏNCIRINDƏ RISKLƏRIN IDARƏ OLUNMASI VƏ DAYANIQLILIQ

Yadigarova Aytəkin Təbriz
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası ,
beynəlxalq ticarət və logistika ixtisası , tələbə
Azərbaycan , Bakı
Aytekin.Yadigarova@ascca.edu.az
https://orcid.org/0009-0003-2597-8822

***Xülasə*:** Bu məqalədə təchizat zəncirinin idarə edilməsi (SCM), onun əsas məqsədləri və müasir dövrdə üzləşdiyi risklər təhlil olunmuşdur. Təchizat zəncirində daxili və xarici risklər, onların əməliyyatlara və ümumi səmərəliliyə təsiri izah edilmişdir. Eyni zamanda, risklərin idarə olunması və dayanıqlılığın artırılması üçün rəqəmsal texnologiyaların rolu vurğulanmışdır. IoT, Blockchain, RFID, dronlar, bulud hesablama, RPA, qabaqcıl analitika və ERP sistemləri kimi innovativ həllərin təchizat zəncirində şəffaflıq, çeviklik və operativliyi artırdığı qeyd edilmişdir. Ümumilikdə, bu texnologiyalar müasir təchizat zəncirini daha effektiv, dayanıqlı və rəqabətqabiliyyətli edir.

Açar sözlər: *Təchizat zənciri, risklərin idarə olunması, dayanıqlılıq, rəqəmsal transformasiya, IoT, Blokçeyn ,RFID , avtonom dronlar və nəqliyyat, Cloud Computing, Robotik Proseslərin Avtomatlaşdırılması (RPA), Qabaqcıl analitika, ERP sistemləri.*

I. GİRİŞ

Təchizat Zəncirinin İdarə Edilməsi (SCM) müştərilərin ehtiyac və tələblərini səmərəli şəkildə qarşılamaq məqsədilə məhsulun mənşə nöqtəsindən son istehlakçıya qədər olan mərhələdə müxtəlif qurumlar arasında material, informasiya və maliyyə axınlarının planlaşdırılması, koordinasiyası və idarə olunmasını əhatə edən kompleks prosesi özündə ehtiva edir.

Müasir qlobal iqtisadiyyatda təchizat zəncirləri qeyri-müəyyənliklər, geosiyasi gərginliklər və texnoloji transformasiyalar səbəbindən yüksək həssaslıq mərhələsinə qədəm qoymuşdur. Təchizat Zənciri Risklərinin İdarə Edilməsi (SCRM), zəncir boyu baş verə biləcək kəsilmələri proqnozlaşdırmaq və onların mənfi təsirlərini minimuma endirmək üçün tətbiq olunan sistemli metodologiyadır. Dayanıqlılıq (Resilience) konsepsiyası isə bu risklərin idarə olunmasında daha proaktiv bir yanaşmanı təmsil edərək, sistemin gözlənilməz kənar təsirlərdən sonra öz fəaliyyətini bərpa etmə və yeni şəraitə uyğunlaşma qabiliyyətini ifadə edir.

II. ƏSAS HİSSƏ

Təchizat zəncirinin idarə edilməsi kompleks bir proses olmaqla müxtəlif təchizatçılar və istehsalın bütün mərhələləri arasında qarşılıqlı kordinasiyanın olmasını tələb edir . Təchizat zəncirinin hər hansı bir halqasında yaranan problemlər təchizat zəncirinin ardıcıl mərhələlərinə təsir edərək , ümumi təchizat prosesinin səmərəliliyinə təsir edir .

Təchizat zəncirinin idarə edilməsinin əsas məqsədləri , səmərəlilik , çeviklik, keyfiyyət , əməkdaşlıq və davamlılığın təmin edilməsidir . Səmərəlilik təchizat zəncirində xərc , vaxt və resursların səmərəli şəkildə bölüşdürülməsindən irəli gəlir . Çeviklik dedikdə , dayanıqlılığın təmin edilməsi üçün təchizat zəncirinin xarici və daxili mühit amillərindəki dəyişikliklərə anında və çevik reaksiya immunitetinin olması başa düşülür. Keyfiyyətli məhsul istehsalı müştəri tələblərinə cavab verərək müştəri məmnuniyyətini təmin edilməsinə xidmət edir. Bunun üçün davamlı olaraq istehsalın manitorinqi və qiymətləndirilməsi vacibdir. Təchizat zəncirinin effektiv idarə olunması müxtəlif maraqlı tərəflər – təchizatçılar, istehsalçılar, distribyutorlar, pərakəndə satış subyektləri və son istehlakçılar arasında koordinasiyalı və davamlı əməkdaşlıq münasibətlərinin qurulmasını tələb edir. Bu əməkdaşlıq çərçivəsində məlumatların operativ və şəffaf

mübadiləsi, strateji məqsədlərin uyğunlaşdırılması və ümumi nəticələrin əldə olunması üçün birgə fəaliyyət mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Müasir təchizat zənciri idarəçiliyi yalnız iqtisadi səmərəliliklə məhdudlaşmır, eyni zamanda ekoloji və sosial məsuliyyət prinsiplərini də özündə birləşdirir. Bu baxımdan təşkilatlar tullantıların minimuma endirilməsi, resurslardan səmərəli istifadə, ətraf mühitin qorunması və etik istehsal prinsiplərinin tətbiqi kimi davamlı yanaşmaları öz fəaliyyətlərinə inteqrasiya etməlidirlər. Bu cür yanaşma uzunmüddətli dayanıqlı inkişafın təmin olunmasına xidmət edir.

Risklərin idarə olunması təchizat zəncirinin ümumi davamlılığını və səmərəliliyini təmin etmək üçün potensial təhlükələrin vaxtında müəyyən edilməsi, qiymətləndirilməsi və onların təsirinin minimuma endirilməsi istiqamətində sistemli tədbirlərin həyata keçirilməsini nəzərdə tutur.

Müasir təchizat zəncirləri dinamik və mürəkkəb quruluşa malik olmaqla, müxtəlif risk amillərinin təsirinə məruz qalır. Bu risklər ümumilikdə daxili və xarici risklər olmaqla iki əsas qrupa bölünür. Daxili risklər əsasən təşkilatın öz əməliyyat fəaliyyətindən, idarəetmə mexanizmlərindən və resursların istifadəsindən qaynaqlanır. Xarici risklər isə iqtisadi, siyasi, texnoloji və ekoloji mühitdə baş verən dəyişikliklərlə əlaqədar olaraq yaranır və təşkilatın nəzarətindən kənarda formalaşır. Risklərin təsnifatı aşağıdakı kimi olur:

Təchizat zəncirində yarana biləcək **daxili risklər**

- Logistika və əməliyyat səhvləri (daşınma gecikməsi, anbar idarəetmə problemləri)
- İstehsal problemləri (avadanlıq nasazlığı, keyfiyyət problemi)
- Maliyyə problemi (pul axınının düzgün tənzimlənilməməsi , xərclərin artması)
- İnsan faktoru (səhv qərarlar, işçi çatışmazlığı, qeyri-effektiv idarəetmə)
- Daxili kibertəhlükəsizlik zəiflikləri (sistemlərin düzgün qorunmaması , kiberhücum riski)
- Planlaşdırma və inventar səhvləri (artıq və ya çatışmaz stok)
- Təchizatçı idarəetməsində zəiflik (pis seçim,öhdəiklərin yerinə yetirilməməsi)
- Hüquqi və tənzimləyici risk (sanksiyalar , fəaliyyətin dayandırılması)

Təchizat zəncirində yarana biləcək **xarici risklər** :

- Valyuta dəyişmələri (məzənnədə yaranan dəyişikliklər)
- İqtisadi böhran və inflyasiya (iqtisadi geriləmə və böhranların tələb və təklifdə yaratdığı qeyri-müəyyənliklər)
- Geosiyasi təzyiqlər(müharibə, sanksiyalar, ticarət məhdudiyyətləri)
- Təbii fəlakətlər (zəlzələ, sel, yanğın)
- Qlobal logistika problemləri (limanların bağlanması, nəqliyyat böhranı)
- Qlobal məhsul çatışmazlığı (xammal və məhsul çatışmazlığı)
- Ekoloji və iqlim dəyişiklikləri
- Etik və hüquqi tələblərdə dəyişikliklər (yeni qaydalar və standartlar)
- Xarici kibertəhlükələr (hacker hücumları, beynəlxalq kiber risklər)

Təşkilatlar bu potensial riskləri əvvəlcədən müəyyən etməli, onların təsirini minimuma endirməli və gözlənilməz hallara qarşı daha çevik reaksiya verməlidirlər. Bu baxımdan , rəqəmsal texnologiyaların təchizat zəncirinin idarə edilməsinə inteqrasiyası müasir dövrdə yalnız səmərəliliyin artırılması ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda daxili və xarici mühit risklərinin qarşısının alınmasında mühim əhəmiyyət daşıyır . Rəqəmsal imkanların bu sahəyə tətbiqi təchizat zəncirində şəffaflığın artırılmasına, real vaxt rejimində məlumat mübadiləsinin təmin olunmasına və operativ qərar qəbuletmə prosesinin gücləndirilməsinə şərait yaradır.

Eyni zamanda, rəqəmsal texnologiyalar təchizat zəncirinin dayanıqlığını artıraraq müxtəlif şoklara qarşı daha davamlı sistem formalaşdırır. Bu isə həm daxili əməliyyatların optimallaşdırılmasına, həm də xarici mühitdə baş verən dəyişikliklərə uyğunlaşma qabiliyyətinin yüksəldilməsinə xidmət edir. Bəs bu rəqəmsal imkanlar hansılardır ?

- **Əşyaların İnterneti (IoT)-** İnternetə qoşulan fiziki cihazların, sensorların və sistemlərin qarşılıqlı əlaqə yaradaraq məlumat toplaması və mübadiləsi aparmasını təmin edən texnologiyadır. Bu cihazlar real vaxt

rejimində məlumat ötürərək proseslərin avtomatlaşdırılmasına, nəzarətin gücləndirilməsinə və daha effektiv qərarların qəbul edilməsinə imkan yaradır. IoT texnologiyası xüsusilə logistika və təchizat zəncirində malların izlənməsi, avadanlıqların monitorinqi və əməliyyatların optimallaşdırılması baxımından mühüm rol oynayır.

- **Blockchain-** məlumatların bloklar şəklində xronoloji ardıcıllıqla saxlandığı, kriptoqrafiya ilə qorunan və paylanmış şəbəkə üzərində işləyən mərkəzləşdirilməmiş rəqəmsal verilənlər bazasıdır. Burada məlumatlar bir mərkəzi qurumda deyil, şəbəkəyə qoşulmuş çoxsaylı kompüterlərdə saxlanılır. Bu isə məlumatların şəffaf, təhlükəsiz və dəyişdirilməsi çətin olmasını təmin edir. Blokçeyndə hər yeni blok əvvəlki bloka kriptoqrafik şəkildə bağlanır və bu struktur sistemin bütövlüyünü qoruyur.
- **RFID (Radio Frequency Identification)** - Radio tezlik siqnalları vasitəsilə obyektlərin təmassız şəkildə identifikasiyasını və izlənilməsini təmin edən texnologiyadır. Bu sistem oxuyucu qurğu və elektron etiketlər (transponderlər) vasitəsilə məlumatların simsiz şəkildə ötürülməsinə əsaslanır. RFID texnologiyası ənənəvi barkod sistemlərindən fərqli olaraq uzaq məsafədən oxuma, eyni anda bir neçə obyektin tanınması və sərt mühitlərdə işləmə imkanı ilə seçilir. Bu xüsusiyyətlər onu logistika və təchizat zəncirində malların real vaxt rejimində izlənilməsi və idarə olunması üçün effektiv alətə çevirir.
- **Dronlar və avtonom nəqliyyat- Ş**əhər və logistika sahələrində sürətli və səmərəli çatdırılmanı təmin edən, insan müdaxiləsi olmadan işləyə bilən uçan cihazlardır. Onlar xüsusilə "son mil çatdırılması" prosesində təchizat zəncirini optimallaşdırır, tıxaclardan asılı olmadan yük və məhsulların daha tez ünvanlara çatdırılmasına imkan verir. Eyni zamanda, şəhər monitorinqi və fövqəladə hallarda məlumat toplanması kimi sahələrdə də istifadə olunur.
- **Cloud Computing(Bulud hesablama)-** Məlumatların və proqramların yerli cihazlarda deyil, internet üzərindən uzaq serverlərdə (buludda) saxlanılması və işlədilməsi texnologiyasıdır. Bu texnologiya istifadəçilərə server, yaddaş, proqram təminatı və verilənlər bazası kimi resurslara internet vasitəsilə çıxış imkanı verir. Cloud Computing sayəsində yüksək texniki avadanlığa ehtiyac azalır, xərclər optimallaşır və sistemlərin idarə olunması daha asan və çevik olur.
- **RPA (Robotic Process Automation)** - proqram robotlarının təkrarlanan və qaydaya əsaslanan işləri avtomatik yerinə yetirdiyi texnologiyadır. Bu robotlar məlumat daxil etmə, faylların idarə edilməsi və əməliyyatların emalı kimi prosesləri insan kimi sistemlərdə icra edərək daha sürətli və dəqiq nəticə əldə etməyə imkan verir. RPA təşkilatlarda əməliyyatları sadələşdirir, səhvləri azaldır və işçilərə daha yaradıcı və strateji işlərə fokuslanmaq imkanı yaradır. Süni intellekt ilə birləşdirildikdə isə RPA daha ağıllı avtomatlaşdırma sistemlərinə çevrilərək mürəkkəb biznes proseslərinin icrasını da mümkün edir.
- **Qabaqcıl Analitika-** böyük həcmli məlumatlardan gizli nümunələri aşkar etmək, gələcək tendensiyaları proqnozlaşdırmaq və daha dəqiq qərarlar vermək üçün statistik metodlar, maşın öyrənməsi və süni intellekt kimi müasir texnologiyalardan istifadə edən analitik yanaşmadır. Təchizat zənciri kontekstində isə qabaqcıl analitika məhsulun istehsalçılardan istehlakçılara qədər olan hərəkətini daha effektiv idarə etmək üçün istifadə olunur. Məsələn, tələbin proqnozlaşdırılması, anbar ehtiyatlarının optimallaşdırılması, daşınma marşrutlarının planlaşdırılması və risklərin (gecikmə, çatışmazlıq və s.) əvvəlcədən müəyyən edilməsi kimi proseslərdə mühüm rol oynayır.
- **ERP sistemi (Müəssisə Resurslarının Planlaşdırılması) -** Müəssisənin əsas biznes proseslərini vahid informasiya sistemi çərçivəsində birləşdirən və idarə edən proqram təminatıdır. Bu sistem istehsal, maliyyə, satış, insan resursları və təchizat zənciri kimi funksiyaların inteqrasiyasını təmin edərək məlumatların mərkəzləşdirilmiş şəkildə idarə olunmasına imkan yaradır. ERP sistemlərinin tətbiqi əməliyyatların avtomatlaşdırılmasına, məlumat mübadiləsinin sürətlənməsinə və qərarvermə prosesinin daha effektiv həyata keçirilməsinə şərait yaradır. Nəticə etibarilə, müəssisələrdə səmərəlilik artır, xərclər azalır və idarəetmə daha şəffaf olur.

III. NƏTİCƏ

Nəticə olaraq, təchizat zəncirinin idarə edilməsi müasir biznes mühitində səmərəlilik, çeviklik və dayanıqlığın təmin olunmasında əsas rol oynayır. Qloballaşma və risklərin artması bu sistemin daha mürəkkəb və həssas

olmasına səbəb olsa da, rəqəmsal texnologiyaların (IoT, Blockchain, RFID, bulud hesablama, RPA, qabaqcıl analitika və ERP sistemləri) tətbiqi təchizat zəncirinin daha şəffaf, operativ və idarəolunan olmasına imkan yaradır. Bu texnologiyalar sayəsində məlumat axını real vaxt rejimində təmin olunur, qərarvermə prosesləri sürətlənir və risklərin təsiri minimuma endirilir. Eyni zamanda, təchizat zənciri daha dayanıqlı və çevik hala gələrək daxili və xarici dəyişikliklərə daha effektiv uyğunlaşır.

ƏDƏBİYYAT

1. https://unec.edu.az/application/uploads/2022/05/Eminova-Nigar-M-tin.pdf
2.http://openaccess.aztu.edu.az/xmlui/bitstream/handle/123456789/109/R%C6%8FQ%C6%8FMSAL%20%C4%B0MKANLARLA%20T%C6%8FCH%C4%B0ZAT%20Z%C6%8FNC%C4%B0R%C4%B0N%C4%B0N%20T%C6%8FKM%C4%B0LL%C6%8F%C5%9ED%C4%B0R%C4%B0LM%C6%8FS%C4%B0.pdf?sequence=1&isAllowed=y
3. https://azeriexpress.com/pdf/iso/risk-management-policy.pdf
4. https://cert.az/news/2024/etx-techizat-zenciri-tovsiye
5.https://1c.optima.az/az/posts/erp-proqrami-nedir-ve-onun-haqqinda-neleri-bilmelisiniz
6.https://az.scivas.com/blog/rfid-technology-and-its-application-in-temperature-sensors.html
7. https://fiberroad.com/az/resources/resources/what-is-the-internet-of-things-iot/
8. https://www.binance.com/az-AZ/academy/articles/what-is-blockchain-and-how-does-it-work
9.https://pitstech.az/2024/07/cloud-computing-n%C9%99dir-bulud-novl%C9%99ri-bulud-xidm%C9%99t-modell%C9%99ri/
10. https://www.uipath.com/rpa/robotic-process-automation
11. https://www.solix.com/az/kb/advanced-analytics/
12. https://tehsil365.news/az/news/37154/

İSTEHSALATIN PLANLAŞDIRILMASINDA XAMMAL EHTİYATLARININ İDARƏ EDİLMƏSİ VƏ MÜASİR YANAŞMALAR

Hüseyn Qurbanov *Bakı Mühəndislik Universiteti* *Mühəndislik, Sənaye mühəndisliyində innovativ texnologiyalar* Xırdalan, Azərbaycan Hqurbanov7@std.beu.edu.az	Vasif Kərimov *Bakı Mühəndislik Universiteti* *Mühəndislik, Sənaye mühəndisliyində innovativ texnologiyalar* Xırdalan, Azərbaycan vkerimov@beu.edu.az

***Abstrakt*:** Bu məqalədə istehsalatın planlaşdırılması kontekstində xammal ehtiyatlarının idarə edilməsinin nəzəri əsasları və bu sahədə tətbiq olunan müasir yanaşmalar təhlil olunur. Tədqiqat xammal ehtiyatlarını yalnız operativ anbar göstəricisi kimi deyil, tələbin proqnozlaşdırılması, əsas istehsal planı, material ehtiyaclarının hesablanması, təchizatçıların etibarlılığı, xidmət səviyyəsi hədəfləri və icra geribildirimi ilə əlaqəli strateji planlaşdırma dəyişəni kimi təqdim edir. Məqalədə MRP, JIT, DDMRP, təhlükəsizlik ehtiyatı modelləri, ABC/MCABC/ABC-XYZ təsnifatı, ERP/MES/APS inteqrasiyası, rəqəmsal monitorinq, süni intellekt əsaslı analitika, rəqəmsal əkiz və yenidən-cədvəlləşdirmə yanaşmaları nəzərdən keçirilir.

Açar sözlər**:** *Xammal ehtiyatı; istehsalatın planlaşdırılması; MRP; JIT; DDMRP; təhlükəsizlik ehtiyatı; ABC-XYZ; MCABC; ERP; MES; APS; rəqəmsal monitorinq; süni intellekt; rəqəmsal əkiz; yenidən-cədvəlləşdirmə.*

1. GIRIŞ

Müasir istehsal müəssisələrində xammal ehtiyatlarının səviyyəsi məhsulun vaxtında buraxılışı, güclərdən istifadə, xidmət səviyyəsi və dövriyyə kapitalı ilə birbaşa bağlıdır. Xammalın gecikməsi, artıq sifarişi və ya planlaşdırılmamış çatışmazlığı yalnız satınalma probleminə çevrilmir; bu hallar cədvəl pozuntularına, əlavə xərclərə, təcili sifarişlərə və boşdayanmalara səbəb olur [1], [4], [6]. Buna görə xammal ehtiyatlarının idarə olunması istehsalatın planlaşdırılmasından kənarda nəzərdən keçirilə bilməz.

Elmi ədəbiyyatda bu inteqrasiya daha da güclənir. MRP mühitində materialların vaxt fazalarına görə hesablanması əsas istehsal planı ilə sıx əlaqəlidir, lean və JIT mühitində isə axının sabitliyi və israfın azaldılması eyni dərəcədə vacibdir [3], [15]. Daha yeni tədqiqatlar təhlükəsizlik ehtiyatının yerləşdirilməsi, risklərin nəzərə alınması, ERP-MES-APS inteqrasiyası, rəqəmsal monitorinq və lazım gəldikdə yenidən-planlaşdırmanın xammal idarəetməsinin ayrılmaz hissəsinə çevrildiyini göstərir [5], [9], [16], [17].

2. NƏZƏRI ƏSASLAR

Xammal ehtiyatı istehsal prosesinə daxil olmamış, lakin gələcək istehsal üçün saxlanılan material ehtiyatıdır. Rəsmi inventar idarəetmə yanaşmalarında məqsəd sadəcə ehtiyatı azaltmaq deyil; məqsəd tələb və istehsal fasiləsizliyi üçün kifayət qədər ehtiyat saxlamaq, eyni zamanda saxlanma və kapital xərclərini nəzarətdə saxlamaqdır [1]. Elmi baxımdan bu vacibdir, çünki xammal ehtiyatı passiv anbar qalığı deyil, qeyri-müəyyənlik altında qəbul edilən planlaşdırma qərarıdır.

İstehsal sistemlərində xammal tampon funksiyasını yerinə yetirir. O, tələbin dəyişməsi, təchizatçının gecikməsi, logistika pozuntuları və daxili istehsalat nasazlıqlarından yaranan qeyri-müəyyənliyin bir hissəsini udur. Lakin hər tamponun xərc effekti var. Buna görə nəzəri təhlilin mərkəzində xərc-xidmət kompromisi dayanır: bufer artdıqca çatışmazlıq riski azalır, lakin orta inventar və onun maliyyəti artır [4], [5].

Klassik inventar məntiqində sifariş xərci, saxlanma xərci, çatışmazlıq xərci və bir çox hallarda koordinasiya və yenidən-cədvəlləşdirmə xərci əsas kateqoriyalardır. Təhlükəsizlik ehtiyatı üzrə sistemli icmal göstərir ki, qeyri-müəyyənlik əsasən tələbin variasiyası, lead time variasiyası, satınalma riski və pozuntu ehtimalı üzərindən inventar siyasətinə daxil olur [5]. Buna görə təhlükəsizlik ehtiyatı təsadüfi faizlə deyil, lead time ərzində tələbin variasiyası əsasında hesablanmalıdır.

Bütün xammallar eyni siyasətlə idarə olunmamalıdır. İstehsal üçün kritik, lakin dəyəri aşağı olan material praktikada yüksək dəyərli, lakin asan əvəzlənən materialdan daha ciddi nəzarət tələb edə bilər. Bu səbəbdən son tədqiqatlar tək ölçülü ABC analizinin məhdudluqlarını vurğulayır və MCABC və ABC-XYZ kimi yanaşmaların daha əsaslandırılmış olduğunu göstərir [11].

3. İSTEHSALATIN PLANLAŞDIRILMASI ILƏ XAMMAL EHTIYATLARI ARASINDAKI ƏLAQƏ

İstehsalatın planlaşdırılması ilə xammal ehtiyatları arasındakı əlaqə struktur xarakter daşıyır. Tələb proqnozları və sifarişlər əsas istehsal planını formalaşdırır, plan BOM vasitəsilə material tələbinə çevrilir, sonra isə həmin tələb satınalma sifarişləri və ya istehsal əmrləri şəklində vaxt fazalarına bölünür [1], [3]. Sabit mühitdə bu ardıcıllıq sadə görünə bilər, lakin real istehsalatda hər mərhələdə qeyri-müəyyənlik toplandığından material siyasəti planlaşdırma prosesi ilə davamlı əlaqələndirilməlidir.

İnteqrasiya olunmuş modellər göstərir ki, xammal sifarişi, istehsal gücü və istehsal miqdarı vaxt və kəmiyyət qeyri-müəyyənliyi altında qarşılıqlı təsir göstərir [6]. Yüksək texnologiyalı istehsalat nümunələri isə təhlükəsizlik ehtiyatı planlaşdırmasının əsas istehsal planından ayrı aparılmasının qlobal səmərəliliyi zəiflətdiyini göstərir [7].

Lead time planlama ilə inventarı birləşdirən ən mühüm dəyişənlərdən biridir. Təchizatçı lead time müddəti uzandıqca və ya qeyri-sabit olduqca sistemin tələblə üzləşdiyi risk pəncərəsi genişlənir və əlavə bufer ehtiyacı yaranır [5]. Eyni zamanda, iri partiyalar sifariş sayını azalda bilər, lakin orta inventarı artırır və reaksiyanı zəiflədir.

4. MÜASIR YANAŞMALAR

MRP strukturlaşdırılmış istehsalatlarda tələb, BOM və vaxt fazalarını əlaqələndirdiyi üçün hələ də əsas planlaşdırma mexanizmlərindən biridir. Onun güclü tərəfi formallıq və koordinasiyadır; zəif tərəfi isə natamam master data, qeyri-sabit lead time və cədvəl həssaslığıdır [1], [3]. JIT isə axının sürətləndirilməsi, israfın

azaldılması və sinxron təminetmə məntiqini önə çıxarır. Müasir mənbələr göstərir ki, turbulent təchizat şəraitində JIT sıfır ehtiyat kimi başa düşülməməlidir [15].

DDMRP son illərdə daha çox diqqət cəlb edir, çünki o, MRP-nin strukturunu tələb-yönümlü buferlər və decoupling logic ilə birləşdirməyə çalışır. Ədəbiyyat onu volatil mühitlərdə daha çevik alternativ və ya tamamlayıcı mexanizm kimi təqdim edir [8]. Onun dəyəri material seçimi, bufer parametrləri və məlumat keyfiyyətindən asılıdır.

ERP müəssisə səviyyəsində əsas məlumatları və tranzaksiyaları idarə edir, MES sexdə faktiki icranı və material sərfini izləyir, APS isə qabaqcıl planlaşdırma və cədvəlləşdirmə məntiqini təmin edir. Smart production planning tədqiqatları göstərir ki, bu alətlər yalnız inteqrasiya olduqda real fayda verir [9], [16], [17].

Süni intellekt və data analitikasının güclü tərəfi qərarları dəqiqləşdirməkdir. Ən güclü sübutlar tələbin proqnozlaşdırılması, lead time prediction və stockout prediction sahələrində görünür [12]. Rəqəmsal əkiz yanaşması isə real məlumatla qidalanan virtual model vasitəsilə ssenariləri sınamağa və yenidən-cədvəlləşdirmə qərarlarını əvvəlcədən qiymətləndirməyə imkan yaradır [13], [14].

5. EMPIRIK METODOLOGIYA VƏ MÜƏSSISƏ NÜMUNƏSI ŞABLONU

Konkret müəssisə datası olmadığından ən uyğun empirik dizayn tək müəssisə üzrə analitik case study-dir. Bu yanaşma mövcud siyasətin diaqnostikasını, məlumatların təmizlənməsini, materialların təsnifatını, proqnoz modellərinin müqayisəsini, inventar siyasətinin yenidən qurulmasını və müdaxilədən əvvəl-sonra KPI müqayisəsini özündə birləşdirməlidir [6], [7], [10], [12].

Magistr səviyyəli məqalə üçün yığcam, lakin elmi baxımdan yetərli formula dəstinə EOQ, sifariş nöqtəsi, təhlükəsizlik ehtiyatı, lead time ərzində tələbin standart kənarlaşması və aqreqat planlaşdırma modeli daxil edilə bilər. Bu formulalar cari praktikanı formal qərar qaydaları ilə müqayisə etməyə imkan verir.

Müəssisə nümunəsində minimum olaraq müəssisənin adı, sahəsi, məhsul ailəsi, kritik xammallar, planlaşdırma üfüqü, tələb tarixi, lead time göstəriciləri, minimum sifariş məhdudiyyətləri, cari inventar siyasəti, xidmət səviyyəsi hədəfi, istifadə edilən rəqəmsal sistemlər, pozuntu jurnalı və baza KPI-lar göstərilməlidir.

Empirik hissə üçün tövsiyə olunan əsas formulalar aşağıda təqdim olunur.

$EOQ = \sqrt{(2DS / H)}$

$ROP = \bar{d}\bar{L} + SS$

$SS = z\sigma DL$

$\sigma DL = \sigma d\sqrt{\bar{L}}$ *(if only demand varies)*

$\sigma DL = \sqrt{(\bar{L}\sigma d^2 + \bar{d}^2\sigma L^2)}$ *(if demand and lead time vary independently)*

CƏDVƏL 1. MÜƏLLIF TƏRƏFINDƏN DOLDURULMALI PRAKTIKI MÜƏSSISƏ NÜMUNƏSI ŞABLONUNU TƏQDIM EDIR

Məlumat sahəsi	Müəllif daxil etməlidir	Vahid/format	Analitik məqsəd
Müəssisənin adı	[Müəssisənin adını daxil edin]	Mətn	Kontekst və xarici etibarlılıq
Sektor və məhsul ailəsi	[Sahə və məhsul ailəsini daxil edin]	Mətn	Tədqiqat sərhədi
Kritik xammallar	[Əsas SKU/material kodlarını daxil edin]	SKU/kod	Əhatə dairəsi
Planlaşdırma üfüqü	[Həftəlik/aylıq üfüqü daxil edin]	Zaman intervalı	Modelin detallılığı
Tələb tarixi	[12-36+ ay məlumat daxil edin]	Dövr üzrə vahid	Proqnoz təhlili
Təchizatçı lead time	[Orta, SD, min, max daxil edin]	Gün/həftə	ROP və SS hesablaması
Cari siyasət	[Mövcud replenishment məntiqini daxil edin]	Mətn	Baza xətti müqayisəsi
Baza KPI-lar	[Stockout rate, turns, cost, OTIF və s. daxil	Rəqəm	Əvvəl-sonra qiymətləndirmə

	edin]		

CƏDVƏL 2. ƏSAS ANALITIK METODLARI VƏ ONLARIN MƏLUMAT TƏLƏBLƏRINI MÜQAYISƏ EDIR

Metod	**Minimum tələb olunan məlumat**	**Üstünlük**	**Məhdudiyyət**	**Uyğun istifadə halı**
EOQ	İllik tələb, sifariş xərci, saxlanma xərci	Sadə və şəffaf	Dəyişkənliyi birbaşa nəzərə almır	Sabit satınalma mühiti
ROP + Təhlükəsizlik ehtiyatı	Tələb tarixi, lead time, xidmət səviyyəsi	Qeyri-müəyyənliyə qarşı qoruyur	Zəif məlumatda həssasdır	Standart xammal nəzarəti
ABC	İllik istehlak dəyəri	Sürətli prioritetləşdirmə	Çox dar baxış	İlkin təsnifat
MCABC / ABC-XYZ	Dəyər + dəyişkənlik + kritiklik + lead time	Daha düzgün prioritet	Daha çox məlumat tələb edir	Qarışıq riskli material portfeli
Hərəkətli orta / SES	Zaman sırası tarixi	Sadə və stabil	Mürəkkəb nümunələrdə zəifdir	Sabit tələb
ML modelləri	Böyük və zəngin dataset	Qeyri-xəttiliyi tutur	Şərhi çətindir	Mürəkkəb, yüksək həcmli məlumat

6. KPI PANELI, TƏTBIQ ADDIMLARI VƏ VIZUALLAR

Güclü empirik məqalə həm proqnoz dəqiqliyini, həm də əməliyyat nəticələrini ölçməlidir. Yalnız proqnoz xətası inventar nəticəsini tam izah etmir; aşağı statistik xəta həmişə daha yaxşı inventar qərarı demək deyil. Buna görə KPI dəstinə MAE, RMSE, MAPE və ya sMAPE, bias, cycle service level, fill rate, stockout rate, average inventory, holding cost və inventory turns daxil edilməlidir.

Praktik tətbiq mərhələli qurulmalıdır: item master data və lead time göstəricilərinin auditi; materialların segmentləşdirilməsi; proqnoz üsullarının müqayisəsi; ROP və təhlükəsizlik ehtiyatının yenidən qurulması; satınalma qaydalarının MPS/MRP məntiqi ilə uzlaşdırılması; rəqəmsal sistemlərin inteqrasiyası; kritik materiallarda pilot tətbiq; məlumat yetkinliyi formalaşdıqdan sonra rəqəmsal əkiz və qabaqcıl yenidən-cədvəlləşdirmə alətlərinin tətbiqi [10], [13], [16], [17].

Yekun məqalədə əsas xammallar üzrə faktiki tələb və proqnoz qrafiki, ABC-XYZ və ya MCABC matrisi, xidmət səviyyəsi ilə təhlükəsizlik ehtiyatı arasındakı həssaslıq qrafiki və əvvəl-sonra KPI panelinin verilməsi məqsədəuyğundur.

CƏDVƏL 3. YEKUN EMPIRIK TƏHLIL ÜÇÜN TÖVSIYƏ OLUNAN KPI PANELINI ÜMUMILƏŞDIRIR

KPI	**Tərif**	**Şərh**	**Hədəf istiqamət**
MAE	Orta mütləq xəta	Proqnoz dəqiqliyi	Aşağı
RMSE	Kök orta kvadrat xəta	Böyük xətaları daha çox cəzalandırır	Aşağı
MAPE / sMAPE	Faiz ifadəsində xəta	Nisbi xəta baxışı	Aşağı
Bias	Orta işarəli xəta	Artıq və ya az proqnoz meyli	0-a yaxın
Cycle service level	Dövrdə stockout	Xidmət etibarlılığı	Yüksək

	olmama ehtimalı		
Fill rate	Tələbin stokdan ödənən hissəsi	Xidmət performansı	Yüksək
Stockout rate	Çatışmazlıq hadisələrinin payı	Əməliyyat riski	Aşağı
Orta inventar	Orta stok səviyyəsi	Kapital bağlılığı	Xidmət qorunmaqla aşağı

CƏDVƏL 4 TÖVSIYƏ OLUNAN TƏTBIQ ADDIMLARINI TƏQDIM EDIR

Addım	**Tövsiyə olunan fəaliyyət**	**Gözlənilən nəticə**
1	Item master data, təchizatçı lead time və tranzaksiya intizamını audit et	Etibarlı planlama bazası
2	Materialları ABC-XYZ və ya MCABC ilə segmentləşdir	Siyasət fərqləndirilməsi
3	Material ailələri üzrə proqnoz üsullarını müqayisə et	Məqsədəuyğun proqnoz
4	ROP və təhlükəsizlik ehtiyatını xidmət səviyyəsinə görə yenidən qur	Formal bufer idarəetməsi
5	Satınalma qaydalarını MPS/MRP məntiqi ilə uzlaşdır	Vaxt fazalı material axını
6	Kritik materiallarda pilot tətbiq et, KPI-ları ölç, sonra genişləndir	Nəzarətli öyrənmə

7. NƏTICƏ

Ədəbiyyat xammal ehtiyatlarının idarə edilməsinə dair aydın nəticə verir: bu funksiya ayrıca stok nəzarəti tapşırığı kimi deyil, istehsalatın planlaşdırılması sisteminin ayrılmaz hissəsi kimi qurulmalıdır. Elmi baxımdan ən əsaslandırılmış yanaşma proqnozları, MPS/MRP məntiqini, lead time məlumatlarını, xidmət səviyyəsini, material təsnifatını və icra geribildirimini birləşdirən inteqrasiya olunmuş yanaşmadır [1], [3], [5], [6].

Klassik metodlar istifadəyə davam edə bilər, lakin onlar formal təhlükəsizlik ehtiyatı hesablamaları, zənginləşdirilmiş nomenklatura təsnifatı, rəqəmsal görünürlük və dəyişkən mühitlərdə çevik yenidən-planlaşdırma ilə tamamlanmalıdır [2], [8], [9], [13], [14]. Süni intellekt, rəqəmsal əkiz və yenidən-cədvəlləşdirmə əməliyyatların idarə edilməsini əvəz etmir; onlar düzgün qurulmuş məlumat və planlaşdırma intizamı üzərində qərar dəstək qatını gücləndirir.

ƏDƏBIYYAT

[1] ASCM, “What Is Inventory Management?”, official resource. Available: https://www.ascm.org/topics/inventory-management/

[2] ASCM, “Safety stock: A contingency plan to keep supply chains flying high,” official resource, 2025. Available: https://www.ascm.org/ascm-insights/safety-stock-a-contingency-plan-to-keep-supply-chains-flying-high/

[3] W. C. Benton and H. Shin, “Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration,” European Journal of Operational Research, vol. 110, no. 3, pp. 411-440, 1998. doi: 10.1016/S0377-2217(98)00080-0.

[4] P. Jonsson and S.-A. Mattsson, “Inventory management practices and their implications on perceived planning performance,” International Journal of Production Research, vol. 46, no. 7, pp. 1787-1812, 2008. doi: 10.1080/00207540600988071.

[5] J. Barros, P. Cortez, and M. S. Carvalho, “A systematic literature review about dimensioning safety stock under uncertainties and risks in the procurement process,” Operations Research Perspectives, vol. 8, art. no. 100192, 2021. doi: 10.1016/j.orp.2021.100192.

[6] W. Xu and D.-P. Song, "Integrated optimisation for production capacity, raw material ordering and production planning under time and quantity uncertainties based on two case studies," Operational Research, vol. 22, pp. 2343-2371, 2022. doi: 10.1007/s12351-020-00609-y.
[7] T. Fleuren et al., "Integrated production and safety stock planning in high-tech manufacturing: a comparative study at ASML," Flexible Services and Manufacturing Journal, 2025. doi: 10.1007/s10696-025-09634-5.
[8] A. Azzamouri, P. Baptiste, G. Dessevre, and R. Pellerin, "Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP): A systematic review and classification," Journal of Industrial Engineering and Management, vol. 14, no. 3, pp. 439-456, 2021. doi: 10.3926/jiem.3331.
[9] L. Grützner, D. Voss, and M. H. Breitner, "Mature inventory management for supply chain automation: An interlinked process-reference model," Electronic Markets, vol. 35, art. no. 34, 2025. doi: 10.1007/s12525-025-00783-x.
[10] O. E. Oluyisola, S. Bhalla, F. Sgarbossa, and J. O. Strandhagen, "Designing and developing smart production planning and control systems in the Industry 4.0 era: a methodology and case study," Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 33, pp. 311-332, 2022. doi: 10.1007/s10845-021-01808-w.
[11] F. M. Theunissen, C. N. Bezuidenhout, and S. Alam, "Exploring the shortcomings in formal criteria selection for multicriteria decision making based inventory classification models," International Journal of Production Research, vol. 62, no. 19, pp. 7279-7299, 2024. doi: 10.1080/00207543.2024.2320680.
[12] H. J. Wahedi et al., "Forecasting and Inventory Planning: An Empirical Investigation of Classical and Machine Learning Approaches," Applied Sciences, vol. 13, no. 15, art. no. 8581, 2023. doi: 10.3390/app13158581.
[13] N. Ouahabi, A. Chebak, O. Kamach, O. Laayati, and M. Zegrari, "Leveraging digital twin into dynamic production scheduling: A review," Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 89, art. no. 102778, 2024. doi: 10.1016/j.rcim.2024.102778.
[14] P. Singh, K. Krishnan, and E. Boldsaikhan, "A Review of Production Scheduling with Artificial Intelligence and Digital Twins," Journal of Manufacturing and Materials Processing, vol. 10, no. 1, art. no. 6, 2026. doi: 10.3390/jmmp10010006.
[15] T. Y. Choi, T. H. Netland, N. R. Sanders, M. S. Sodhi, and S. M. Wagner, "Just-in-time for supply chains in turbulent times," Production and Operations Management, vol. 32, no. 7, pp. 2331-2340, 2023. doi: 10.1111/poms.13979.
[16] E. Arica and D. J. Powell, "A framework for ICT-enabled real-time production planning and control," Advances in Manufacturing, vol. 2, pp. 158-164, 2014. doi: 10.1007/s40436-014-0070-5.
[17] K. M. Eriksson, L. Carlsson, and A. K. Olsson, "To digitalize or not? Navigating and merging human- and technology perspectives in production planning and control," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 122, pp. 4365-4373, 2022. doi: 10.1007/s00170-022-09874-x.

SƏRNİŞİN DAŞIMA XİDMƏTLƏRİNİN TƏŞKİL VƏ STATİSTİK QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Murad Gülməmmədov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik / Logistika və nəqliyyat
mglmmmdv@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalədə müasir iqtisadiyyatın və sosial infrastrukturun mühüm tərkib hissəsi olan sərnişin daşıma xidmətlərinin
təşkili prinsiplərinə toxunulmuşdur. Həmçinin Azərbaycanda sərnişin daşıma ilə bağlı onların statistik qiymətləndirilmə kompleks şəkildə araşdırılmışdır. İşin giriş hissəsində avtobusların hərəkət sürətinə təsir edən amillər yol şəraiti, texniki vəziyyət və hava amilləri təhlil edilərək, nəqliyyat sisteminin effektivliyinin sərnişin məmnuniyyəti ilə birbaşa korrelyasiyası əsaslandırılmışdır. Ədəbiyyat icmalı və metodologiya bölmələrində rəqəmsal texnologiyaların (GPS, elektron bilet) rolu, sərnişin axını, sıxlıq əmsalı və iqtisadi səmərəlilik göstəriciləri elmi metodlarla şərh olunmuşdur. 2017–2024-cü illəri əhatə edən statistik təhlillər nəqliyyat sektorunun inkişafını, xüsusilə 2020-ci il pandemiya böhranından sonra 2024-cü ildə qeydə alınan rekord (2.088.196 min nəfər) bərpa meyllərini ortaya qoyur. Nəticədə urbanizasiya prosesinin sürətlənməsi fonunda şəhərdaxili nəqliyyatın idarə olunmasında innovativ yanaşmaların və marşrut optimallaşdırılmasının zəruriliyi qeyd edilmişdir.

***Açar sözlər*:** Sərnişin daşıma, statistik təhlil, müasir tendensiyalar, nəqliyyat sahəsi.

I. GİRİŞ

İctimai sərnişindaşıma sisteminin düzgün qurulması vacibdir, çünki mövcud nəqliyyat sistemi tıxac, ətraf mühitə təsir və ictimai məkandan istifadə kimi məlum problemlərlə üzləşir. İctimai nəqliyyat sistemləri müştərilərin ehtiyaclarını nəzərə almamağa meyllidir ki, bu da nəticədə sərnişin sayının azalmasına səbəb olur. Sərnişin daşımada ən çox iştirak edən nəqliyyat vasitəsi kimi avtobusları qeyd edə bilər. Belə ki, avtobus sürətində baş verən dəyişikliklər, ictimai nəqliyyat sisteminin ümumi effektivliyi ilə yanaşı, sərnişin məmnuniyyəti baxımından da mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Avtobusların hərəkət sürəti yalnız çatma müddətinə təsir göstərmir, həm də sərnişin davranışına, marşrutun rahatlığına, habelə xidmət keyfiyyətinə birbaşa təsir edir. Bu baxımdan yanaşdıqda, sürət dəyişkənliyinin səbəbləri çoxşaxəli xarakter daşıyır və geniş amillər sistemini əhatə edir. Eyni zamanda, nəqliyyat vasitələrinin texniki vəziyyəti ilə sürücülərin peşəkar təcrübəsi də sürətin dəyişməsinə ciddi təsir göstərən əsas amillər sırasındadır. Şəhər mühitində yol şəraiti xüsusilə mühüm rol oynayır. Dar küçələr, intensiv hərəkət, tıxaclar, aparılan yol-təmir işləri və digər nəqliyyat vasitələrinin sıxlığı avtobusların hərəkət sürətini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Bununla yanaşı, hava şəraiti yağış, qar və ya duman kimi hallar sürücülərin təhlükəsizlik baxımından daha ehtiyatlı davranmasına səbəb olur, nəticədə isə sürət aşağı düşür. Bu isə sərnişin daşımada problemlər yaradır.

Marşrutların planlaşdırılması və inzibati yanaşmalar da avtobusların sürətinə birbaşa təsir edən mühüm faktorlar hesab olunur. Məsələn, sərnişin sıxlığının yüksək olduğu vaxtlarda avtobusların daha səmərəli hərəkət etməsi üçün marşrutların optimallaşdırılması tələb olunur.

Mövcud nəqliyyat sistemlərinin təkmilləşdirilməsi və modernləşdirilməsi, sürət dəyişkənliyinin azaldılmasına yönəlmiş əsas istiqamətlərdən biri kimi çıxış edir. Rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi, habelə müasir nəqliyyat idarəetmə üsullarının istifadəsi vasitəsilə daha sürətli və effektiv nəqliyyat sisteminin qurulması mümkündür. Bu yanaşmalar yalnız sürətin artırılmasına deyil, eyni zamanda sərnişin gözləntilərinin daha dolğun şəkildə qarşılanmasına şərait yaradır. Beləliklə, ümumi nəqliyyat sisteminin səmərəliliyi yüksəlir. Avtobus sürətindəki dəyişkənliyin təhlili yalnız nəqliyyat mütəxəssisləri üçün deyil, eyni zamanda ictimai siyasətçilər və şəhər planlaşdırıcıları üçün də prioritet məsələlərdən biri hesab edilir.

II. ƏDƏBİYYAT İCMALI

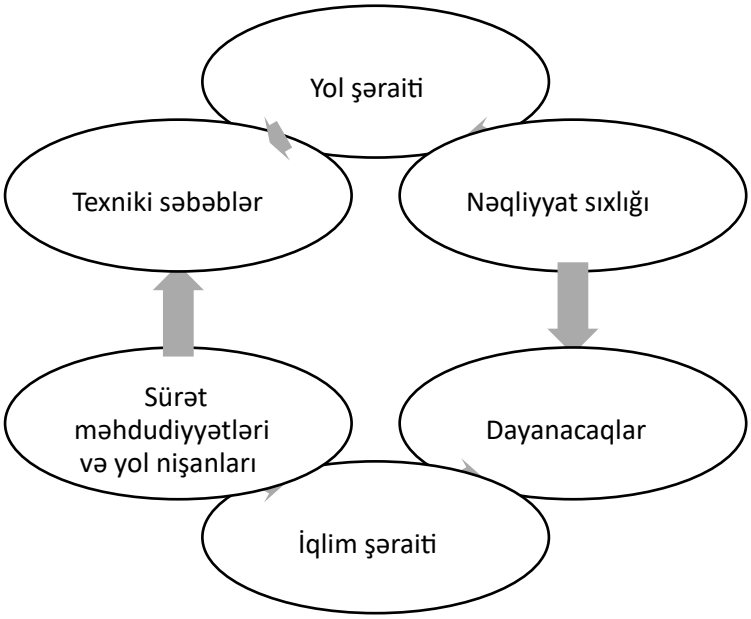
Sərnişin daşıma xidmətlərinin təşkili müasir iqtisadiyyatın, xüsusilə şəhər və regionların davamlı inkişafının əsas komponentlərindən biri hesab olunur. Bu xidmətlər əhalinin gündəlik hərəkət ehtiyaclarını ödəməklə yanaşı, əmək bazarının funksionallığını, sosial inteqrasiyanı və iqtisadi aktivliyi dəstəkləyir [3]. Sərnişin daşımalarının düzgün təşkili yalnız nəqliyyat vasitələrinin hərəkətinin təmin edilməsi ilə məhdudlaşmır, həm də kompleks idarəetmə, planlaşdırma və nəzarət mexanizmlərini əhatə edir. Bu baxımdan, sistemli yanaşma və elmi əsaslandırılmış qərarların qəbulu xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Marşrutların müəyyən edilməsi zamanı əhalinin məskunlaşma sıxlığı, iş yerlərinin yerləşməsi, təhsil və xidmət obyektlərinin coğrafiyası nəzərə alınmalıdır. Bu prosesdə əsas məqsəd sərnişin axınlarının optimal istiqamətləndirilməsi və nəqliyyat resurslarının səmərəli istifadəsinin təmin edilməsidir. Bununla yanaşı, marşrutların uzunluğu, dayanacaq sayı və interval müddətləri də xidmət keyfiyyətinə birbaşa təsir edən amillər sırasındadır. Digər mühüm aspekt

nəqliyyat vasitələrinin seçimi və idarə olunmasıdır. Müxtəlif tutuma malik avtobusların, mikroavtobusların və digər nəqliyyat vasitələrinin düzgün seçilməsi sərnişin tələbatına uyğun xidmət göstərilməsinə imkan yaradır. Pik saatlarda daha böyük tutumlu nəqliyyat vasitələrinin istifadəsi, qeyri-pik saatlarda isə daha kiçik tutumlu vasitələrin tətbiqi sistemin iqtisadi səmərəliliyini artırır [1]. Eyni zamanda, nəqliyyat vasitələrinin texniki vəziyyəti, yanacaq sərfiyyatı və ekoloji göstəriciləri də nəzərə alınmalıdır. Sərnişin daşıma xidmətlərinin təşkili prosesində kadr məsələləri də mühüm rol oynayır. Sürücülərin peşəkarlıq səviyyəsi, davranış mədəniyyəti və təhlükəsizlik qaydalarına riayət etməsi xidmət keyfiyyətinin formalaşmasında əsas amillərdəndir. Bundan əlavə, dispetçer xidmətlərinin təşkili, real vaxt rejimində nəzarət sistemlərinin tətbiqi və operativ idarəetmə mexanizmlərinin qurulması nəqliyyat sisteminin effektivliyini artırır.

Danilina və Elistratov (2017) qeyd edirlər ki, müasir dövrdə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi sərnişin daşıma xidmətlərinin təşkilində yeni imkanlar yaradır [3]. Elektron bilet sistemləri, GPS izləmə texnologiyaları və mobil tətbiqlər vasitəsilə sərnişinlərə daha şəffaf və rahat xidmət təqdim olunur. Bu texnologiyalar həm də idarəetmə prosesini optimallaşdırır, məlumatların toplanmasını və təhlilini asanlaşdırır. Nəticədə, qərarların qəbul edilməsi daha operativ və əsaslandırılmış şəkildə həyata keçirilir. Sərnişin daşıma xidmətlərinin təşkili zamanı təhlükəsizlik məsələləri xüsusi diqqət mərkəzində saxlanılmalıdır [5,s.107]. Yol hərəkəti qaydalarına riayət olunması, texniki baxışların vaxtında keçirilməsi və fövqəladə hallara hazırlıq səviyyəsi sistemin dayanıqlığını təmin edir. Eyni zamanda, sərnişinlərin rahatlığı və məmnuniyyəti üçün əlavə xidmətlərin kondisioner sistemləri, məlumatlandırıcı panellər və s. tətbiqi vacib hesab olunur.

Sərnişin daşıma xidmətlərinin effektiv idarə olunması üçün statistik qiymətləndirmə əsas alətlərdən biri hesab olunur. Statistik yanaşma nəqliyyat sisteminin fəaliyyətinin obyektiv təhlilinə imkan yaradır, həmçinin qərar qəbul etmə prosesini elmi əsaslarla təmin edir. Bu baxımdan, sərnişin daşımalarının statistik təhlili həm cari vəziyyətin qiymətləndirilməsi, həm də gələcək inkişaf istiqamətlərinin müəyyən edilməsi üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır. Statistik qiymətləndirmə prosesində müxtəlif göstəricilərdən istifadə olunur və bu göstəricilər sistemin müxtəlif aspektlərini əhatə edir [6]. Əsas statistik göstəricilərdən biri sərnişin axınıdır. Sərnişin axını müəyyən bir zaman intervalında daşınan sərnişinlərin sayını ifadə edir və nəqliyyat sisteminin yüklənmə səviyyəsini müəyyənləşdirməyə imkan verir. Bu göstərici gündəlik, həftəlik və ya aylıq əsasda təhlil edilə bilər. Sərnişin axınının düzgün qiymətləndirilməsi marşrutların optimallaşdırılması, nəqliyyat vasitələrinin sayının tənzimlənməsi və xidmət intervalının müəyyən edilməsi baxımından mühüm rol oynayır. Bununla yanaşı, pik saatların müəyyən edilməsi də məhz bu göstərici vasitəsilə həyata keçirilir [9].

Digər mühüm göstərici nəqliyyat vasitələrinin sıxlıq səviyyəsidir. Sıxlıq əmsalı avtobusun tutumu ilə faktiki daşınan sərnişinlərin nisbəti kimi hesablanır. Bu göstərici nəqliyyat vasitələrinin səmərəli istifadə olunub-olunmadığını müəyyən etməyə imkan verir. Əgər sıxlıq səviyyəsi çox aşağıdırsa, bu resursların səmərəsiz istifadəsini göstərir. Əksinə, həddindən artıq doluluq sərnişin rahatlığının azalmasına və xidmət keyfiyyətinin aşağı düşməsinə səbəb olur [7,s.105]. Buna görə də optimal sıxlıq səviyyəsinin qorunması əsas məqsədlərdən biridir. Sürət göstəriciləri də statistik qiymətləndirmənin vacib komponentlərindəndir. Orta hərəkət sürəti, dayanacaqda gözləmə müddəti və marşrut üzrə ümumi hərəkət vaxtı kimi göstəricilər xidmətin operativliyini əks etdirir.



Sxem 1. Avtobusun müəyyən zaman aralığında sürətinin azalma və artma səbəbləri

Bu göstəricilərin təhlili gecikmələrin səbəblərini aşkar etməyə və onların aradan qaldırılması üçün tədbirlər görməyə imkan yaradır. Məsələn, müəyyən marşrutlarda tez-tez gecikmələrin baş verməsi həmin ərazidə yol infrastrukturunun və ya idarəetmə sisteminin təkmilləşdirilməsini tələb edə bilər.

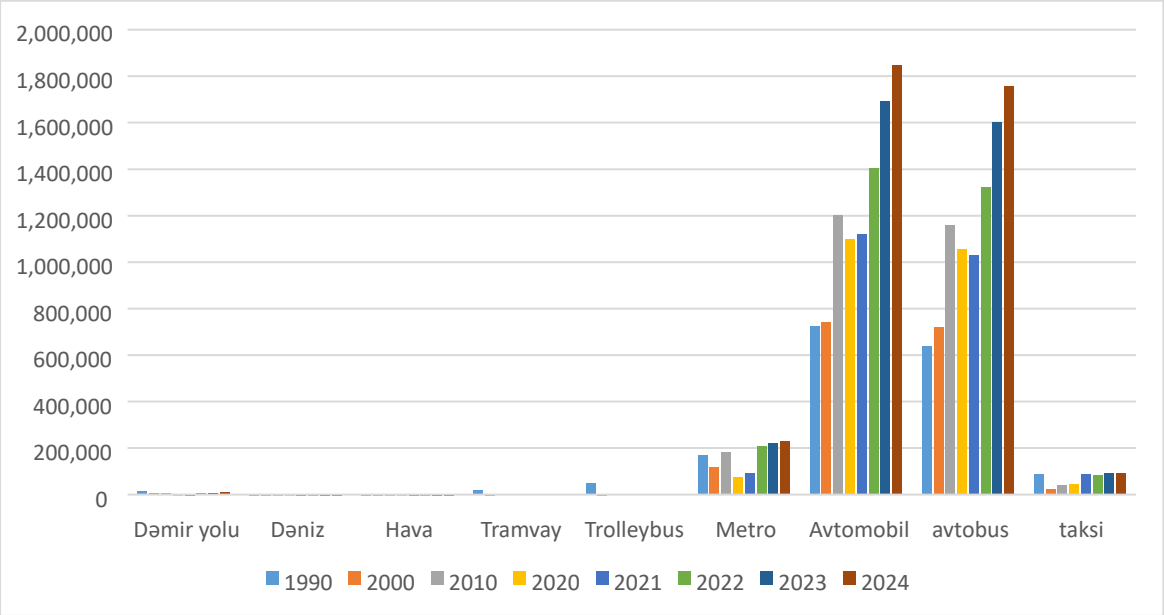
III. METODOLOGİYA

Statistik qiymətləndirmədə iqtisadi göstəricilər də mühüm yer tutur. Gəlir və xərclərin təhlili, hər bir sərnişin üzrə orta gəlirin hesablanması və yanacaq sərfiyyatının qiymətləndirilməsi nəqliyyat sisteminin maliyyə dayanıqlığını müəyyən etməyə kömək edir. Bu göstəricilər əsasında tarif siyasəti formalaşdırılır və subsidiyalara ehtiyac müəyyən edilir. Eyni zamanda, iqtisadi səmərəlilik göstəriciləri nəqliyyat xidmətlərinin uzunmüddətli davamlılığını təmin etmək baxımından əhəmiyyətlidir.

Sərnişin daşımalarının statistik təhlili nəqliyyat sektorunun real vəziyyətini obyektiv şəkildə qiymətləndirmək, dəyişmə meyllərini müəyyən etmək və əsaslandırılmış idarəetmə qərarları qəbul etmək baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu baxımdan təqdim olunan qrafiklər və cədvəllər əsasında aparılan analiz metodoloji yanaşmanın əsasını təşkil edir. Statistik məlumatların sistemli şəkildə işlənməsi, müxtəlif illər üzrə müqayisəli təhlilin aparılması və nəticələrin interpretasiyası nəqliyyat xidmətlərinin inkişaf dinamikasını aydın şəkildə ortaya qoymağa imkan verir.

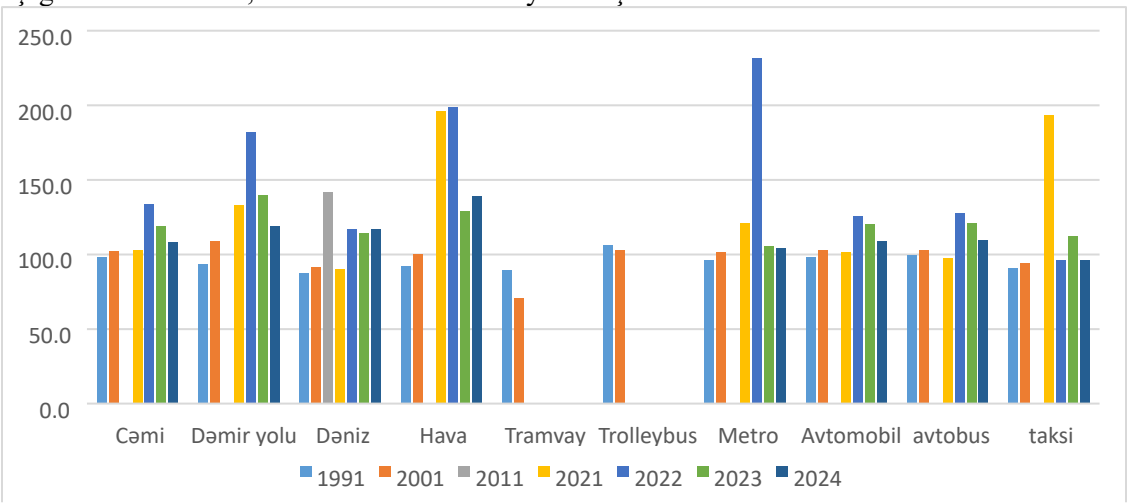
Tədqiqatın metodologiyası çərçivəsində ilk növbədə zaman sıraları üzrə təhlil üsulundan istifadə edilir. Bu yanaşma vasitəsilə 2017–2024-cü illər üzrə sərnişin daşınmasının ümumi həcmi, həmçinin onun dəyişmə tempi araşdırılır. Qrafik 1-də ümumi sərnişin daşınmasının həcmi (min sərnişinlə) göstərilir, bu isə sektorun genişlənmə və ya daralma tendensiyalarını müəyyən etməyə şərait yaradır. Qrafik 2 isə əvvəlki illə müqayisədə faiz dəyişikliklərini əks etdirərək artım və azalma mərhələlərini daha dəqiq təhlil etməyə imkan verir. Bu iki göstəricinin birlikdə analizi həm kəmiyyət, həm də dinamika baxımından daha dolğun nəticələr əldə etməyə şərait yaradır.

Metodoloji yanaşmada struktur təhlili də mühüm yer tutur. Qrafik 3 və Cədvəl 1 vasitəsilə sərnişin daşımalarının əlaqə növləri üzrə (beynəlxalq və daxili) bölgüsü araşdırılır. Bu yanaşma nəqliyyat sektorunda hansı istiqamətin daha üstün olduğunu, hansı sahələrdə geriləmə və ya inkişaf müşahidə edildiyini müəyyən etməyə imkan verir. Daxili və beynəlxalq daşımalar arasında qarşılıqlı nisbətlərin dəyişməsi iqtisadi və sosial faktorların təsirini qiymətləndirməyə kömək edir.



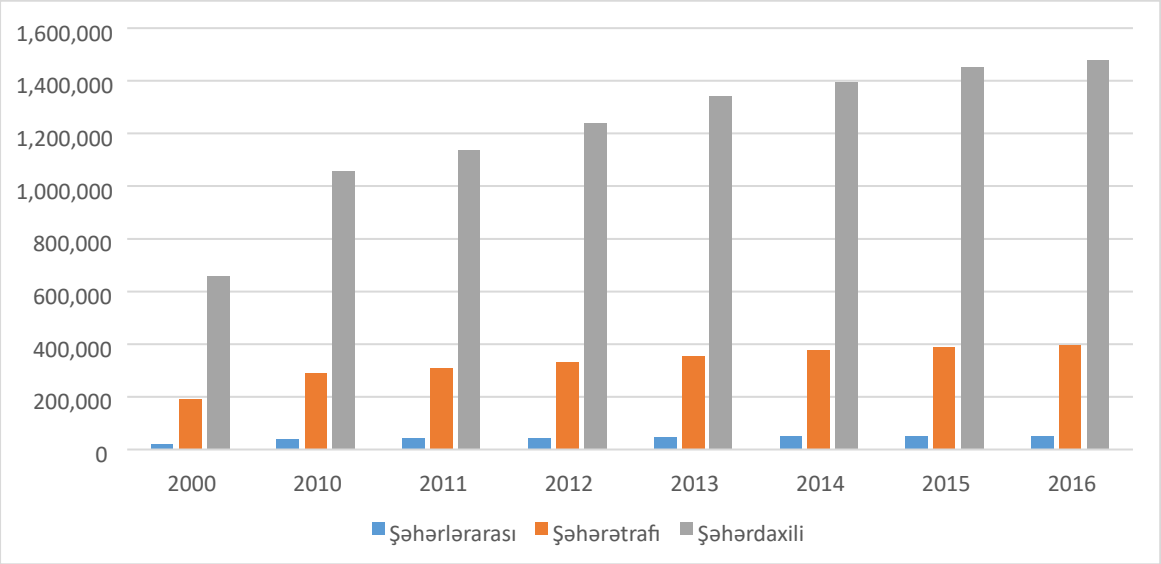
Qrafik 1. Nəqliyyat sektorunda sərnişin daşınması, min sərnişin

Bu qrafik müxtəlif nəqliyyat növləri üzrə sərnişin daşınmasının illər üzrə müqayisəli həcmini göstərir. Ən yüksək göstəricilər avtomobil və avtobus nəqliyyatına aiddir, bu da onların əsas daşıyıcı rolunu təsdiqləyir. Metro və taksi xidmətləri orta səviyyədə paya malikdir. Dəmir yolu, hava və dəniz nəqliyyatında göstəricilər daha aşağıdır. Ümumilikdə, illər üzrə artım tendensiyası müşahidə olunur.



Qrafik 2. Nəqliyyat sektorunda sərnişin daşınması, əvvəlki ilə nisbətən %-lə

Bu qrafik nəqliyyat növləri üzrə sərnişin daşınmasının illər üzrə faizlə dəyişmə dinamikasını əks etdirir. Ümumi göstəricilərdə artım müşahidə olunsa da, bəzi illərdə kəskin dəyişkənliklər diqqət çəkir. Xüsusilə metro və hava nəqliyyatında yüksək artım tempinə rast gəlinir. Tramvay və trolleybus kimi bəzi növlərdə isə azalma və ya zəif artım müşahidə olunur. Avtomobil və avtobus nəqliyyatında artım daha sabitdir. Bu nəticələr sektor üzrə qeyri-bərabər inkişafı göstərir.



Qrafik 3. Nəqliyyat sektorunda əlaqə növləri üzrə sərnişin daşınması, min sərnişin

Təhlil edilən dövrdə şəhərdaxili daşımalar mütləq üstünlük təşkil edərək, urbanizasiya prosesinin sürətlənməsini və daxili mobilliyə olan yüksək tələbatı nümayiş etdirir. 2000-ci ildə təxminən 650 min olan bu göstərici 2016-cı ildə 1,4 milyona yaxınlaşmışdır. Şəhəratrafı və şəhərlərarası seqmentlərdə də stabil artım müşahidə olunsa da, onların ümumi strukturda payı daha kiçikdir. Bu trend nəqliyyat infrastrukturunun əsasən iri şəhər mərkəzlərində intensivləşdiyini və gündəlik sərnişin axınının lokallaşdığını sübut edir.

CƏDVƏL 1. NƏQLIYYAT SEKTORUNDA ƏLAQƏ NÖVLƏRI ÜZRƏ SƏRNIŞIN DAŞINMASI, MIN SƏRNIŞIN

	2017	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Bütün əlaqə növləri üzrəcəmi	**1.973.44 0**	**2.002.83 6**	**2.056.51 6**	**1.177.63 2**	**1.214.15 3**	**1.621.12 9**	**1.923.67 7**	**2. 088. 196**
Beynəlxalq	**3.113**	**3.169**	**3.528**	**748**	**612**	**1.525**	**2.209**	**3.324**
Daxili	**1.970.32 7**	**1.999.66 7**	**2.052.98 8**	**1.176.88 4**	**1.213.54 1**	**1.619.60 4**	**1.921.46 8**	**2.084.87 2**

Sərnişin daşınmasının ümumi həcmi dövr ərzində qeyri-sabit artım trayektoriyası nümayiş etdirmişdir. 2017–2019-cu illərdəki sabit artım meyli 2020-ci ildə qlobal pandemiya səbəbindən kəskin tənəzzüllə əvəzlənmişdir. Lakin 2021-ci ildən etibarən bərpa prosesi başlamış və 2024-cü ildə göstəricilər böhran öncəsi səviyyəni üstələyərəkmaksimuma (2.088.196 min nəfər) çatmışdır.

CƏDVƏL 2. ƏLAQƏ NÖVLƏRI ÜZRƏ SƏRNIŞIN DAŞINMASI, ƏVVƏLKI ILƏ NISBƏTƏN %-LƏ

	2017	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Bütün əlaqə növləri üzrə-cəmi	**102,3**	**101,5**	**102,7**	**57,3**	**103,1**	**133,5**	**118,7**	**108,6**
Beynəlxalq	**114,6**	**101,8**	**111,3**	**21,2**	**81,8**	**249,2**	**144,9**	**150,5**
avtobus	103,8	101,2	102,6	23,9	-	-	-	-
dəmir yolu	112,3	117,1	114,6	13,2	-	-	-	-
dəniz	85,0	94,1	137,5	90,9	90,0	116,7	114,3	116,7
Hava	123,6	100,8	116,5	19,8	144,5	253,2	145,3	150,8
Daxili	**102,3**	**101,5**	**102,7**	**57,3**	**103,1**	**133,5**	**118,6**	**108,5**
avtobus	101,8	101,5	102,6	60,6	97,9	127,9	121,1	109,7
dəmir yolu	127,0	113,9	137,0	57,7	134,9	181,8	139,9	118,7
Hava	107,5	104,2	101,6	26,8	322,8	139,1	96,9	103,0
minik taksiləri	103,0	102,6	103,7	62,5	193,5	96,4	112,3	96,5
Metro	105,2	100,9	102,5	31,6	120,8	231,3	105,2	104,6

Sərnişin daşınması indeksləri nəqliyyat sektorunun tsiklik xarakterini nümayiş etdirir. 2020-ci ildəki kəskin enişdən (57,3%) sonra, 2022-ci ildə qeydə alınan 133,5%-lik artım postpandemiya dövrünün bərpa mərhələsini xarakterizə edir. Sektorun müxtəlif seqmentləri, xüsusilə hava və dəmir yolu nəqliyyatı, daxili və beynəlxalq tələbatın artması fonunda yüksək artım templəri nümayiş etdirərək, 2024-cü ilə qədər sabitləşmə meyli (108,6%) göstərmişdir.

IV. NƏTİCƏ

Nəqliyyat sektorunda sərnişin daşınması prosesi 2017–2024-cü illər ərzində mürəkkəb və tsiklik bir inkişaf yolu keçmişdir. Təhlillər göstərir ki, sektorun əsasının avtobus daşımaları əhatə edir. . Lakin 2020-ci ilin qlobal pandemiya, sistemin xarici təsirlərə qarşı həssaslığını üzə çıxarmış, beynəlxalq daşımalarda 80%-ə yaxın, ümumi daşımalarda isə təxminən 43%-lik bir tənəzzülə səbəb olmuşdur. 2021-ci ildən başlayan bərpa mərhələsi 2024-cü ildə sərnişin dövriyyəsinin 2 milyard nəfəri (2.088.196 min) keçərək böhran öncəsi göstəriciləri üstələməsi ilə nəticələnmişdir. Xüsusilə metro və hava nəqliyyatında müşahidə olunan yüksək temp (müvafiq olaraq 231,3% və 253,2% artım) əhalinin sürətli nəqliyyat növlərinə olan tələbatının bərpasını təsdiqləyir. Statistik göstəricilər onu deməyə əsas verir ki, urbanizasiya prosesinin sürətlənməsi şəhərdaxili nəqliyyatın yükünü artırımaqdadır.

ƏDƏBIYYAT

1. Abdullayev, R., Aslanzadə, A., Yahyayev, P., Əzizov, S., & Hüseynov, E. (2024). FAİQOĞLU ŞİRKƏTİNDƏ SƏRNİŞİN DAŞIMALARI PROSESİNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ (Doctoral dissertation).
2. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. (2026). Nəqliyyat https://www.stat.gov.az/source/transport/

3. Danilina, N., & Elistratov, D. (2017). Organization of municipal transport access control system. Passenger service models. Transportation Research Procedia, 20, 132-137.
4. Fərid, T., Sevil, M., Araz, A., & Ömər, Ö. (2023). Şəhər ictimai nəqliyyatında xidmət səviyyəsinin qiymətləndirilməsi və təkminləşdirilməsi üzrə tədbirlər planının işlənib hazırlanması (Doctoral dissertation, Azərbaycan Texniki Universiteti).
5. Grondys, K., & Ślusarczyk, O. (2022). Passenger potential and the operating result of the public transport organization. Administratie si Management Public, (38), 104-119.
6. Mochalin, S., Kasper, M., Nikiforov, O., Levkin, G., & Kurshakova, N. (2019). Development of provisions for evaluating the effectiveness of urban public passenger transport system. Transport problems, 14.
7. Nwachukwu, A. A. (2014). Assessment of passenger satisfaction with intra-city public bus transport services in Abuja, Nigeria. Journal of Public Transportation, 17(1), 99-119.
8. Pitka, P., Simeunović, M., Milenković, I., Simeunović, M., & Škiljaica, I. (2023). Impact of public passenger transport organization model on system performance and service quality. Transport, 38(2), 116-126.
9. Tağıyev, N., Fərzəliyev, E., Orucov, E., Məmmədzadə, M., & İsmayılov, C. (2024). Şəhər avtobus daşımalarının keyfiyyət göstəriciləri sisteminin analizi (Doctoral dissertation).

SYNCHRONIZATION OF EXPRESS LINES IN PUBLIC TRANSPORTATION DEVELOPMENT

Hazar Najımbayli
Baku Engineering University,
Hasan Aliyev str., 120 AZ0101
Khirdalan, Absheron, Azerbaijan
xanacimbayli@beu.edu.az

Elvin Asgarov
Baku Engineering University,
Hasan Aliyev str., 120 AZ0101
Khirdalan, Absheron, Azerbaijan
elvinasgarov12@gmail.com

***Abstract*:** This study investigates the enhancement of urban public transportation systems via the amalgamation of express bus services with pre-existing local routes. The study concentrates on Baku, suggesting a coordinated scheduling model predicated on passenger demand distribution and peak-hour fluctuations. The model combines express and regular bus services on the same route to cut down on travel time, make service more reliable, and keep passenger flow balanced. The results show that using demand-responsive scheduling and alternating dispatch strategies can greatly improve system efficiency without the need for big investments in infrastructure.
Keywords:Urban transport, Express bus system, Public transport optimization, Scheduling model, Passenger flow, Transit planning

I. INTRODUCTION

In recent years, significant structural reforms have been implemented in Baku to modernize the public transport system. Within the framework of the implemented programs, the renewal of the bus fleet, optimization of the

route network and improvement of the quality of passenger transport services have been among the main priorities.

According to official data, the number of buses operating daily in Baku has reached 2,300, which has shown a significant increase compared to recent years [12]. At the same time, it is planned to increase this figure to 2,800 in the coming years [13]. This is considered an important step towards expanding the urban transport system and adapting it to passenger demand.

As part of the bus fleet renewal process, hundreds of new vehicles have been put into operation in recent years alone, including the planned commissioning of approximately 400 new environmentally friendly buses by 2025 [11]. In addition, it is planned to gradually replace about 1,000 old buses across the entire system [10].

The development of public transport has not only been limited to increasing the number of vehicles, but has also had a positive impact on passenger flow management. Thus, according to recent data, the average passenger density on buses has decreased somewhat, which has led to an improvement in service quality [11].

However, despite the reforms carried out, problems such as non-synchronization of routes, poor integration of express and local lines, and non-optimal distribution of passenger flow remain in the current system. These problems limit the efficiency of the transport system, especially during peak hours, and cause additional traffic jams.

In this regard, the next stage in the public transport system is considered necessary to introduce express lines adapted to existing route lines and prepare a synchronous schedule model.

In recent years, as part of the development of public transport in Baku, the introduction of express bus lines has also begun. These lines operate with fewer stops and are aimed at ensuring faster and uninterrupted movement within the city.

Currently, several express bus lines operate in the capital. These include, in particular, the H1 express line connecting the airport with the city center. This line runs along the Heydar Aliyev International Airport - Koroglu transport hub - 28 May metro station route and its main purpose is to provide fast and direct connectivity [8].

In addition, in recent years, other express routes (for example, E1 and E2 lines) have been introduced, which cover a wider range of destinations and provide fast transport connections between different parts of the city [9]. Since these routes operate with fewer stops, they significantly reduce the travel time of passengers. Starting from the second quarter of 2025, the coverage of these buses will be expanded, with buses 594 from Sumgayit, 595 from Avtovagzal, 141E, 142E, 150E from Koroglu metro station, respectively, operating towards Mardakan, Gala and Bilgah. Route E2 also provides express service from Khirdalan city to 20 Yanvar metro station with short intervals.

According to official data, in some cases, reducing the interval on express lines to 10-15 minutes and ensuring uninterrupted service has created a more attractive alternative for passengers [8]. In particular, the high frequency of lines such as H1 is noted as a key factor increasing their efficiency.

However, the number of existing express lines and their integration with the existing route network is still limited. Poor coordination of express and local lines prevents optimal distribution of passenger flows and does not allow the full use of the potential efficiency of the system.

International Experience: Express Bus Systems in Turkey

Express bus systems are implemented in many countries to accelerate and optimize public transport. In this regard, Turkey, especially Istanbul, is considered one of the successful examples for the region.

The express bus system in Istanbul operates mainly through the Metrobus line. This system was put into operation in 2007 and has been expanded in stages [1]. The Metrobus line connects the European and Asian parts of the city and operates on a dedicated lane, which allows it to operate continuously, independent of other means of transport.

The main features of the Metrobus system are as follows:

- Operation on a dedicated lane (BRT - Bus Rapid Transit)
- Fast movement with a minimum number of stops
- High frequency (1-2 minute interval during peak hours)
- Large capacity buses

As a result of the implementation of this system, daily passenger transport has exceeded 700 thousand people and travel time within the city has been significantly reduced [3].

The pricing policy is based on an integrated tariff system. In Istanbul, the fare for express buses varies according to the distance and on average varies between 15-30 Turkish Liras [7]. This shows that the system has both an affordable and sustainable financial model.

One of the main reasons for the success of express systems in Turkey is their integration with the existing public transport network and their planning in accordance with passenger flow. This approach shows that express lines should be organized not only as an additional service, but as one of the main components of the overall transport system.

II. Research Method

In this study, a synchronized schedule model is proposed for optimizing public transport, taking into account the parallel operation of express and local bus lines. The approach is based on the principles of headway-based scheduling and demand-responsive planning, which are widely used in international transport planning practice [6], [2].

The main objective of the study is to keep the travel time of express buses on the route from Kurdakhani to the Koroglu transport junction constant at 20-25 minutes, while not negatively affecting the operation of existing local lines. For this purpose, route lines 173 and 195 were selected as examples.

Key variables

The model is based on the following parameters:

- T= total travel time (minutes)
- D= distance (km)
- V= average speed (km/h)
- H= interval (headway, minutes)
- Q= passenger flow (passenger demand, people/hour))
- C= bus capacity (people)
- N= number of buses required

Travel Time Model

According to the transportation planning literature, travel time is considered as a functional relationship between distance and average speed [4]. This approach is expressed as follows:

$$T = \frac{D}{V}$$

where T is the travel time, D is the distance, and V is the average speed. Assuming an approximate distance of 18-20 km along the Kurdakhani-Koroglu route, the required average speed for the express line varies between 48-60 km/h. This is possible only with a reduction in the number of stops and uninterrupted movement conditions.

$$V = \frac{D}{T} \approx 48\text{-}60 \text{ km/hour}$$

This means that:

The express line should operate with minimum stops + priority movement

Interval (Headway) approach

One of the main indicators determining the quality of service in public transport is the bus travel interval. Scientific sources recommend calculating the interval according to passenger flow [4]. For this purpose, the following formula is used:

$$H = \frac{C \times 60}{Q}$$

where H is the interval (minutes), C is the bus capacity, and is the short-hour passenger flow. This approach shows that the increase in passenger demand during peak hours necessitates a reduction in the interval.

For example:
1 bus = 80 people
Peak hour demand = 2400 people/hour

$$H = \frac{80 \times 60}{2400} = 2 \text{ minute}$$

In real time:
Express: 5-7 minutes
Local: 7-10 minutes
Fleet size

$$N = \frac{T}{H}$$

For example:
$T = 25min$
$H = 5min$

$$N = 5\ bus\ (one\ way)$$

Adaptive scheduling for peak hours
Observations show that the traffic flow is relatively free between 05:50-08:00 in the morning, while peak load is observed between 08:00-10:00. Therefore, the schedule should be set adaptively as follows:
1. The interval is increased during off-peak hours
2. The frequency of express lines is increased during peak hours
3. Local lines maintain a constant service level
4. This approach is known in international practice as "dynamic scheduling" and increases the flexibility of the system [5].

TABLE 1 EXPRESS AND LOCAL BUS SCHEDULE

Hourly interval	Traffic situation	Express	Local
05:50-08:00	Free	10 min	10 min
08:00-10:00	Peak	5 min	8-10 min
10:00-16:00	Normal	7-8 min	10 min

The main problem with parallel operation of express and local lines on the same route is that they do not interfere with each other. For this purpose, the principle of "alternating dispatch" is applied. According to this principle, buses are released in turns, which prevents congestion at stops. For example, on line number 173:

- 05:50 - local
- 05:55 - express
- 06:00 - local
- 06:05 - express

This approach allows for a more even distribution of traffic flow and prevents delays within the system.
System stability and reduction of interaction
To minimize the interaction of express and local lines in transport networks, it is recommended that their operating intervals be different. Studies have shown that similar interval and speed parameters cause buses to "catch up" with each other, which reduces the efficiency of the system [4].
For this reason, the following condition must be met:

$$T_{express} < T_{local}$$

Since route 195 is located on a highway, traffic density is lower. Therefore, the application of the express model on this line may be limited and the main focus should be on optimizing the interval. This approach is consistent with route-specific planning principles [2].

III. Conclusion

This study shows that using a synchronized scheduling system to combine express and local bus services can greatly improve the performance of urban public transportation systems. The suggested model is a practical and

cost-effective way to cut down on travel time and traffic by matching service frequency to passenger demand and minimizing operational conflicts between routes. The results show that these kinds of methods can work well in cities that are growing quickly, like Baku, and they can help make transportation systems more efficient and long-lasting.

REFERENCES

[1] Alpkokin, P., & Ergun, M. (2012). *Istanbul Metrobüs: First intercontinental bus rapid transit.* Journal of Transport Geography.
[2] Ceder, A. (2007). *Public Transit Planning and Operation*. Elsevier.
[3] Cervero, R. (2013). *Bus Rapid Transit (BRT): An Efficient and Competitive Mode of Public Transport.* Institute of Urban and Regional Development.
[4] Daganzo, C. (1997). *Fundamentals of Transportation and Traffic Operations*. Pergamon.
[5] Furth, P., & Wilson, N. (1981). *Setting Frequencies on Bus Routes: Theory and Practice*. Transportation Research Record.
[6] Vuchic, V. (2007). *Urban Transit Systems and Technology*. Wiley.
[7] Istanbulkart fare system and distance-based pricing analysis - https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X17300012
[8] H1 və H2 ekspress xətlərin interval və xidmət tezliyi (https://www.bakubus.az/az/quality?utm_source)
[9] E1 və E2 ekspress tipli marşrutlar haqqında məlumat(https://wikiroutes.info/en/baku?routes=86667)
[10] Baku bus fleet modernization plan (1000 buses to be replaced)(https://mincom.gov.az/en/media-en/news/roundtable-on-the-2025-state-program-for-the-improvement-of-transport-infrastructure-in-baku-and-surrounding-areas)
11] Nearly 400 eco buses and reduced passenger density(https://report.az/en/infrastructure/anar-rzayev-nearly-400-green-buses-to-be-launched-in-baku-by-end-of-2025)
[12] Baku transport statistics - number of daily buses increased(https://operativmm.az/en/post/baku-bus-fleet-to-be-modernized-by-2030/66473)
[13] AYNA: Bus fleet expansion to 2,800 vehicles (https://president.az/en/articles/view/68038)

THE ROLE OF SUPPLİER RELATİONSHİP MANAGEMENT İN GLOBAL SUPPLY CHAİN EFFİCİENCY

Gumru Asadzade
Academy of State Customs Committee of Azerbaijan
İnternational Tarde and Logistics
Baku, Azerbaijan

Abstract *:* Supplier Relationship Management (SRM) is a strategic approach to managing relationships with suppliers in global markets to improve performance and achieve competitive advantage. This paper explores the importance of SRM in enhancing supply chain efficiency through supplier evaluation, segmentation, and performance monitoring. It highlights both the advantages of global supply chains, such as cost efficiency and product availability, and their challenges, including legal restrictions, cultural differences, and environmental concerns. The study also addresses potential risks like supply disruptions and emphasizes the need for effective risk management. Case studies and digital SRM tools are discussed to demonstrate practical applications.

Key words *: Supplier Relationship Management (SRM), Global Supply Chains, Supplier Performance, Risk Management, Supply Chain Efficiency, SRM Tools, International Trade*

I. Introduction

In the context of increasing globalization, companies are becoming more dependent on international suppliers to maintain operational efficiency and competitiveness. This has made Supplier Relationship Management (SRM) a critical component of modern supply chain management. The relevance of this topic is growing due to the complexity of global supply networks, where effective coordination, transparency, and trust between buyers and suppliers are essential for ensuring smooth operations.

The importance of SRM lies in its ability to enhance supplier performance, improve product quality, and reduce operational risks. As demonstrated in this study, companies benefit from structured supplier evaluation, segmentation models such as the Kraljic Matrix, and the use of key performance indicators (KPIs) to monitor supplier effectiveness. At the same time, global supply chains present significant challenges, including legal restrictions, cultural and language differences, and environmental concerns, which further increase the need for strategic supplier management.

Despite the availability of advanced digital tools and platforms, many organizations still face difficulties in managing supplier relationships effectively, particularly in the context of global operations. Risks such as supply disruptions, raw material shortages, system failures, and force majeure events highlight the necessity for continuous monitoring and risk mitigation strategies. Therefore, there is a clear need for further research on how SRM practices can be improved to address these challenges and ensure supply chain resilience.

This paper is based on the analysis of theoretical concepts and practical examples, including case studies of global companies and the application of SRM software solutions. The structure of the study is as follows: first, the concept and key elements of SRM are explained; second, supplier evaluation and segmentation models are discussed; third, the advantages and disadvantages of global supply chains are analyzed; and finally, risks, case studies, and digital tools used in SRM are examined.

II. Concept and Strategic Importance of Supplier Relationship Management

Supplier Relationship Management (SRM) represents a strategic and structured approach to managing interactions with suppliers in order to create long-term value and ensure supply chain effectiveness. In contrast to traditional procurement, which primarily focuses on cost reduction and transactional exchanges, SRM emphasizes collaboration, trust-building, and strategic alignment between organizations and their key suppliers.

In global markets, the importance of SRM has significantly increased due to the growing complexity and interdependence of supply networks. Companies are no longer operating within isolated domestic systems; instead, they rely on geographically dispersed suppliers, which increases uncertainty and operational risk. Under such conditions, SRM serves as a critical mechanism for maintaining coordination, improving communication, and ensuring consistency in quality and delivery.

An essential element of SRM is the integration of legal frameworks with relationship-based governance. While formal contracts define the obligations of each party, effective supplier relationships often depend on informal mechanisms such as trust, transparency, and mutual commitment. Furthermore, the use of Key Performance Indicators (KPIs) allows organizations to continuously monitor supplier performance, identify inefficiencies, and implement corrective actions. The SRM manager plays a central role in this process, acting as a bridge between the organization and its suppliers, ensuring that both strategic objectives and operational requirements are met.

III. Advantages and Disadvantages of Global Supply Chains

Advantages of Global Supply Chains

(a) Cheaper Unit Price
(b) İmproved Quality
(c) İncreased Availability
(d) Promote global trading and improve internatonal relationships
(e) Opportunuties for different goods
(f) Enhanced skills level

Global supply chains offer significant benefits that contribute to organizational competitiveness and growth. One of the primary advantages is cost efficiency, as companies can source materials and products from regions

with lower production costs, resulting in reduced unit prices. This is particularly important in highly competitive markets where price sensitivity is high.

Another major benefit is access to a wider range of suppliers, which enhances product quality and innovation. By engaging with international partners, organizations can leverage specialized expertise, advanced technologies, and diverse capabilities that may not be available domestically. Additionally, global supply chains increase the availability of goods, allowing companies to meet customer demand more effectively and reduce stock shortages.

From a strategic perspective, global sourcing also promotes international trade and strengthens economic relationships between countries. It facilitates knowledge transfer, skill development, and the exchange of best practices, which contribute to long-term organizational development.

Disadvantages and Challenges

- Haulage charges to consider
- Restrictions with legal systems
- Slow down local production
- Ethical,language,time differences
- Environmental issues – air freight

Despite these advantages, global supply chains are associated with a number of challenges that can negatively impact performance. Transportation and haulage costs, especially for long-distance shipments, can significantly increase total operational expenses. Moreover, the complexity of coordinating activities across different time zones and cultural contexts can lead to communication breakdowns and delays.

Legal and regulatory differences between countries present another major challenge. Companies must comply with diverse legal systems, trade policies, and standards, which can complicate supplier management and increase administrative burdens. In some cases, reliance on international suppliers may also weaken domestic production capabilities, leading to economic imbalances.

Environmental concerns, particularly those related to carbon emissions from air freight, have become increasingly important in recent years. Organizations are under growing pressure to consider the environmental impact of their supply chain activities, which adds another layer of complexity to global sourcing decisions.

III. Supplier Evaluation and Segmentation in Global Markets

Effective supplier management requires differentiation, as not all suppliers contribute equally to organizational performance. Therefore, segmentation and evaluation are fundamental components of SRM, enabling firms to allocate resources efficiently and develop tailored relationship strategies.

One of the most recognized frameworks for supplier segmentation is the Kraljic Matrix, which categorizes suppliers based on supply risk and profit impact. This model allows organizations to distinguish between strategic, leverage, bottleneck, and non-critical suppliers, each requiring a different management approach. For example, strategic suppliers demand close collaboration and long-term partnerships, while non-critical suppliers may be managed through standardized procurement processes.

In addition to segmentation, the Supplier–Buyer Positioning Matrix provides further insight into the nature of supplier relationships by analyzing the balance of power and dependency between parties. This helps organizations determine whether a collaborative, competitive, or transactional approach is most appropriate.

Supplier evaluation, particularly in the context of global sourcing, involves a multidimensional assessment process. As identified in this study, key evaluation criteria include ethical standards, environmental considerations, regulatory compliance, and logistical capabilities. These factors are especially important when dealing with overseas suppliers, where differences in legal systems, cultural norms, and operational practices may affect performance. A comprehensive evaluation process ensures that suppliers align not only with operational requirements but also with broader organizational values and strategic goals.

IV. Risk Factors in Supplier Relationships and the Need for Risk Management

Supplier relationships in global markets are inherently exposed to a wide range of risks that can disrupt supply chain operations and affect business continuity. These risks may arise from internal factors, such as system

failures and operational inefficiencies, or external factors, including economic instability and unforeseen events.

One of the most critical risks is the disruption of supply due to raw material shortages or the failure of key resources. Such disruptions can have a cascading effect across the supply chain, leading to delays, increased costs, and reduced customer satisfaction. Additionally, technological failures, such as breakdowns in information systems, can hinder communication and coordination between organizations and their suppliers.

Force majeure events, including natural disasters and geopolitical crises, represent another significant source of risk. These events are often unpredictable and can severely impact supplier performance. Furthermore, the financial instability or liquidation of suppliers poses a serious threat, as it may result in the sudden termination of supply contracts.

Given these challenges, SRM managers must adopt a proactive approach to risk management. This includes continuous monitoring of supplier performance, diversification of the supplier base, and the development of contingency plans. Effective risk management not only minimizes disruptions but also enhances the resilience and adaptability of the supply chain.

V. SRM Practices in Global Organizations: Case Study Analysis

The practical application of SRM can be better understood through the analysis of global companies that have adopted different approaches to supplier management. These case studies highlight the importance of aligning SRM strategies with organizational objectives and market conditions.

Apple Inc. represents a highly advanced approach to SRM, characterized by the use of digital technologies and data analytics. The company manages a vast global network of suppliers and relies on real-time performance monitoring to ensure quality and compliance. This demonstrates the effectiveness of integrating technology into SRM practices.

In contrast, Walmart initially faced significant challenges due to its cost-driven supplier strategy. The company prioritized low prices over relationship quality, which resulted in issues related to product quality and supplier compliance. This case illustrates the limitations of a purely transactional approach and emphasizes the need for a more balanced strategy.

Unilever adopts a different perspective by focusing on ethical practices and supplier accountability. The company evaluates suppliers based on environmental and social criteria and conducts regular audits to ensure compliance. This approach highlights the importance of incorporating non-financial factors into SRM and reflects the evolving expectations of global markets.

VI. The Role of Digital Technologies in Enhancing SRM

The integration of digital technologies has significantly transformed Supplier Relationship Management (SRM) practices in global markets. A number of specialized SRM platforms are widely used by global organizations. For instance, Coupa Supplier Portal enables real-time communication and data sharing, allowing suppliers to update information, submit compliance documents, and monitor their performance without manual intervention. Similarly, Ivalua supports multi-tier supplier management, providing visibility not only into direct suppliers but also sub-suppliers, which is essential for identifying hidden risks within the supply chain.

In addition, Proactis focuses on supplier engagement by allowing suppliers to provide feedback and actively participate in performance improvement initiatives. This collaborative approach strengthens long-term partnerships and encourages continuous development. SAP Ariba, on the other hand, offers an integrated solution that combines supplier onboarding, performance analytics, risk management, and digital workflows into a single platform. Such integration enables organizations to adopt a more strategic and data-driven approach to supplier relationship management.

Overall, the adoption of digital SRM tools allows companies to move from traditional, reactive supplier management to a more proactive and strategic model. By leveraging these technologies, organizations can enhance efficiency, reduce risks, and build more resilient global supply chains.

VII. Conclusion

In conclusion, Supplier Relationship Management (SRM) has emerged as a critical component of effective supply chain management in global markets. As organizations increasingly rely on geographically dispersed suppliers, the need for structured, strategic, and collaborative approaches to supplier management has become

more evident. This study has demonstrated that SRM not only improves supplier performance and operational efficiency but also contributes to achieving long-term competitive advantage.

The analysis highlights that effective SRM requires a combination of supplier evaluation, segmentation, and continuous performance monitoring. Tools such as the Kraljic Matrix and KPI-based assessment systems enable organizations to manage suppliers more strategically and allocate resources efficiently. At the same time, the benefits of global supply chains, including cost efficiency, improved quality, and increased availability, must be balanced against challenges such as legal complexities, cultural differences, and environmental concerns.

Furthermore, the presence of various risk factors—such as supply disruptions, system failures, and force majeure events—emphasizes the importance of proactive risk management and contingency planning. Case studies of global organizations illustrate that successful SRM depends on aligning strategies with organizational goals and maintaining a balance between cost, quality, and relationship management.

Finally, the growing role of digital technologies has transformed SRM into a more data-driven and integrated process. Platforms such as Coupa, Ivalua, Proactis, and SAP Ariba enable real-time collaboration, enhance transparency, and support informed decision-making. Therefore, organizations that effectively implement SRM practices and leverage digital tools are more likely to achieve resilient, efficient, and competitive supply chains in the global market.

References

[1] L3M1 Procurement and Supply Environments (Core) – CIPS, Study Guide
[2] Global Supply Chain Management L6M3 - CIPS
[3] L2M1 Introducing Procurement and Supply (CORE) - Study Guide, CIPS

THE IMPACT OF TRAFFIC CONGESTION ON FUEL CONSUMPTION

Salam Ramazanov
Logistics and Transport Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
sramazanov1@std.beu.edu.az

Abstract: *Urban traffic congestion has increasingly become a major issue affecting transportation efficiency, environmental* sustainability*, and energy consumption in modern cities. The continuous growth of urban populations and rising dependence on private vehicles have intensified pressure on road networks, leading to inefficient traffic flow and higher fuel usage. Research consistently indicates that congested driving conditions—such as frequent stopping, low-speed movement, and repeated acceleration—significantly increase fuel consumption and vehicle emissions. Studies show that these inefficient driving patterns result in greater energy demand due to unstable engine performance during congested traffic flow* [1]*. This paper examines the relationship between traffic congestion and fuel consumption by identifying the main causes of congestion, analyzing its effects on vehicle efficiency, and reviewing methodological approaches used in related studies. The results emphasize the importance of improving traffic management systems to reduce fuel consumption and minimize environmental impacts.*

Keywords: *Traffic congestion, fuel consumption, urban transportation, vehicle emissions, energy efficiency, traffic density, stop-and-go driving, sustainable transport, environmental impact, urban mobility, transport planning, fuel efficiency, intelligent transportation systems, air pollution, eco-driving.*

V. Introduction

In recent years, rapid urban expansion and increasing transportation demand have significantly transformed mobility patterns worldwide. The growing number of vehicles in cities has placed substantial pressure on existing transport infrastructure, resulting in frequent traffic congestion in both developing and developed regions.

Traffic congestion occurs when the number of vehicles exceeds road capacity, causing reduced speeds, delays, and traffic bottlenecks. Although often perceived as a daily inconvenience, its impact extends far beyond travel delays. It directly influences fuel efficiency, environmental quality, and urban economic productivity. Transportation systems are among the largest consumers of global energy resources, with road transport playing a dominant role. Under congested conditions, vehicles operate inefficiently, leading to higher fuel consumption and increased emissions [1].

In addition to environmental effects, congestion also imposes significant economic costs. Increased fuel usage raises transportation expenses for individuals and businesses, while delays reduce productivity. Studies on congestion economics highlight the substantial financial losses associated with traffic inefficiencies [2]. Therefore, analyzing how congestion affects fuel consumption is essential for developing sustainable transport solutions.

VI. Description of Problem

The central issue addressed in this study is the rise in fuel consumption caused by traffic congestion. Under smooth traffic conditions, vehicles maintain stable speeds that allow engines to operate efficiently. However, congestion disrupts this stability, resulting in inefficient driving behavior and increased fuel usage. A major contributing factor is the “stop-and-go” traffic pattern, where vehicles repeatedly accelerate and brake. This cycle requires additional energy input for each acceleration phase, while braking results in wasted kinetic energy. Consequently, fuel efficiency decreases significantly in congested environments.

Another key factor is low travel speed. Research indicates that vehicles are less fuel-efficient when operating at very low speeds, as engines function outside their optimal performance range. In congested traffic conditions, average speeds decline considerably, increasing fuel consumption per distance traveled [1].

Traffic density also plays a crucial role in fuel consumption patterns. As the number of vehicles on the road increases, interactions between vehicles become more complex and unstable, further worsening congestion effects. Empirical studies confirm a strong relationship between higher traffic density and increased fuel usage [4].

Moreover, driver behavior contributes to fuel inefficiency. Aggressive acceleration, frequent lane changes, and inconsistent driving patterns can further increase fuel consumption under congested conditions. Overall, traffic congestion leads to inefficient vehicle operation, resulting in higher fuel consumption and increased environmental impact.

VII. Methodology

Researchers have applied several methodological approaches to study the relationship between traffic congestion and fuel consumption. These approaches mainly include simulation modeling, field data analysis, and statistical evaluation.

One widely used method is traffic simulation modeling. Models such as the Nagel–Schreckenberg (NaSch) framework simulate traffic flow under different conditions, allowing researchers to analyze how congestion affects fuel consumption. By adjusting parameters such as speed, density, and road capacity, these models demonstrate that unstable traffic flow leads to higher energy consumption [3].

Another important approach involves empirical field studies. In these studies, real-world fuel consumption data is collected under different traffic conditions using monitoring systems installed in vehicles. For example, research conducted in Sarawak revealed a strong correlation between traffic congestion levels and increased fuel consumption, confirming simulation-based findings [4].

Statistical and econometric techniques are also widely used. These methods analyze large datasets to identify relationships between traffic variables and fuel usage. Regression models are commonly applied to determine how factors such as density, speed, and travel patterns influence fuel consumption. A study conducted in Kathmandu demonstrated that increased congestion significantly raises fuel consumption levels [5].

Additionally, experimental studies involving real driving conditions are used to measure the impact of road and traffic characteristics on emissions and fuel use. These studies simulate urban driving cycles and show that irregular traffic patterns increase both fuel consumption and emissions [6]. Together, these methodologies provide a comprehensive framework for understanding how congestion influences fuel consumption from both theoretical and practical perspectives. The relative contribution of key factors influencing fuel consumption under congested traffic conditions is presented in Figure 1.

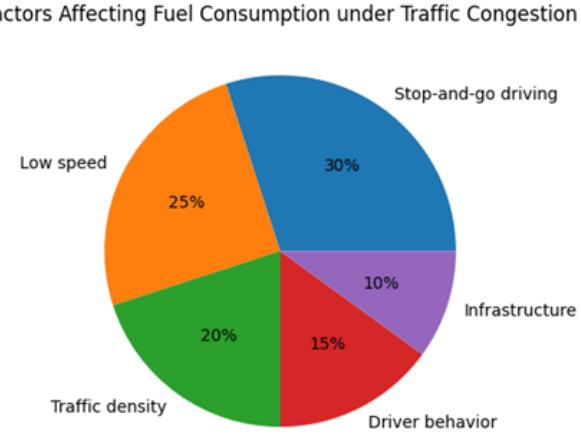


Fig. 1. Distribution of factors affecting fuel consumption under traffic congestion

VIII. Conclusion

The analysis presented in this study confirms that traffic congestion has a direct and significant impact on fuel consumption. Factors such as stop-and-go driving behavior, reduced speeds, high traffic density, and inefficient driving patterns all contribute to increased energy usage in urban transport systems. The reviewed literature consistently demonstrates that congested traffic conditions not only increase fuel consumption but also contribute to higher emissions, worsening environmental problems such as air pollution and climate change. Methodological evidence from simulation models, field studies, and statistical analyses strongly supports the relationship between congestion and fuel inefficiency. These approaches collectively provide a reliable understanding of the issue and highlight the importance of traffic optimization strategies. In conclusion, reducing traffic congestion is essential for improving fuel efficiency and promoting sustainable urban transportation. Effective solutions include improving public transport systems, implementing smart traffic management technologies, and encouraging eco-friendly driving behavior. Addressing congestion will lead to both environmental benefits and economic savings.

REFERENCE

1. Baraff, D., & others. (2015). *Traffic congestion and energy consumption*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/282652545_TRAFFIC_CONGESTION_AND_ENERGY_CONSUMPTION
2. Mahmud, K., Gope, K., & Chowdhury, S. (2018). *Possible causes & solutions of traffic congestion: A study of Dhaka city*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/326235494_Economic_impact_of_traffic_congestion-_estimation_and_challenges
3. Treiber, M., & Kesting, A. (2013). *Traffic flow dynamics and fuel consumption analysis using cellular automata models*. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437118302851
4. Said, M. F., & Karim, M. R. (2010). *Fuel consumption of passenger cars under different traffic conditions*. Retrieved from https://eprints.uts.edu.my/1386/

5. Sharma, S., & others. (2020). *Impact of traffic congestion on fuel consumption: A case study of Kathmandu Valley*. Retrieved from https://www.scienceimpactpub.com/journals/index.php/jei/article/view/95
6. Llopis-Castelló, D., et al. (2023). *Influence of road and traffic conditions on emissions and fuel consumption of light vehicles in urban driving cycles*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/392441043_Influence_of_road_and_traffic_conditions_on_emissions_and_fuel_consumption_of_light_vehicles_in_a_real_urban_driving_cycle

ECONOMETRICAL APPROACH OF TURNOVER OF GOODS IN MARITIME TRANSPORT OF AZERBAIJAN

Najafov Ruslan
Academy of State Customs Committee
ruslan.necefov@ascca.edu.az

Abstract: This study examines the turnover of goods in sea transport in Azerbaijan using econometric tools from 2001 to 2024.The research goals to evaluate the relationship between turnover of goods and Expenditure of goods with some econometrics methodology. simple linear regression model and it supported by tests including importance of regression model, F-statistics and t-statistics, Cusum and Cusum square, for define errors heteroscedasticity analyses used White test.The statistical results indicate that model is unimportant and unstable. These limitations suggest that the current model does not adequately capture the economic dynamics of sea transportation. Also study concludes that maritime transport plays a crucial role in the country's trade system, more advanced econometric models, methodologies and additional variables such as - price of oil, transport modes conditions and the most influential factor is the political relations between countries.
Keywords*: Sea, maritime, turnover, regression analyze, F-statistics, regression analyses*

I Introduction

With the increase in the world population, the demand for goods and services is increasing day by day. Also, the integration of countries leads to the expansion of international transport routes. In today's world, it is impossible to imagine global trade without international modes of transport. These modes of trade are: sea, air, rail and pipeline. In this article, we will mainly focus on the Sea transport mode.Maritime transport plays crucial role in international global trade systems. According to the UNCTAD Around 80% of the volume of international trade in goods is carried by sea, and the percentage is even higher for most developing countries. Ports are the milestones of that industry in all over the world. The busiest of these ports handle over 50 million tons of cargo annually, while approximately 15 ports manage more than 200 million tons of goods per year in terms of cargo turnover. Example for most famous ports in the world are Rotterdam, Shanghai, and Singapore.For the Azerbaijan Caspian Sea has of great importance for maritime trade. Despite having no access to the oceans, Azerbaijan is able to trade large quantities of goods with countries that have access to the Caspian Sea. The oldest and largest port in the Caspian Sea is located in the Baku Bay. İt is called " The Port of Baku".This port is mentioned in historical documents dating back to the 16th century. It should be noted that in order to effectively use the transit opportunities of Azerbaijan, the newest and largest Baku International Sea Trade Port (BMMTP) and Free Trade Zone were built on an area of 400 hectares, 65 km south of the center of Baku, in the village of Alat. The port of Baku includes the main cargo terminal, container terminal, Dubende oil terminal (capacity up to 12 million tons), ferry terminal and passenger terminal. The ferry terminal serves the following directions: Baku-Turkmenbashi - Baku, Baku - Aktau - Baku, Baku - Iranian ports - Baku. Also,

sea lines such as Baku - Makhachkala, Baku - Astrakhan, Baku - Anzali, Baku - Aktau and Baku - Mangistau are used for the transportation of oil, oil products, food and forest materials. Azerbaijan also plays an important role on the Great Silk Road. The Baku International Maritime Trade Port, plays a key role for freight from China to Europe, as well as an attractive corridor for traffic from Europe to Central Asia. The port is an integral part of the Trans-Caspian International Transport Route (TMTM), developed within the framework of the new "Great Silk Road" project. Its significance in cargo transshipment further increased with the launch of the Baku-Tbilisi-Kars (BTK) Railway on 30 October,2017.

II RESEARCH QUESTION

What is the relationship between the turnover of goods and the expenditure of goods in maritime transport in Azerbaijan during the period 2001–2024?

III Research Hypotheses

H_0 (Null Hypothesis):There is no statistically significant relationship between the turnover of goods and expenditure of goods in maritime transport.

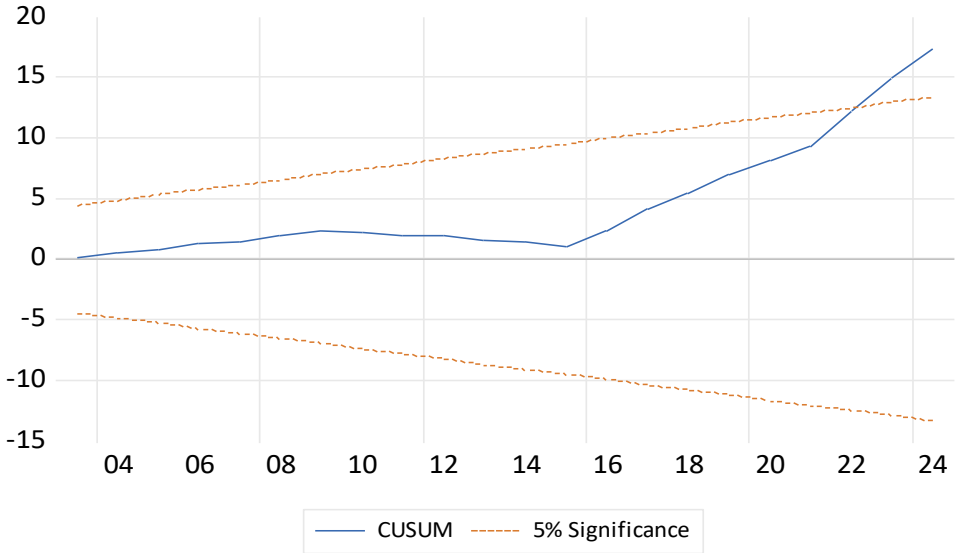
H_1 (Alternative Hypothesis):There is a statistically significant relationship between the turnover of goods and expenditure of goods in maritime transport.

IV EMPIRICAL RESULTS AND DISCUSSION : The article analyzes the econometrics indicators for the period 2001-2024 based on official data from the State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan.

We can see here **Simple Linear Regression** equation between Turnover of Goods (manats) and Expenditure of Goods (manats)

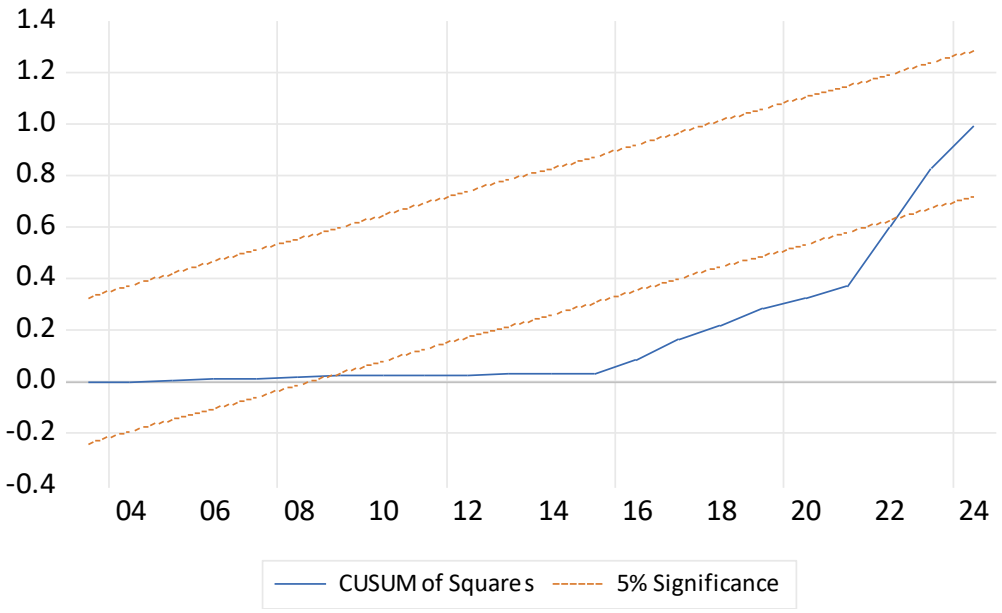
EXPENDITURE_OF_GOODS = -20.6754655358*TURNOVER_OF_GOODS + 233354.806109 (1)

The regression equation (1) is analyzed The Slope (C1 = -20.675): This represents a negative correlation. For every 1-unit increase in the turnover of goods, the expenditure on goods is expected to decrease by approximately 20.675 units, holding all else constant.R^2 = 0.367 it is more than 0.3 means that Turnover of Goods approximate Expenditure is middle.F-statistics = 12.89 and Prob(F-statistics) =0.00 < Prob(0.05) it means that regression model parameters are important Turnover of Goods t-Statistic (Prob)= 0.001 < Prob(0.05) it means that regression model parameters are important .C (constant) Prob) =0.00 < Prob(0.05) it means that , regression model parameters are important.Durbin-Watson stat. = 0.409 is less than 2 , it means that Autocorrelation is Positive



Graph 1.Result of CUSUM test

Graph 1 is shown **Main line (blue line)** does intersect with **Border lines (red lines)**, it means that regression model parameters are **unstable.**



Graph 2. Result of CUSUM of Squares test

Graph 2 result is shown that , main line (blue line) does intersect with Border lines (red lines), it means that regression model parameters are unstable.

TABLE 1 THİS TABLE İS REPRESENTED REGRESSİON MODEL ERRORS ARE HOMOSCEDASTİCİTY OR HETEROSCEDASTİC

Heteroskedasticity Test: White

Null hypothesis: Homoskedasticity

F-statistic	3.981392	Prob. F(2,21)	0.0342
Obs*R-squared	6.598358	Prob. Chi-Square(2)	0.0369
Scaled explained SS	3.873241	Prob. Chi-Square(2)	0.1442

F-statistic (Prob) = 0.0342 < Prob(0.05) it means that regression model errors are **Heteroscedastic.**

V CONCLUSION

This study examined the relationship between the turnover of goods and the expenditure of goods in maritime transport in Azerbaijan over the period 2001–2024 using a simple linear regression model and a set of econometric diagnostic tests.The empirical findings indicate that there is a statistically significant relationship between the variables, as confirmed by the F-statistic and t-statistic results ($p < 0.05$). The R^2 value of 0.367 suggests a moderate level of explanatory power, meaning that turnover of goods explains a noticeable portion of the variation in expenditure.However, despite statistical significance, the model reveals several important econometric limitations. The negative coefficient implies an inverse relationship between turnover and expenditure, which is not fully consistent with economic expectations and may indicate model misspecification or omitted variables. In addition, the Durbin–Watson statistic points to the presence of positive autocorrelation in the residuals, violating the classical regression assumptions.Furthermore, the results of the CUSUM and CUSUM of squares tests demonstrate that the model parameters are unstable over time, suggesting structural changes within the maritime transport sector. The White test confirms the presence of heteroscedasticity, indicating that the variance of the error terms is not constant and reducing the efficiency of the estimates.Overall, while the regression model is statistically significant, it does not provide a fully reliable representation of the economic relationship between turnover and expenditure in Azerbaijan's maritime

transport sector. These findings suggest that more advanced econometric approaches, along with the inclusion of additional explanatory variables such as fuel costs, infrastructure development, and international trade conditions, are necessary to obtain more accurate and robust results.Despite these limitations, maritime transport continues to play a strategically important role in Azerbaijan's economy, particularly through its integration into regional and global trade corridors

REFERENCES

1. United Nations Conference on Trade and Development. (Various years). Review of Maritime Transport. Geneva: UNCTAD.
2. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. (2024). Transport Statistics of Azerbaijan (2001–2024). Baku.
3. Yang, C.-C.. (2012). Assessing the moderating effect of innovation capability on the relationship between logistics service capability and firm performance for ocean freight forwarders. International Journal of Logistics Research and Applications, 15(1), 53–69.
4. Caliskan, Aylin, & Ozturkoglu, Yucel. (2016). Maritime logistics functions and their impact on operational efficiency. Journal of Transport and Supply Chain Management.
5. Volatility and Shock Transmission in Maritime Freight Rates: A SARIMAX-EGARCH Approach. (2023). Analysis of freight rate volatility using BDI and container indices.
6. Profiling Global Maritime Hubs: Statistical Characteristics of Port Types and Trade Corridors. (2025). Cluster analysis of global port performance and trade connectivity.
7. Dickey, David A., & Fuller, Wayne A.. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. Journal of the American Statistical Association, 74(366), 427–431.
8. White, Halbert. (1980). A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. Econometrica, 48(4), 817–838.
9. Durbin, James, & Watson, Geoffrey S.. (1950). Testing for serial correlation in least squares regression. Biometrika, 37(3–4), 409–428.
10. Brown, R. L., Durbin, J., & Evans, J. M.. (1975). Techniques for testing the constancy of regression relationships over time. Journal of the Royal Statistical Society: Series B, 37(2), 149–192.

XƏZƏR DƏNİZİ ƏTRAFINDA NƏQLİYYAT VƏ ÇİRKLƏNMƏ PROBLEMLƏRİ

Bahar Dadaşova
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik \ Logistika və nəqliyyat
bdadashova@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Amin Rüstəmli
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik \ Logistika və nəqliyyat
ahuseynli@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Əli Qocayev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik \ Logistika və nəqliyyat
aqocayev1@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

***Xülasə*:** Xəzər dənizi regionu nəqliyyat-logistika baxımından strateji əhəmiyyətə malikdir, ancaq ciddi ekoloji problemlərlə üzləşir. Bu məqalədə dəniz nəqliyyatı, liman fəaliyyəti, neft və qaz daşımaları kimi antropogen faktorların ətraf mühitə təsiri geniş şəkildə təhlil edilir. Müxtəlif beynəlxalq mənbələrə əsaslanaraq aparılan araşdırmalar göstərir ki, çirklənmənin əsas mənbələri neft tullantıları, plastik çirklənmə, sənaye axıntıları və ağır metallardır. Məqalədə həmçinin müasir elmi metodlar əsasında problemlərin qiymətləndirilməsi və effektiv həll yolları təqdim olunur.
Açar sözlər: Dəniz nəqliyyatı, liman fəaliyyəti, neft və qaz daşımaları, antropogen təsirlər, su çirklənməsi, neft sızmaları, plastik tullantılar, ağır metallar, səs-küy çirklənməsi, biomüxtəliflik, oriyentasiya, ekosistem deqradasiyası, GIS modelləşdirmə, ekoloji monitorinq, davamlı inkişaf, beynəlxalq əməkdaşlıq.
Article: The Caspian Sea region is of strategic importance in terms of transport and logistics, but faces serious environmental problems. This article comprehensively analyzes the impact of anthropogenic factors such as maritime transport, port activities, oil and gas transportation on the environment. Studies based on various international sources show that the main sources of pollution are oil waste, plastic pollution, industrial effluents and heavy metals. The article also presents an assessment of the problems and effective solutions based on modern scientific methods.
Keywords: Maritime transport, port activities, oil and gas transportation, anthropogenic impacts, water pollution, oil spills, plastic waste, heavy metals, noise pollution, biodiversity, orientation, ecosystem degradation, GIS modeling, ecological monitoring, sustainable development, international cooperation.

I. Giriş

Xəzər dənizi dünyanın ən böyük qapalı su hövzəsi olmaqla yanaşı, Avropa ilə Asiya arasında mühüm nəqliyyat və enerji dəhlizi rolunu oynayır. Bu dəniz Azərbaycan, Rusiya, Qazaxıstan, Türkmənistan və İran kimi ölkələri birləşdirərək regionda iqtisadi əlaqələrin inkişafına böyük töhfə verir.

Son illərdə nəqliyyat sektorunun sürətli inkişafı, xüsusilə dəniz daşımalarının artması və liman infrastrukturlarının genişlənməsi Xəzər dənizinin ekoloji vəziyyətinə ciddi təsir göstərmişdir. Gəmiçilik, tanker daşımaları və neft platformalarının fəaliyyəti nəticəsində suyun keyfiyyəti aşağı düşmüş, biomüxtəliflik isə zəifləməyə başlamışdır.

Eyni zamanda Xəzər dənizi regionu iqlim dəyişikliklərinə qarşı həssas ərazilərdən biri hesab olunur və burada baş verən ekoloji dəyişikliklər bütün region ölkələrinə təsir edir [1].

II. Problemin təsviri

Xəzər dənizi ətrafında nəqliyyat fəaliyyətlərinin genişlənməsi regionda ekoloji tarazlığın pozulmasına səbəb olan əsas amillərdən biridir. Dəniz nəqliyyatı, liman əməliyyatları, neft və qaz daşımaları, eləcə də sahilboyu sənaye fəaliyyətləri su mühitinə müxtəlif növ çirkləndiricilərin daxil olmasına gətirib çıxarır. Bu çirkləndiricilər fiziki, kimyəvi və bioloji xarakter daşıyaraq dəniz ekosisteminin bütün komponentlərinə təsir edir. Problemin kompleks xarakter daşıması onun yalnız lokal deyil, regional və beynəlxalq səviyyədə də ciddi əhəmiyyət kəsb etdiyini göstərir. Xüsusilə Xəzəryanı ölkələr arasında nəqliyyat əlaqələrinin artması çirklənmənin miqyasını genişləndirir və ekoloji riskləri daha da artırır. Aşağıda bu problemlərin əsas istiqamətləri daha ətraflı izah olunur.

1) Neft və neft məhsulları ilə çirklənmə

Xəzər dənizi dünyanın ən qədim neft hasilatı bölgələrindən biridir. Neftin hasilatı və daşınması zamanı baş verən sızmalar suyun səthində qalın təbəqə yaradır və bu, günəş şüalarının suya keçməsini azaldır. Nəticədə fotosintez prosesi zəifləyir və su canlılarının həyatı təhlükə altına düşür [1, 2, 6].

2) Plastik tullantılar və bərk məişət tullantıları

Çaylar və sahil zonaları vasitəsilə dənizə daxil olan plastik tullantılar uzun müddət parçalanmadan qalaraq ekosistemin strukturunu pozur. Bu tullantılar xüsusilə balıqlar və quşlar üçün təhlükəlidir [3, 4, 7].

3) Ağır metallar və kimyəvi çirklənmə

Sənaye müəssisələri və nəqliyyat fəaliyyəti nəticəsində suya qarışan ağır metallar canlı orqanizmlərdə toplanaraq zəhərlənməyə səbəb olur. Bu isə qida zəncirinə mənfi təsir göstərir [2, 8, 10].

4) Səs-küy çirklənməsi

Gəmi mühərriklərinin yaratdığı səs-küy dəniz canlılarının kommunikasiya və oriyentasiya qabiliyyətini zəiflədir.

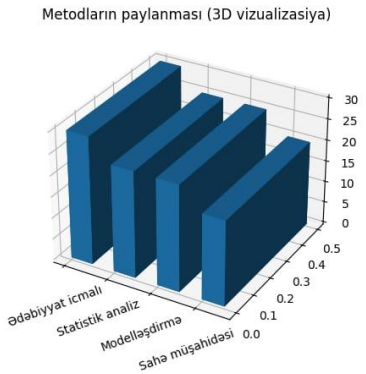
5) Ekosistemə təsirlər

Yuxarıda qeyd olunan problemlər nəticəsində Xəzər dənizində biomüxtəliflik azalır, bəzi növlər yox olmaq təhlükəsi ilə üzləşir və ekosistem balansı pozulur.

III. Metodologiya

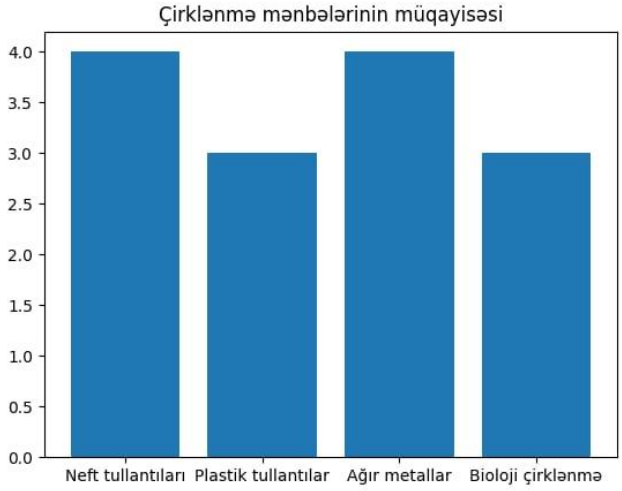
Bu tədqiqatda kompleks və çoxşaxəli elmi yanaşma tətbiq edilmişdir. Araşdırmanın əsas məqsədi Xəzər dənizi regionunda nəqliyyat fəaliyyəti ilə bağlı ekoloji problemlərin səbəb-nəticə əlaqələrini daha dərindən analiz etmək olmuşdur. Bunun üçün həm keyfiyyət, həm də kəmiyyət metodlarından istifadə edilmişdir. Keyfiyyət yanaşması çərçivəsində beynəlxalq elmi məqalələr, akademik hesabatlar və rəsmi statistik mənbələr geniş şəkildə təhlil olunmuşdur. Kəmiyyət yanaşmasında isə mövcud statistik məlumatlar əsasında çirklənmə səviyyələri, nəqliyyat intensivliyi və ekoloji göstəricilər müqayisə edilmişdir.

Bundan əlavə, sahə müşahidələri və mövcud ekoloji monitorinq nəticələri də tədqiqatın empirik bazasını gücləndirmişdir. GIS və modelləşdirmə metodları vasitəsilə çirklənmənin yayılma istiqamətləri və sahil zonalarına təsiri vizual və analitik şəkildə qiymətləndirilmişdir. Bu yanaşma nəticələrin daha dəqiq və elmi əsaslı olmasına imkan yaratmışdır [5, 7, 12].



Şəkil 1. Metodların paylanması

- Ədəbiyyat icmalı – 30%
- Statistik analiz – 25%
- Modelləşdirmə – 25%
- Sahə müşahidəsi – 20%



Şəkil 2. Çirklənmə mənbələrinin müqayisəsi

- Neft tullantıları – yüksək
- Plastik tullantılar – orta
- Ağır metallar – yüksək
- Bioloji çirklənmə – orta

Analiz və müzakirə

Aparılan təhlillər göstərir ki, Xəzər dənizində çirklənmə əsasən antropogen fəaliyyətlə bağlıdır. Xüsusilə nəqliyyat və enerji sektoru bu prosesdə mühüm rol oynayır. Beynəlxalq tədqiqatlar göstərir ki, dənizdə çirklənmənin yayılması hidrodinamik proseslərdən asılıdır və bu səbəbdən çirklənmə bir ölkənin sərhədləri daxilində məhdudlaşmır.

Bundan əlavə, ekoloji problemlərin artması regionda iqtisadi fəaliyyətlərə də mənfi təsir göstərir. Balıqçılıq sektorunda məhsuldarlığın azalması və turizm potensialının zəifləməsi bunun əsas göstəricilərindəndir [1, 9, 11, 13].

Həll yolları

Xəzər dənizi ətrafında müşahidə olunan ekoloji problemlərin azaldılması üçün kompleks və çoxsəviyyəli yanaşma tələb olunur. Bu yanaşma həm dövlət siyasəti, həm də regional və beynəlxalq əməkdaşlıq səviyyəsində həyata keçirilməlidir. Nəqliyyat və sənaye sektorlarının ekoloji təsirlərini minimuma endirmək üçün aşağıdakı istiqamətlər xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

İlk növbədə ekoloji monitorinq sistemlərinin gücləndirilməsi vacibdir. Dəniz suyunun keyfiyyətinin mütəmadi ölçülməsi, çirklənmə mənbələrinin real vaxt rejimində izlənməsi və rəqəmsal məlumat bazalarının yaradılması problemin erkən aşkarlanmasına imkan verir. Bu, xüsusilə neft daşımaları və liman fəaliyyətləri üçün kritik əhəmiyyət daşıyır.

İkinci əsas istiqamət təmiz enerji və ekoloji cəhətdən təhlükəsiz texnologiyaların tətbiqidir. Gəmiçilikdə aşağı emissiyalı yanacaq növlərinə keçid, limanlarda elektriklə işləyən texnikadan istifadə və karbon emissiyalarının azaldılması Xəzər dənizinin ekoloji yükünü azalda bilər.

Bundan əlavə, neft sızmalarının qarşısının alınması üçün qabaqlayıcı texnologiyaların tətbiqi mühüm rol oynayır. Müasir sensor sistemləri, avtomatik xəbərdarlıq mexanizmləri və təhlükəsizlik standartlarının gücləndirilməsi bu sahədə effektiv nəticələr verə bilər.

Plastik tullantıların azaldılması və təkrar emalı da əsas prioritetlərdəndir. Sahil zonalarında tullantıların idarə olunması sistemlərinin təkmilləşdirilməsi, ictimai maarifləndirmə kampaniyalarının aparılması və təkrar emal infrastrukturunun inkişafı çirklənməni azalda bilər.

Nəhayət, beynəlxalq əməkdaşlığın inkişaf etdirilməsi Xəzər dənizi kimi qapalı su hövzəsi üçün xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Xəzəryanı ölkələr arasında birgə ekoloji proqramlar, məlumat mübadiləsi və koordinasiyalı tədbirlər ekosistemin qorunmasında mühüm rol oynayır [4, 5, 14, 15].

IV. Nəticə

Nəticələr müxtəlif akademik və beynəlxalq mənbələrin ümumiləşdirilməsi əsasında formalaşdırılmışdır. Bu tədqiqat göstərir ki, Xəzər dənizi ətrafında nəqliyyat fəaliyyətlərinin genişlənməsi yalnız iqtisadi inkişafı sürətləndirmir, eyni zamanda ciddi ekoloji risklər də yaradır. Xüsusilə neft daşımaları, liman əməliyyatları və sənaye fəaliyyəti nəticəsində yaranan çirklənmə dəniz mühitinin təbii balansını pozur və biomüxtəlifliyin azalmasına səbəb olur.

Aparılan analizlər sübut edir ki, bu problemlər təkcə lokal xarakter daşımır, əksinə regional və beynəlxalq miqyasda öz təsirini göstərir. Xəzər dənizi qapalı su hövzəsi olduğuna görə burada yaranan çirklənmə uzun müddət qalır və öz-özünə təmizlənmə prosesi zəif gedir. Bu isə çirklənmənin təsirini daha da gücləndirir və uzunmüddətli ekoloji problemlərə yol açır.

Eyni zamanda tədqiqat nəticələri göstərir ki, nəqliyyat sektorunun düzgün idarə olunması və müasir ekoloji standartların tətbiqi bu problemlərin azaldılmasında mühüm rol oynaya bilər. Xüsusilə alternativ enerji mənbələrindən istifadə, təmiz texnologiyaların tətbiqi və effektiv monitorinq sistemlərinin qurulması müsbət nəticələr verə bilər.

Nəticə etibarilə demək olar ki, Xəzər dənizinin ekoloji vəziyyətinin yaxşılaşdırılması üçün kompleks yanaşma tələb olunur. Bu yanaşma dövlət siyasəti, elmi tədqiqatlar və beynəlxalq əməkdaşlıq əsasında qurulmalıdır. Yalnız bu halda həm iqtisadi inkişaf, həm də ekoloji təhlükəsizlik arasında balans təmin edilə bilər və regionda davamlı inkişafın əldə olunması mümkün olar [1, 3, 6, 12].

ƏDƏBİYYAT

1. ScienceDirect. (n.d.). *Marine pollution and transport impacts in the Caspian Sea region*. https://www.sciencedirect.com
2. ResearchGate. (n.d.). *Pollution of the Caspian Sea: environmental assessment*. https://www.researchgate.net
3. PubMed. (n.d.). *Environmental contaminants in the Caspian Sea ecosystem*. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov
4. United Nations Environment Programme (UNEP). (n.d.). *Marine and coastal ecosystems reports*. https://www.unep.org
5. World Bank. (n.d.). *Transport and environment sustainability reports*. https://www.worldbank.org
6. Springer Nature. (n.d.). *Environmental science and transport pollution studies*. https://link.springer.com
7. MDPI. (n.d.). *Sustainability and environmental monitoring studies*. https://www.mdpi.com
8. Taylor & Francis. (n.d.). *Environmental pollution journals*. https://www.tandfonline.com
9. Scopus. (n.d.). *Abstract and citation database for scientific research*. https://www.scopus.com
10. Nature Publishing Group. (n.d.). *Scientific reports on environmental systems*. https://www.nature.com
11. International Energy Agency (IEA). (n.d.). *Transport energy and emissions reports*. https://www.iea.org
12. European Environment Agency (EEA). (n.d.). *Transport and environment indicators*. https://www.eea.europa.eu
13. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (n.d.). *Environmental performance reviews*. https://www.oecd.org
14. Transport & Environment. (n.d.). *Transport pollution and climate impact reports*. https://www.transportenvironment.org

UNESCO. (n.d.). *Marine ecosystem protection studies*. https://www.unesco.org

SƏNAYE MÜƏSSİSƏLƏRİNDƏ ABC/XYZ METODUNUN TƏTBİQİ VƏ EFFEKTİVLİK PROBLEMLƏRİ

Nihad Qaziyev
Mühəndislik fakültəsi / Logistika və nəqliyyat kafedrası
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
nqaziyev@std.beu.edu.az

***Xülasə*:** Bu məqalədə sənaye müəssisələrində ehtiyatların idarə olunmasında ABC/XYZ analizinin tətbiqi və onun səmərəliliyi araşdırılır. Tədqiqatın əsas məqsədi ehtiyatların təsnifatı zamanı istifadə olunan bu metodun idarəetmə proseslərinə təsirini qiymətləndirmək və mövcud problemləri müəyyən etməkdir. Təhlil göstərir ki, ABC/XYZ analizi ehtiyatların əhəmiyyət və dəyişkənlik səviyyəsinə görə bölünməsinə imkan yaratsa da, bəzi hallarda məlumatların düzgün toplanmaması və qeyri-dəqiq təsnifat nəticələrin effektivliyini azaldır. Nəticə olaraq, metodun düzgün tətbiqi ehtiyatların optimallaşdırılmasına, xərclərin azaldılmasına və logistik səmərəliliyin artırılmasına şərait yaradır.

Açar sözlər: Ehtiyatların idarə edilməsi, ABC/XYZ analizi, ehtiyatların təsnifatı, tələb dəyişkənliyi, optimallaşdırma, təchizat zənciri, logistik səmərəlilik.

I. GİRİŞ

Sənaye müəssisələrində ehtiyatların idarə olunması istehsal prosesinin fasiləsizliyi, resurslardan səmərəli istifadə və ümumi maliyyə dayanıqlığının təmin edilməsi baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır. Müasir iqtisadi mühitdə qlobal rəqabətin artması, xammal və material qiymətlərinin dəyişkənliyi, eləcə də təchizat zəncirində yaranan qeyri-sabitlik müəssisələri daha çevik və elmi əsaslandırılmış idarəetmə metodlarına yönəldir. Bu kontekstdə ehtiyatların düzgün təsnifatı və optimallaşdırılması idarəetmə qərarlarının keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərən əsas faktorlardan biri hesab olunur.

Ehtiyatların idarə olunmasında geniş tətbiq edilən yanaşmalardan biri ABC/XYZ analizidir. ABC analizi ehtiyatları onların iqtisadi dəyəri və müəssisə üçün əhəmiyyət dərəcəsinə görə üç əsas kateqoriyaya (A, B, C) bölür. Bu yanaşma müəssisəyə ən yüksək dəyər yaradan və strateji əhəmiyyət daşıyan materiallara daha çox diqqət ayırmaq imkanı verir. XYZ analizi isə ehtiyatların tələb dəyişkənliyinə əsaslanaraq təsnif edilməsini təmin edir və materialların sabit, orta və qeyri-sabit tələb xarakterini müəyyənləşdirir. Bu iki metodun birgə tətbiqi ehtiyatların həm iqtisadi, həm də statistik baxımdan daha dəqiq idarə olunmasına şərait yaradır.

Bununla yanaşı, praktikada ABC/XYZ analizinin tətbiqi bir sıra çətinliklərlə müşayiət olunur. İlk növbədə, istifadə olunan məlumatların düzgünlüyü və tamlığı nəticələrin etibarlılığına ciddi təsir göstərir. Məlumat bazasında olan qeyri-dəqiqliklər və ya natamam statistik göstəricilər ehtiyatların yanlış təsnifatına səbəb ola bilər. Digər mühüm problem proqnozlaşdırma səhvləri ilə bağlıdır ki, bu da xüsusilə XYZ analizində tələb dəyişkənliyinin düzgün qiymətləndirilməməsinə gətirib çıxarır.

Eyni zamanda, müəssisələrdə analitik yanaşmaların düzgün tətbiq olunmaması, personalın metod üzrə kifayət qədər bilik və təcrübəyə malik olmaması və informasiya sistemlərinin zəif inteqrasiyası da bu metodun effektivliyini azaldan əsas amillər sırasındadır.

Nəticədə bəzi hallarda artıq ehtiyatların formalaşması, anbar xərclərinin artması və kritik materiallarda çatışmazlıq kimi problemlər meydana çıxır ki, bu da ümumi istehsal və logistik proseslərin səmərəliliyinə mənfi təsir göstərir.

Bu məqalənin əsas məqsədi sənaye müəssisələrində ABC/XYZ analizinin tətbiq imkanlarını geniş şəkildə araşdırmaq, onun üstünlüklərini və məhdudiyyətlərini müəyyənləşdirmək, həmçinin ehtiyatların idarə olunmasında yaranan əsas problemləri təhlil etməkdir. Eyni zamanda, bu metodun düzgün tətbiqi nəticəsində əldə edilə biləcək iqtisadi və operativ faydaların qiymətləndirilməsi də tədqiqatın mühüm istiqamətlərindən biridir. [1],[2],[3],[4],[5],[7]

II. PROBLEMİN TƏSVİRİ

Sənaye müəssisələrində ehtiyatların idarə olunması istehsal prosesinin davamlılığı və maliyyə resurslarının səmərəli istifadəsi baxımından həlledici rol oynayır. Lakin bir çox müəssisələrdə bu proses kifayət qədər sistemli və elmi əsaslandırılmış formada həyata keçirilmir. Əsas problem ehtiyatların vahid yanaşma ilə idarə olunması və onların iqtisadi əhəmiyyət, tələb dəyişkənliyi və strateji rola görə düzgün təsnif edilməməsidir. Bu yanaşma nəticəsində bütün materiallara eyni nəzarət səviyyəsi tətbiq edilir ki, bu da idarəetmədə qeyri-effektivliyə gətirib çıxarır.

Ən ciddi problemlərdən biri ehtiyatların strukturunun düzgün müəyyən edilməməsidir. Praktikada tez-tez elə hallar müşahidə olunur ki, müəssisələrdə yüksək dəyərə malik və istehsal prosesində kritik rol oynayan materiallarla, aşağı dəyərli və az istifadə olunan materiallar eyni prioritetlə idarə olunur. Bu isə nəticə etibarilə resursların düzgün bölüşdürülməməsinə, maliyyə vəsaitlərinin artıq ehtiyatlarda "donmasına" səbəb olur.

Digər mühüm problem tələb proqnozlaşdırmasında yaranan qeyri-dəqiqlikdir. Tələbin dəyişkənliyi düzgün qiymətləndirilmədikdə ehtiyat səviyyələri ya həddindən artıq artır, ya da kritik həddən aşağı düşür. Artıq ehtiyatlar anbar xərclərinin yüksəlməsinə, saxlama və sığorta xərclərinin artmasına səbəb olduğu halda, çatışmazlıq istehsal prosesində fasilələr yaradır və sifarişlərin gecikməsinə gətirib çıxarır. Bu vəziyyət müəssisənin həm daxili səmərəliliyinə, həm də müştəri məmnuniyyətinə mənfi təsir göstərir.

ABC/XYZ analizinin tətbiqi bu problemlərin həllində mühüm alət kimi çıxış etsə də, onun praktiki istifadəsi zamanı da bir sıra çətinliklər mövcuddur. İlk növbədə, istifadə olunan məlumatların keyfiyyəti və dəqiqliyi əsas problem kimi ortaya çıxır. Natamam və ya köhnəlmiş məlumat bazası əsasında aparılan analizlər yanlış təsnifat nəticələri yaradır. Bununla yanaşı, XYZ analizində tələb dəyişkənliyinin düzgün ölçülməməsi ehtiyatların sabit və qeyri-sabit kateqoriyalar üzrə səhv bölgüsünə səbəb olur.

Eyni zamanda, müəssisələrdə informasiya sistemlərinin yetərincə inteqrasiya olunmaması da mühüm problemdir. Müxtəlif şöbələr arasında məlumat axınının zəif olması ehtiyat planlamasında uyğunsuzluqlar yaradır. Analitik yanaşmaların və avtomatlaşdırılmış sistemlərin tam tətbiq olunmaması isə insan amilindən asılılığı artıraraq səhv ehtimalını yüksəldir.

Bütün bu amillərin birgə təsiri nəticəsində müəssisələrdə artıq ehtiyatların formalaşması, kapitalın dövriyyədən çıxması, logistik proseslərin yavaşlaması və ümumi istehsal səmərəliliyinin aşağı düşməsi kimi ciddi problemlər müşahidə olunur. Buna görə də ehtiyatların idarə olunmasında daha dəqiq təsnifat modellərinin tətbiqi, ABC/XYZ analizinin düzgün inteqrasiyası və məlumat bazasının təkmilləşdirilməsi zəruri hesab olunur. [1],[2],[4],[5],[6],[7]

III. METODOLOGİYA

Bu tədqiqatda sənaye müəssisələrində ehtiyatların idarə olunmasında ABC/XYZ analizinin tətbiqi və onun effektivliyinin qiymətləndirilməsi üçün kompleks analitik yanaşmadan istifadə edilmişdir. Metodologiya həm kəmiyyət (statistik), həm də keyfiyyət (analitik) yanaşmaları özündə birləşdirir ki, bu da əldə olunan nəticələrin daha dəqiq və etibarlı olmasına imkan yaradır.

İlk mərhələdə tədqiqat üçün zəruri olan məlumat bazası formalaşdırılmışdır. Məlumatlar müəssisələrin anbar uçotu sistemlərindən, satınalma qeydlərindən, istehsal planlarından və satış dinamikasına dair hesabatlardan toplanmışdır. Toplanmış məlumatlar müəyyən zaman intervalı üzrə (aylıq və illik dövrlər) sistemləşdirilmiş və analiz üçün uyğun formaya salınmışdır. Məlumatların emalı zamanı natamam və uyğunsuz göstəricilər çıxarılmış, standartlaşdırma və normallaşdırma prosedurları tətbiq olunmuşdur.

Növbəti mərhələdə ABC analizi həyata keçirilmişdir. Bu analiz çərçivəsində ehtiyatlar onların ümumi dəyərinə görə üç əsas kateqoriyaya bölünmüşdür: yüksək dəyərli və strateji əhəmiyyətli materiallar (A qrupu), orta səviyyəli materiallar (B qrupu) və aşağı dəyərli, lakin sayca çox olan materiallar (C qrupu). Bu bölgü Pareto prinsipi əsasında aparılmış və ehtiyatların ümumi dəyərində ən yüksək paya malik olan az sayda məhsulların müəyyənləşdirilməsinə imkan vermişdir.

Daha sonra XYZ analizi tətbiq edilmişdir. Bu mərhələdə ehtiyatlar tələb dəyişkənliyinə görə təsnif edilmişdir. X kateqoriyasına sabit və proqnozlaşdırılması asan olan materiallar, Y kateqoriyasına orta səviyyədə dəyişkən tələbə malik məhsullar, Z kateqoriyasına isə yüksək dəyişkənlik göstərən və proqnozlaşdırılması çətin olan ehtiyatlar daxil edilmişdir. Tələb dəyişkənliyi statistik dispersiya və variasiya əmsalı əsasında hesablanmışdır.

ABC və XYZ analizlərinin nəticələri birləşdirilərək kombinə edilmiş matris modeli (ABC/XYZ matrisi) formalaşdırılmışdır. Bu yanaşma ehtiyatların həm iqtisadi dəyərini, həm də tələb sabitliyini eyni zamanda nəzərə almağa imkan vermişdir. Nəticədə hər bir məhsul qrupu üzrə fərqli idarəetmə strategiyaları müəyyən edilmişdir. Məsələn, yüksək dəyərli və sabit tələbə malik A-X qrupuna ciddi nəzarət və dəqiq planlama tətbiq olunmuş, dəyişkən tələbatlı Z qruplarında isə daha çevik ehtiyat siyasəti nəzərdə tutulmuşdur.

Tədqiqat zamanı həmçinin statistik təhlil metodlarından istifadə edilmişdir. Orta qiymət, standart sapma, variasiya əmsalı və korrelyasiya göstəriciləri hesablanaraq ehtiyat səviyyələri ilə tələb dəyişkənliyi arasında əlaqə araşdırılmışdır. Bu analizlər nəticəsində ehtiyatların idarə olunmasına təsir edən əsas faktorlar müəyyən edilmişdir.

Bundan əlavə, müqayisəli analiz yanaşması tətbiq olunmuşdur. ABC/XYZ metodu tətbiq edilməzdən əvvəlki və sonrakı dövr göstəriciləri müqayisə edilərək ehtiyat səviyyəsində dəyişikliklər, anbar xərcləri və çatışmazlıq halları qiymətləndirilmişdir. Bu yanaşma metodun praktik effektivliyini ölçməyə imkan vermişdir.

Ümumilikdə, metodologiya ehtiyatların idarə olunmasının optimallaşdırılması üçün sistemli, mərhələli və statistik əsaslandırılmış yanaşmaya əsaslanır və əldə edilən nəticələrin etibarlılığını təmin edir. [1],[2],[3],[5],[6],[8]

Cədvəl 1. Ehtiyatların ABC analizi üzrə təsnifatı (nümunə)

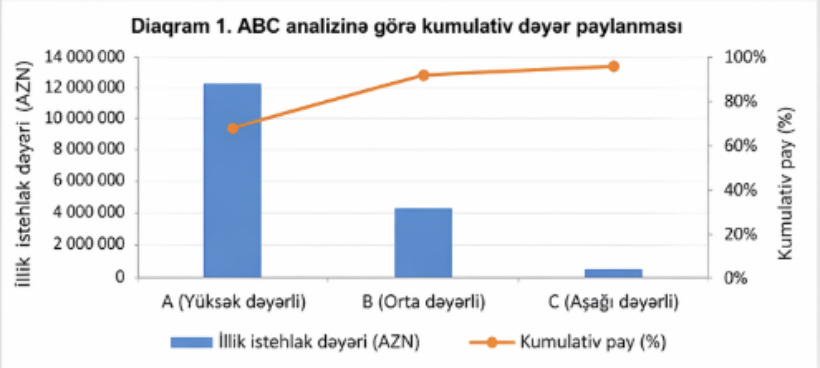
Kategoriya	Material qrupları	Say (ədəd)	İllik istehlak dəyəri (AZN)	Ümumi dəyərdə payı (%)	Kumulativ pay (%)
A (Yüksək dəyərli)		15	12 450 000	70,4	70,4
B (Orta dəyərli)		35	4 350 000	24,6	95,0
C (Aşağı dəyərli)		150	900 000	5,0	100,0
Cəmi		**200**	**17 700 000**	**100,0**	-

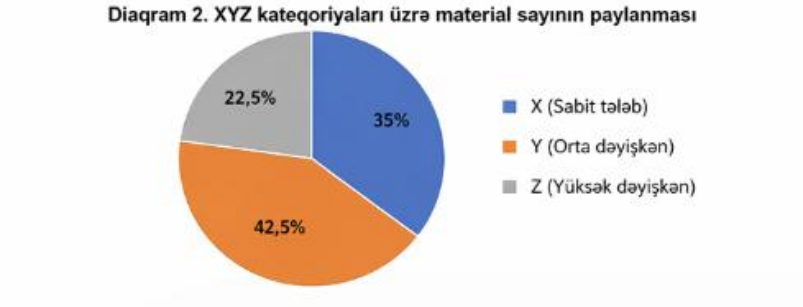
Qeyd: ABC təsnifatı Pareto prinsipi əsasında aparılmışdır.

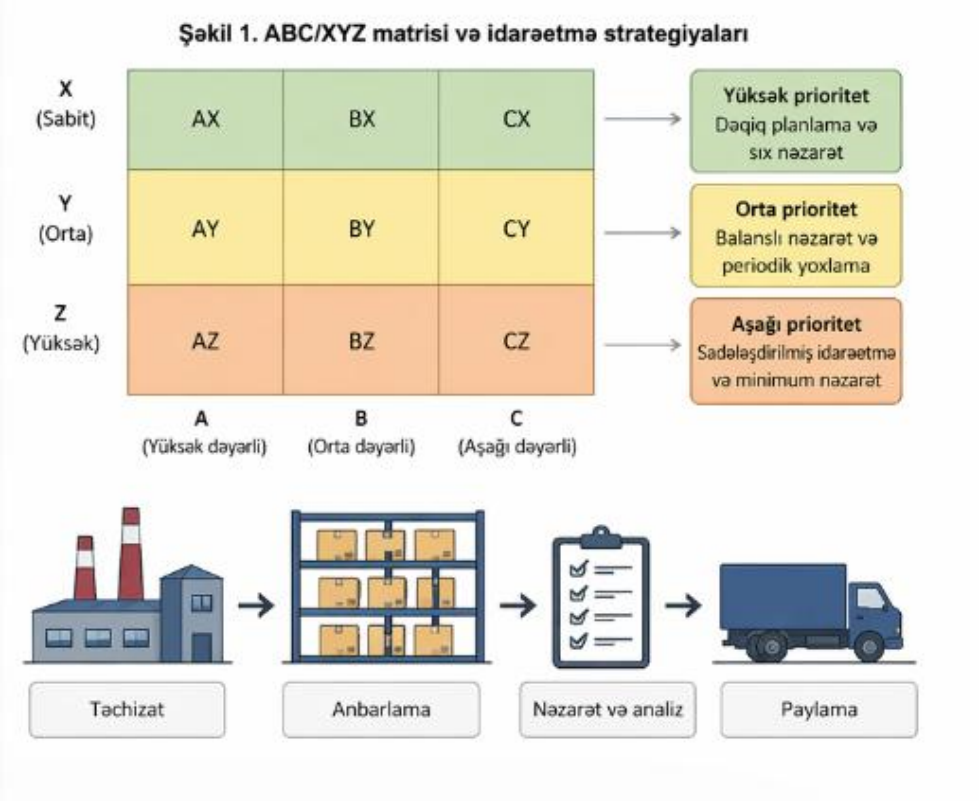
Cədvəl 2. Ehtiyatların XYZ analizi üzrə təsnifatı (nümunə)

Kategoriya	Tələb dəyişkənliyi (Variasiya əmsalı)	Material qruplarının sayı	Ümumi pay (%)	İdarəetmə yanaşması
X (Sabit tələb)	0% – 10%	70	35,0	Dəqiq proqnoz, sabit sifariş
Y (Orta dəyişkən)	10% – 25%	85	42,5	Dövri yoxlama, elastik planlama
Z (Yüksək dəyişkən)	> 25%	45	22,5	Çevik idarəetmə, təhlükəsizlik ehtiyatı
Cəmi	-	**200**	**100,0**	-

Qeyd: Variasiya əmsalı = (Standart sapma / Orta) × 100%







IV. TƏHLİL VƏ STATİSTİK QİYMƏTLƏNDİRMƏ

Aparılan statistik təhlil sənaye müəssisələrində ABC/XYZ analizinin tətbiqinin ehtiyatların idarə olunmasına təsirini daha dərindən qiymətləndirmək məqsədi daşıyır. Təhlil prosesində ehtiyatların struktur göstəriciləri, tələb dəyişkənliyi, dövriyyə sürəti, anbar yüklənməsi və proqnoz dəqiqliyi əsas indikatorlar kimi nəzərə alınmışdır.

İlk mərhələdə ABC analizi əsasında ehtiyatların dəyər paylanması qiymətləndirilmişdir. Nəticələr göstərir ki, A qrupuna daxil olan məhsullar ümumi ehtiyatların nisbətən az hissəsini təşkil etsə də, ümumi maliyyə dəyərinin əsas hissəsini formalaşdırır. Bu materiallar istehsal prosesinin davamlılığı üçün kritik əhəmiyyət daşıyır və onların idarə olunmasında yüksək nəzarət və dəqiq planlama tələb olunur. B qrupunda orta dəyərli və orta əhəmiyyətli materiallar yer alır və onların idarə olunması balanslaşdırılmış yanaşma tələb edir. C qrupunda isə aşağı dəyərli, lakin say baxımından çox olan materiallar mövcuddur ki, bu da anbar əməliyyatlarında əlavə yük yaradır və operativ idarəetməni çətinləşdirir.

XYZ analizi nəticəsində ehtiyatların tələb dəyişkənliyi üzrə strukturu qiymətləndirilmişdir. X kateqoriyasında yerləşən materiallarda tələb sabitliyi yüksəkdir və bu materiallar üçün proqnozlaşdırma xətası minimaldır. Y kateqoriyasında orta səviyyədə dəyişkənlik müşahidə olunur və burada tələb müəyyən dövrlərdə artım və azalma göstərir. Z kateqoriyası isə yüksək dəyişkənlik ilə xarakterizə olunur və bu materiallarda tələb qeyri-sabit olduğu üçün proqnoz səhvi daha yüksəkdir. Statistik hesablamalar göstərir ki, variasiya əmsalı Z qrupunda digər qruplara nisbətən dəfələrlə yüksəkdir ki, bu da risk səviyyəsinin artdığını təsdiqləyir.

ABC və XYZ analizlərinin birləşdirilməsi nəticəsində formalaşan matris model ehtiyatların daha detallı qiymətləndirilməsinə imkan yaratmışdır. Xüsusilə A-Z və B-Z qrupları strateji risk zonası kimi müəyyən olunmuşdur. Bu qruplarda həm yüksək maliyyə dəyəri, həm də yüksək tələb dəyişkənliyi mövcud olduğundan ehtiyat çatışmazlığı və ya artıq yığılma riski daha yüksəkdir. Əksinə, A-X və B-X qruplarında sabit tələb və yüksək idarəetmə prioriteti olduğu üçün daha stabil ehtiyat siyasəti tətbiq edilə bilər.

Dövrü statistik göstəricilərin təhlili göstərir ki, ehtiyat dövriyyə əmsalı bəzi dövrlərdə azalma meyli göstərmişdir. Bu azalma əsasən artıq ehtiyatların formalaşması və sifariş planlamasında gecikmələrlə əlaqələndirilir. Orta stok qalma müddətinin artması isə kapitalın dövriyyədən çıxmasına və əlavə saxlama xərclərinin yaranmasına səbəb olur.

Standart sapma və variasiya əmsalı üzrə aparılan analiz göstərir ki, bəzi məhsul qruplarında yüksək dispersiya mövcuddur. Bu isə tələb proqnozlaşdırılmasında qeyri-dəqiqliyin olduğunu və planlama modellərinin hər zaman real bazar davranışını tam əks etdirmədiyini göstərir. Xüsusilə Z kateqoriyasında proqnoz səhvi daha yüksək olduğu üçün burada ehtiyatların idarə olunması daha çevik və adaptiv yanaşma tələb edir.

Korrelasiya analizi nəticəsində ehtiyat səviyyəsi ilə tələb dəyişkənliyi arasında statistik baxımdan əhəmiyyətli əlaqə müəyyən edilmişdir. Bu əlaqə göstərir ki, tələb dəyişkənliyi artdıqca ehtiyat idarəetməsində risk səviyyəsi də yüksəlir. Eyni zamanda, proqnoz dəqiqliyinin artması ehtiyat xərclərinin azalmasına və logistik səmərəliliyin yüksəlməsinə birbaşa təsir göstərir.

Müqayisəli analiz nəticəsində ABC/XYZ metodunun tətbiqindən əvvəl və sonra göstəricilər arasında fərqlər müşahidə olunmuşdur. Metodun tətbiqindən sonra artıq ehtiyat səviyyəsində azalma, kritik materiallarda çatışmazlıq hallarının azalması və anbar əməliyyatlarında daha sabit strukturun formalaşması qeydə alınmışdır. Bununla yanaşı, logistik xərclərdə nisbi azalma və resursların daha optimal bölgüsü müşahidə edilmişdir.

Ümumilikdə aparılan statistik qiymətləndirmə göstərir ki, ABC/XYZ analizi ehtiyatların strukturlaşdırılmış və daha elmi əsaslarla idarə olunmasına imkan yaradır. Lakin sistemin effektivliyi birbaşa məlumatların dəqiqliyindən, proqnoz modellərinin düzgün seçilməsindən və müəssisə daxilində informasiya axınının keyfiyyətindən asılıdır. **[1],[3],[5],[6],[7],[8],[9]**

V. NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqatın nəticələri göstərir ki, sənaye müəssisələrində ehtiyatların idarə olunması prosesində ABC/XYZ analizinin tətbiqi mühüm əhəmiyyət daşıyır və idarəetmə səmərəliliyinin yüksəldilməsində effektiv vasitə kimi çıxış edir. Ehtiyatların həm iqtisadi dəyərinə, həm də tələb dəyişkənliyinə görə sistemli şəkildə təsnif edilməsi müəssisələrdə resursların daha düzgün bölüşdürülməsinə və qərar qəbuletmə prosesinin təkmilləşdirilməsinə şərait yaradır.

Araşdırma zamanı müəyyən edilmişdir ki, mövcud ehtiyat idarəetmə sistemlərində bir sıra struktur problemlər mövcuddur. Bunlara artıq ehtiyatların formalaşması, bəzi materiallarda çatışmazlıq halları, planlama və faktiki

istehlak arasında uyğunsuzluqlar, eləcə də proqnozlaşdırma səhvləri daxildir. Bu problemlər əsasən məlumatların tam və dəqiq olmaması, tələb dəyişkənliyinin düzgün qiymətləndirilməməsi və idarəetmə prosesində çevik yanaşmaların kifayət qədər tətbiq olunmaması ilə bağlıdır.

ABC/XYZ analizinin tətbiqi bu problemlərin azaldılmasında nəzərəçarpacaq rol oynayır. Analiz nəticəsində ehtiyatların daha aydın kateqoriyalara bölünməsi mümkün olur və bu, xüsusilə yüksək dəyərli və yüksək riskli materialların daha ciddi nəzarət altında saxlanılmasına imkan verir. Eyni zamanda tələb sabitliyi aşağı olan materiallar üzrə daha çevik və adaptiv idarəetmə strategiyalarının tətbiqi mümkün olur.

Tədqiqat nəticələri göstərir ki, ABC/XYZ metodunun düzgün tətbiqi ehtiyat səviyyələrinin optimallaşdırılmasına, artıq ehtiyatların azaldılmasına və anbar xərclərinin minimuma endirilməsinə şərait yaradır. Bundan əlavə, təchizat zəncirində daha stabil axının təmin olunması və istehsal prosesində fasilələrin azalması kimi müsbət nəticələr əldə olunur.

Bununla yanaşı, analiz zamanı aşkar edilmişdir ki, metodun effektivliyi bir sıra amillərdən asılıdır. Əsas amillər sırasında məlumat bazasının keyfiyyəti, proqnozlaşdırma modellərinin düzgün seçilməsi, informasiya sistemlərinin inteqrasiyası və müəssisə daxilində analitik yanaşmanın səviyyəsi mühüm rol oynayır. Bu faktorların zəif olması ABC/XYZ analizinin potensial effektivliyini azalda bilər.

Ümumilikdə nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, ABC/XYZ analizi sənaye müəssisələrində ehtiyatların idarə olunmasının təkmilləşdirilməsi üçün vacib alətlərdən biridir. Onun düzgün və sistemli tətbiqi müəssisənin həm maliyyə səmərəliliyinin artırılmasına, həm də logistik və istehsal proseslərinin daha stabil və effektiv təşkilinə imkan yaradır. **[1],[2],[4],[5],[7]**

ƏDƏBİYYAT

1. Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., Malhotra, M. K. (2019). *Operations Management: Processes and Supply Chains*. Pearson.
2. Jacobs, F. R., Chase, R. B. (2021). *Operations and Supply Chain Management*. McGraw-Hill.
3. Slack, N., Brandon-Jones, A. (2018). *Operations Management*. Pearson Education.
4. Chopra, S. (2022). *Supply Chain Management Fundamentals*. Pearson.
5. Porras, E., Dekker, R. (2008). Inventory control under uncertainty: A review. *European Journal of Operational Research*.
6. Silver, E. A., et al. (1998). *Inventory Management and Production Planning*. Wiley.
7. Waller, M. A., Fawcett, S. E. (2013). Data science, predictive analytics, and big data in supply chain management. *Journal of Business Logistics*.
8. Hillier, F. S., Lieberman, G. J. (2015). *Introduction to Operations Research*. McGraw-Hill.
9. Azərbaycan Dövlət Statistika Komitəsi (2024). *Sənaye və iqtisadi fəaliyyət göstəriciləri*. Bakı.
10. UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) (2023). *Supply Chain and Logistics Efficiency Report*.

EHTIYATLARIN IDARƏ EDILMƏSINDƏ TƏLƏB PROQNOZLAŞDIRMA METODLARININ TƏTBIQI VƏ QEYRI-DƏQIQLIYIN YARATDIĞI PROBLEMLƏRIN TƏHLILI

Nihad Qaziyev
Mühəndislik fakültəsi / Logistika və nəqliyyat kafedrası
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
nqaziyev@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu məqalədə sənaye müəssisələrində ehtiyatların idarə edilməsində tələb proqnozlaşdırma metodlarının rolu və bu metodlarda yaranan qeyri-dəqiqliyin təsirləri araşdırılır. Tələbin düzgün proqnozlaşdırılmaması ehtiyatların ya artıq yığılmasına, ya da çatışmazlığa səbəb olur və bu da logistik proseslərin səmərəliliyini azaldır.Araşdırmada göstərilir ki, müxtəlif proqnozlaşdırma üsulları ehtiyat planlaşdırmasında mühüm rol oynasa da, onların düzgün tətbiqi vacib şərtdir. Əks halda müəssisələr əlavə xərclərlə və xidmət səviyyəsinin aşağı düşməsi ilə üzləşə bilər.Ümumilikdə, düzgün proqnozlaşdırma ehtiyatların daha balanslı idarə olunmasına və müəssisə fəaliyyətinin daha effektiv təşkilinə imkan yaradır.

Açar sözlər: Ehtiyatların idarə edilməsi,Tələb proqnozlaşdırılması,Proqnoz səhvi ,Ehtiyatların optimallaşdırılması,Təchizat zənciri,Logistik səmərəlilik

I. GİRİŞ

Müasir iqtisadi şəraitdə sənaye müəssisələrinin fəaliyyət səmərəliliyi birbaşa olaraq ehtiyatların düzgün idarə olunması ilə əlaqəlidir. Qloballaşma, rəqabətin artması və istehlakçı tələbinin sürətlə dəyişməsi müəssisələri daha çevik və dəqiq planlaşdırma sistemləri tətbiq etməyə məcbur edir. Bu kontekstdə ehtiyatların idarə edilməsi təkcə anbar səviyyəsində əməliyyat məsələ deyil, eyni zamanda strateji idarəetmənin vacib tərkib hissəsinə çevrilmişdir.

Ehtiyatların optimal səviyyədə saxlanılması müəssisələr üçün həm maliyyə resurslarının səmərəli istifadəsi, həm də müştəri tələbinin vaxtında qarşılanması baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu məqsədə nail olmaq üçün tələb proqnozlaşdırma metodları əsas alətlərdən biri kimi çıxış edir. Tələb proqnozlaşdırılması keçmiş məlumatlara, statistik modellərə və analitik yanaşmalara əsaslanaraq gələcək dövrlərdə məhsul və materiallara olan ehtiyacın əvvəlcədən müəyyən edilməsini təmin edir.

Bununla belə, real iqtisadi şəraitdə tələbin tam dəqiq proqnozlaşdırılması mümkün deyildir. Bazar dəyişkənliyi, mövsümi amillər, istehlakçı davranışındakı qeyri-müəyyənlik və xarici iqtisadi faktorlar proqnozların dəqiqliyinə birbaşa təsir göstərir. Nəticədə yaranan proqnoz səhvləri ehtiyatların idarə edilməsində ciddi problemlərə səbəb ola bilər. Bu problemlərə artıq ehtiyatların yığılması, anbar xərclərinin artması və ya əksinə, məhsul çatışmazlığı nəticəsində müştəri tələbinin ödənilməməsi daxildir.

Bu səbəbdən, tələb proqnozlaşdırma metodlarının düzgün seçilməsi, onların tətbiq mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi və qeyri-dəqiqliyin təsirlərinin minimuma endirilməsi müasir logistika və təchizat zənciri idarəetməsinin aktual problemlərindən biridir. Məqalənin məqsədi ehtiyatların idarə edilməsində istifadə olunan tələb proqnozlaşdırma yanaşmalarını təhlil etmək və bu yanaşmalarda yaranan qeyri-dəqiqliyin müəssisə fəaliyyətinə təsirini araşdırmaqdır. [1], [2], [4], [6]

II. PROBLEMİN TƏSVİRİ

Sənaye müəssisələrində ehtiyatların idarə olunması prosesinin effektivliyi birbaşa tələb proqnozlaşdırma sistemlərinin dəqiqliyindən asılıdır. Praktikada isə tələbin əvvəlcədən tam dəqiq müəyyən edilməsi çətinlik yaradır, çünki bazar şəraiti daim dəyişir və istehlakçı davranışları sabit xarakter daşımır. Bu qeyri-müəyyənliklər proqnozlaşdırma modellərinin nəticələrində səhvlərin yaranmasına gətirib çıxarır.

Tələb proqnozlarında baş verən bu qeyri-dəqiqlik ehtiyatların idarə edilməsində balanssızlığa səbəb olur. Belə ki, proqnozun real tələbdən yüksək qiymətləndirilməsi artıq ehtiyatların yaranmasına, anbar xərclərinin artmasına və kapitalın dövriyyədən çıxmasına gətirib çıxarır. Əks halda, tələbin aşağı proqnozlaşdırılması məhsul çatışmazlığına, sifarişlərin gecikməsinə və müştəri məmnuniyyətinin azalmasına səbəb olur.

Bundan əlavə, bir çox sənaye müəssisələrində istifadə olunan ənənəvi proqnozlaşdırma metodları dəyişkən bazar şərtlərinə kifayət qədər uyğunlaşa bilmir. Real vaxt məlumatlarının məhdudluğu, məlumatların keyfiyyətsizliyi və ya gecikməsi də proqnozların dəqiqliyini azaldan əsas amillərdən biridir. Nəticədə ehtiyatların planlaşdırılması prosesində qeyri-effektiv qərarlar qəbul edilir və ümumi logistik sistemin səmərəliliyi aşağı düşür.

Beləliklə, əsas problem ondan ibarətdir ki, tələb proqnozlaşdırma metodlarının mövcud məhdudiyyətləri və qeyri-dəqiqliyi ehtiyatların optimal idarə olunmasına mane olur və bu da müəssisələrin həm iqtisadi göstəricilərinə, həm də xidmət səviyyəsinə mənfi təsir göstərir. [2], [3], [5], [7]

III. METODOLOGİYA

Bu tədqiqatın metodoloji əsası sənaye müəssisələrində ehtiyatların idarə edilməsində tələb proqnozlaşdırma üsullarının tətbiqinin araşdırılmasına yönəlmişdir. Əsas məqsəd müxtəlif proqnozlaşdırma yanaşmalarının praktikada necə işlədiyini, onların nə dərəcədə dəqiq nəticələr verdiyini və ehtiyat planlaşdırmasına hansı formada təsir etdiyini müəyyənləşdirməkdir.

Araşdırma zamanı ilk olaraq mövzu üzrə mövcud elmi ədəbiyyatlar və praktik materiallar nəzərdən keçirilmişdir. Logistika və təchizat zənciri idarəetməsi sahəsində yazılmış məqalələr, dərsliklər və elmi işlər əsasında tələb proqnozlaşdırılmasının əsas prinsipləri və tətbiq sahələri öyrənilmişdir.

Daha sonra ən çox istifadə olunan proqnozlaşdırma metodları seçilərək təhlil edilmişdir. Bunlara sadə orta qiymət metodu, hərəkətli orta (moving average), eksponensial hamarlaşdırma və xətti regresiya metodu daxildir. Hər bir metodun işləmə prinsipi, üstünlükləri və məhdudiyyətləri ayrı-ayrılıqda nəzərdən keçirilmişdir.

Metodların müqayisəsi zamanı onların proqnoz dəqiqliyi xüsusi göstəricilər əsasında qiymətləndirilmişdir. Bunun üçün orta mütləq xəta (MAD) və orta kvadrat xəta (MSE) kimi statistik ölçülərdən istifadə olunmuşdur. Bu göstəricilər vasitəsilə hər bir yanaşmanın real tələbə nə dərəcədə yaxın nəticə verdiyi müəyyən edilmişdir.

Eyni zamanda, proqnoz səhvlərinin ehtiyat səviyyələrinə təsiri də analiz edilmişdir. Xüsusilə artıq ehtiyatların yaranması, anbar xərclərinin artması və ya əksinə məhsul çatışmazlığı kimi halların hansı şəraitdə baş verdiyi araşdırılmışdır.

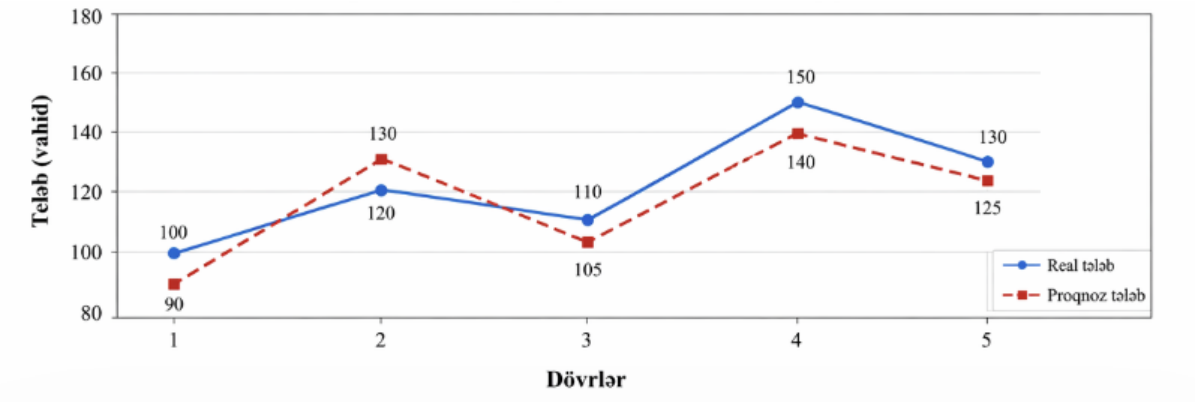
Ümumilikdə metodologiya həm nəzəri, həm də praktik yanaşmanı əhatə edir və tələb proqnozlaşdırma üsullarının ehtiyatların idarə

CƏDVƏL 1. PROQNOZLAŞDIRMA METODLARININ MÜQAYISƏSI

Metod	İş prinsipi	Üstünlükləri	Catışmazlıqları
Sadə orta qiymət metodu	Keçmiş dövrlərin tələb dəyərlərinin orta qiyməti hesablanır.	Sadədir, tez hesablanır və az məlumat tələb edir.	Ani dəyişikliklərə uyğunlaşmır, köhnə məlumatlara eyni çəki verir.
Hərəkətli orta (moving average) metodu	Son n dövrün tələb dəyərlərinin orta qiyməti əsas götürülür.	Qısa müddətli dəyişiklikləri əks etdirir.	Ani dəyişiklikləri gec əks etdirir, optimal n seçimi çətindir.
Eksponensial hamarlaşdırma metodu	Son müşahidələrə daha çox çəki verilərək proqnoz hesablanır.	Dəyişkənliyə daha çevik uyğunlaşır, dəqiqliyi nisbətən yüksəkdir.	Parametr (α) seçimi çətindir, uzunmüddətli trenddə sapmalar ola bilər.
Reqressiya analizi metodu	Tələb ilə onu təsir edən amillər arasında əlaqə qurularaq proqnoz aparılır.	Uzunmüddətli proqnozlar üçün əlverişlidir, amillərin təsirini nəzərə alır.	Çoxlu məlumat tələb edir, model qurulması mürəkkəb və zaman aparandır.

CƏDVƏL 2. PROQNOZ SƏHVI VƏ EHTIYAT TƏSIRI

Proqnoz vəziyyəti	Nəticə	Ehtiyata təsir	Logistik nəticə
Tələb yüksək proqnozlaşdırılıb (real tələbdən çox)	Artıq ehtiyat yaranır	Ehtiyat səviyyəsi optimaldan yüksək olur	Anbar xərcləri artır, kapital dövriyyədən çıxır, məhsulun köhnəlməsi riski yaranır.
Tələb aşağı proqnozlaşdırılıb (real tələbdən az)	Ehtiyat çatışmazlığı yaranır	Ehtiyat səviyyəsi optimaldan aşağı olur	Sifarişlərin gecikməsi, müştəri məmnuniyəti azalır, satış itkisi baş verir.
Tələb dəqiq proqnozlaşdırılıb (real tələblə uyğun)	Balanslı ehtiyat səviyyəsi	Ehtiyat səviyyəsi optimal səviyyədə saxlanılır	Xidmət səviyyəsi yüksəlir, xərclər minimuma enir, səmərəlilik artır.



Şəkil 1. Proqnoz və real tələb müqayisə diaqramı

IV. TƏHLİL VƏ STATİSTİK QİYMƏTLƏNDİRMƏ

Sənaye müəssisələrində ehtiyatların idarə olunmasının effektivliyinin qiymətləndirilməsi real fəaliyyət göstəricilərinin sistemli şəkildə analizini tələb edir. Bu mərhələdə əsas məqsəd yalnız mövcud vəziyyəti təsvir etmək deyil, həm də proseslər arasında mövcud əlaqələri müəyyənləşdirmək və idarəetmədəki uyğunsuzluqları üzə çıxarmaqdır.

Təhlil zamanı müəssisənin operativ və maliyyə məlumatları müqayisəli şəkildə araşdırılmış, ehtiyatların hərəkət dinamikası zaman üzrə izlənilmişdir. Nəticələr göstərir ki, ehtiyatların planlaşdırılması ilə faktiki istehlak arasında müəyyən sapmalar mövcuddur. Bu sapmalar xüsusilə tələb dəyişkənliyinin yüksək olduğu dövrlərdə daha qabarıq şəkildə özünü göstərir.

Statistik göstəricilərin ümumi qiymətləndirilməsi onu deməyə əsas verir ki, ehtiyatların orta saxlanma müddəti bəzi məhsul qruplarında normativ hədləri aşır. Bu hal bir tərəfdən anbar xərclərinin artmasına, digər tərəfdən

isə kapitalın dövriyyədən çıxmasına səbəb olur. Eyni zamanda, bəzi kritik materiallarda isə əks tendensiya müşahidə edilir ki, bu da istehsal prosesində fasilə riskini artırır.

Korrelasiya analizinə əsasən, ehtiyat səviyyəsi ilə sifarişlərin icra müddəti arasında müsbət istiqamətli əlaqə müəyyən edilmişdir. Bu, təchizat zəncirində gecikmələrin ehtiyatların düzgün planlaşdırılmaması ilə birbaşa bağlı olduğunu göstərir. Regressiya yanaşması isə ehtiyatların optimal səviyyəsinin müəyyən edilməsində tələb proqnozunun əsas determinant rol oynadığını ortaya qoyur.

Zaman sırası üzrə aparılan müşahidələr göstərir ki, ehtiyat dövriyyə sürəti dövri xarakter daşıyır və istehsal planlaması ilə tam sinxronlaşdırılmayıb. Bu isə idarəetmədə adaptiv yanaşmanın kifayət qədər tətbiq olunmadığını göstərir. Xüsusilə mövsümi dəyişikliklər zamanı ehtiyat balansının pozulması daha aydın görünür.

Ümumilikdə aparılan statistik qiymətləndirmə nəticəsində belə qənaətə gəlmək olur ki, mövcud ehtiyat idarəetmə sistemi tam optimallaşdırılmayıb. Resursların bir hissəsi artıq ehtiyat formasında anbarlarda toplanır, digər hissəsində isə çatışmazlıq yaranır. Bu ikili vəziyyət həm maliyyə səmərəliliyinə, həm də istehsal sabitliyinə mənfi təsir göstərir.

Bu mərhələnin nəticələri növbəti hissədə sistemin təkmilləşdirilməsi üçün əsas istiqamətləri müəyyən etməyə imkan verir və optimallaşdırma modellərinin tətbiqinə zərurət yaradır. [3], [5], [7], [9], [10]

V. NƏTİCƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, sənaye müəssisələrində ehtiyatların idarə olunması sistemi mövcud şəraitdə tam optimallaşdırılmamışdır. Statistik qiymətləndirmə nəticəsində planlaşdırma ilə faktiki istehlak arasında uyğunsuzluqların mövcud olduğu, bəzi material qruplarında artıq ehtiyatların formalaşdığı, digər hallarda isə çatışmazlıqların yarandığı müəyyən edilmişdir.

Bu balanssızlıq ehtiyat dövriyyəsinin zəifləməsinə, anbar xərclərinin artmasına və istehsal prosesində fasilə risklərinin yüksəlməsinə səbəb olur. Eyni zamanda, təchizat zəncirində gecikmələr və tələb proqnozlaşdırılmasında qeyri-dəqiqliklər ümumi idarəetmə effektivliyini azaldan əsas amillər kimi çıxış edir.

Ümumilikdə nəticələr göstərir ki, ehtiyatların idarə olunması sahəsində daha çevik planlama mexanizmlərinin tətbiqi, real tələbə əsaslanan proqnozlaşdırma sistemlərinin təkmilləşdirilməsi və nəzarət mexanizmlərinin gücləndirilməsi müəssisənin həm maliyyə səmərəliliyini, həm də istehsal davamlılığını əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdıra bilər. [1], [2], [5], [6], [8]

ƏDƏBİYYAT

1. Chopra, S., Meindl, P. (2019). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson Education.
2. Silver, E. A., Pyke, D. F., Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. Wiley.
3. Heizer, J., Render, B. (2020). *Operations Management*. Pearson.
4. Stevenson, W. J. (2018). *Operations Management*. McGraw-Hill Education.
5. Ballou, R. H. (2004). *Business Logistics/Supply Chain Management*. Pearson Prentice Hall.
6. Rushton, A., Croucher, P., Baker, P. (2014). *The Handbook of Logistics and Distribution Management*. Kogan Page.
7. Nahmias, S. (2009). *Production and Operations Analysis*. McGraw-Hill.
8. Waters, D. (2003). *Logistics: An Introduction to Supply Chain Management*. Palgrave Macmillan.
9. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. (2024). *Sənaye və iqtisadi göstəricilər üzrə illik hesabat*.
10. Azərbaycan Respublikası İqtisadiyyat Nazirliyi. (2023). *Sənaye müəssisələrinin inkişafı və idarəetmə effektivliyi üzrə analitik materiallar*.

ENHANCING COLD CHAIN LOGISTICS WITHIN AGRICULTURAL SUPPLY NETWORKS

Salam Ramazanov
Logistics and Transport Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
sramazanov1@std.beu.edu.az

***Abstract*:** Cold chain logistics is a fundamental element in modern agricultural supply systems, especially for products that are highly sensitive to temperature changes such as fresh fruits, vegetables, dairy, meat, and seafood. The quality and safety of these products largely depend on how effectively temperature conditions are maintained from production sites to final consumers. Nevertheless, in many developing economies, the absence of adequate cold chain infrastructure results in significant post-harvest losses and inefficiencies across supply networks. Reports from the Food and Agriculture Organization (FAO) indicate that nearly one-third of global food production is lost or wasted, with improper storage and transportation being key contributing factors [1]. This study examines the major constraints affecting cold chain logistics in agricultural systems and explores practical improvement strategies. The research is based on secondary data collected from international institutions and academic literature, focusing on issues such as infrastructure gaps, energy instability, limited technical skills, and high operational costs. The findings suggest that integrating technological solutions, improving infrastructure, and strengthening coordination mechanisms can significantly enhance cold chain efficiency and reduce food losses.

***Keywords**: Cold chain logistics; agricultural supply chain; post-harvest losses; food waste reduction; temperature-controlled transportation; refrigerated storage systems; supply chain efficiency; food security; rural infrastructure development; sustainable agriculture; logistics management; perishable goods handling; supply chain optimization; renewable energy in cold chain; digital supply chain technologies*

I. Introduction

Agricultural supply chains consist of multiple interconnected stages including production, harvesting, storage, transportation, processing, and distribution. Among these stages, cold chain logistics plays a crucial role in preserving the freshness and safety of perishable agricultural goods. It refers to a temperature-controlled system designed to maintain optimal conditions throughout the entire supply process, ensuring product quality and minimizing spoilage [2].

In the context of increasing global demand for fresh food products, cold chain systems have become more important than ever. However, many developing countries continue to struggle with insufficient infrastructure, outdated logistics systems, and limited access to modern refrigeration technologies. These weaknesses create inefficiencies and lead to substantial economic losses in agricultural sectors. Studies further highlight that strengthening cold chain logistics not only reduces food waste but also contributes to improved food security and sustainable agricultural development [1]. Therefore, addressing existing challenges in this field is essential for improving global food systems.

II. Description of Problem

Cold chain logistics faces a number of interconnected challenges that reduce its overall effectiveness. One of the primary issues is the insufficient availability of refrigerated storage facilities, particularly in rural agricultural regions where farmers often lack access to proper post-harvest infrastructure [3]. Another major difficulty arises from inefficient transportation systems. In many cases, agricultural goods are transported without temperature control, which leads to rapid deterioration during transit and reduces product quality before reaching markets [8]

Energy reliability is also a significant concern. Cold chain systems depend heavily on continuous electricity supply, but frequent power outages in developing regions disrupt cooling processes and increase spoilage rates [4].

Furthermore, the high cost of refrigeration equipment prevents many small-scale farmers and logistics providers from adopting modern cold chain technologies. Without financial assistance or subsidies, investment

in such systems remains limited.
Lastly, insufficient training and technical knowledge among supply chain workers contribute to poor handling practices, which further increases post-harvest losses and reduces overall efficiency.

III. Methodology

The research is based on a qualitative analytical approach using secondary data sources. The study gathers information from reports published by international organizations such as FAO, World Bank, OECD, and peer-reviewed academic studies.
The collected data is systematically reviewed and categorized into major problem areas affecting cold chain logistics, including storage infrastructure, transportation systems, energy supply, cost barriers, and human resource limitations.
Each category is evaluated based on its frequency in literature and its impact on supply chain performance. The analysis aims to provide a clear understanding of the structural weaknesses within cold chain systems.

TABLE 1: CLASSIFICATION OF COLD CHAIN LOGISTICS CHALLENGES

Category	**Explanation**	**Severity**
Storage Systems	Lack of refrigerated facilities	High
Transport Systems	Absence of temperature-controlled logistics	High
Human Resources	Insufficient training and skills	High
Energy Supply	Unstable electricity availability	Medium
Equipment Costs	High investment requirements	Medium

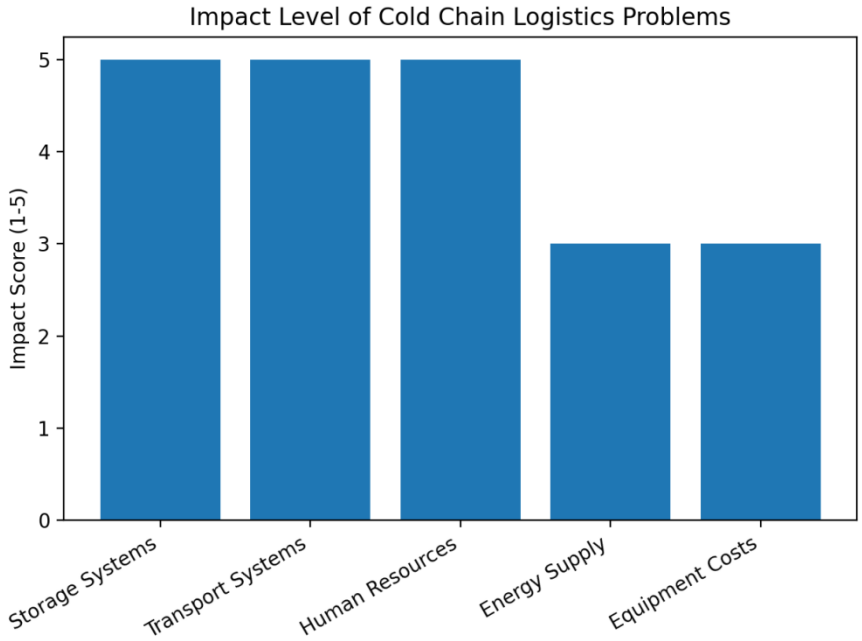


Figure 1: Impact Level of Cold Chain Logistics Problems

Simple Solution Approach

Improving cold chain logistics requires a coordinated set of interventions that address both physical infrastructure and operational efficiency. One of the most important steps involves expanding cold storage capacity in agricultural production zones. Establishing affordable and accessible refrigerated storage units near

farms can significantly reduce immediate post-harvest spoilage and extend product shelf life, as highlighted in FAO studies [8].

Another essential improvement is the modernization of transportation systems. Introducing refrigerated transport vehicles and integrating temperature monitoring technologies throughout distribution networks helps ensure that perishable goods maintain required conditions during movement, thereby reducing losses and preserving quality [2].

Human capacity development is also a key factor. Training programs aimed at farmers, warehouse operators, and logistics personnel can improve awareness of proper handling techniques and temperature control practices, ultimately reducing inefficiencies across the supply chain [3].

Energy-related challenges can be mitigated by adopting renewable energy solutions such as solar-powered refrigeration systems. These technologies provide reliable cooling in areas with unstable electricity supply and contribute to environmental sustainability by reducing dependency on fossil fuels [4].

Finally, digital transformation plays a vital role in improving coordination between stakeholders. Technologies such as IoT-based tracking systems and supply chain management platforms enhance transparency, enable real-time monitoring, and improve decision-making efficiency across the entire logistics network [6].

IV. Conclusion

Cold chain logistics is a critical component of agricultural supply systems, particularly for maintaining the quality of perishable goods. The analysis shows that inefficiencies in infrastructure, transportation, energy supply, cost structures, and workforce skills remain major obstacles. These limitations contribute significantly to food losses and reduced supply chain efficiency.

However, the study also demonstrates that these challenges can be effectively addressed through a combination of infrastructure development, technological advancement, workforce training, renewable energy adoption, and digital integration. When these strategies are implemented collectively, they have the potential to significantly improve cold chain performance, reduce food waste, and enhance overall agricultural sustainability.

REFERENCE

1. FAO (2011). *Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention* https://www.fao.org/3/i2697e/i2697e.pdf
2. FAO (2011). *Cold Chain Development for Food Security* https://www.fao.org/3/i7666e/i7666e.pdf
3. Kader, A.A. (2005). *Postharvest Technology and Loss Reduction Strategies* https://ucanr.edu/sites/Postharvest_Technology_Center_/files/180953.pdf
4. World Bank (2020). *Food Security and Supply Chain Resilience Report* https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34515
5. OECD (2021). *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation* https://www.oecd.org/agriculture/topics/agricultural-policy-monitoring-and-evaluation/
6. Zhang, Y. & Chen, L. (2022). *Digital Transformation in Supply Chains* https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666188825010445
7. FAO (2019). *The State of Food and Agriculture Report* https://www.fao.org/publications/sofa
8. Gustavsson, J. et al. (2011). *Global Food Losses and Food Waste Study* https://www.fao.org/3/i2697e/i2697e.pdf

İDARƏETMƏ SİSTEMLƏRİNİN AVTOMATLAŞDIRILMASI

Məmmədov Fərahim İlham oğlu
Naxçıvan Dövlət Universiteti
Memarlıq və mühəndislik fakültəsi,
Naxçıvan, Azərbaycan
memmedovferahim@ndu.edu.az
https://orcid.org/0009-0002-5071-0572

Əliyeva Nərmin Cabir qızı
Naxçıvan Dövlət Universiteti
Memarlıq və mühəndislik fakültəsi,
Naxçıvan, Azərbaycan
nerminaliyeva22@icloud.com

Abstract: The study demonstrates that automated control systems (ACS) play a crucial role in improving the efficiency and effectiveness of modern transport enterprises. These systems enable the optimization of management processes through the integration of information technologies, ensuring accurate data collection, processing, and transmission. As a result, decision-making becomes more objective, timely, and data-driven. The implementation of ACS enhances coordination within production teams, strengthens control mechanisms, and allows for more efficient resource allocation. In transport and logistics systems, automation significantly improves operational performance by reducing delays, optimizing traffic and cargo flows, and increasing service quality.

Furthermore, the research highlights that the economic and technical benefits of automation are among the key factors driving its widespread adoption. Automated systems contribute to cost reduction, increased labor productivity, and improved system reliability. The integration of modern digital technologies such as intelligent transportation systems, real-time data processing, and advanced communication networks further enhances system adaptability and responsiveness. These innovations support more effective decision-making processes and create opportunities for sustainable and smart transport management in the future.

Keywords: *automated control systems, transport management, information systems, decision-making, digital technologies*

I. GİRİŞ

Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri (AİS) müasir istehsalat və nəqliyyat sahəsində idarəetmə proseslərinin optimallaşdırılması məqsədilə informasiya texnologiyalarına əsaslanan kompleks sistemlər kimi formalaşmışdır. Bu sistemlər idarəetmə prosesində məlumatların toplanması, emalı, ötürülməsi və qərar qəbuletmə mərhələlərinin avtomatlaşdırılmasını təmin edir. Nəqliyyat müəssisələrində AİS-in tətbiqi idarə aparatının işini sadələşdirir, məlumatların mərkəzləşdirilmiş şəkildə işlənməsinə imkan yaradır və nəticədə daha optimal qərarların qəbuluna şərait yaradır. Müasir informasiya sistemləri idarəetmənin əsas komponentlərindən biri kimi çıxış edərək təşkilatların effektiv fəaliyyətinə mühüm təsir göstərir [5, s.12; 6, s.8].

AİS-in mahiyyəti sistem yanaşmasına əsaslanır və bu sistemlər bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə olan alt sistemlərdən ibarətdir. İstehsalat və nəqliyyat müəssisələrində bu alt sistemlərə informasiya, texniki, iqtisadi və sosial komponentlər daxildir. Xüsusilə məlumat axınlarının düzgün təşkili idarəetmə prosesinin səmərəliliyini müəyyən edən əsas amillərdən biridir. İnformasiya alt sistemləri vasitəsilə müxtəlif formalarda olan məlumatlar (əmrlər, hesabatlar, texnoloji sənədlər və s.) idarəetmə qərarlarının qəbulunda istifadə olunur . Bu baxımdan informasiya sistemləri təşkilat daxilində koordinasiyanı təmin edir və qərar qəbuletmə prosesini sürətləndirir [7, s.15].

Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin inkişaf mərhələləri texnoloji tərəqqi ilə sıx bağlı olmuşdur. İlkin mərhələdə idarəetmə prosesləri əsasən əl əməyinə əsaslanırdısa, sonrakı dövrlərdə elektron hesablama

maşınlarının tətbiqi ilə məlumatların emalı sürətlənmiş və idarəetmənin effektivliyi artmışdır. Daha sonra kompüter şəbəkələrinin və informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının inkişafı nəticəsində inteqrasiya olunmuş idarəetmə sistemləri formalaşmışdır [8, s.22]. Müasir mərhələdə isə AİS-lər rəqəmsal platformalar, bulud texnologiyaları və ağıllı nəqliyyat sistemləri ilə inteqrasiya olunaraq daha çevik və adaptiv idarəetmə imkanları yaradır [2].

Nəqliyyat sahəsində avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin tətbiqi xüsusilə əhəmiyyətlidir, çünki bu sistemlər istehsalat kollektivlərinin fəaliyyətinə, əməyin təşkilinə və resursların səmərəli istifadəsinə birbaşa təsir göstərir. AİS-in tətbiqi nəticəsində işçilər arasında əlaqələr dəyişir, nəzarət mexanizmləri güclənir və idarəetmə prosesləri daha şəffaf və obyektiv xarakter alır . Eyni zamanda, logistika və nəqliyyat sistemlərində avtomatlaşdırma yük axınlarının optimallaşdırılmasına, xidmət keyfiyyətinin artırılmasına və xərclərin azaldılmasına imkan verir [1, s.34; 3, s.19]. Bu baxımdan AİS müasir nəqliyyat mühəndisliyinin əsas istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir və gələcəkdə daha geniş tətbiq perspektivlərinə malikdir.

II. ƏSAS HİSSƏ

Nəqliyyat sistemlərində idarəetmə prosesi mürəkkəb, çoxkomponentli və dinamik xarakter daşıyır. Bu sistemlərdə idarəetmə yalnız texniki vasitələrin deyil, həm də insan resurslarının, informasiya axınlarının və iqtisadi amillərin qarşılıqlı əlaqəsi əsasında həyata keçirilir. İstehsalat kollektivləri bu sistemin əsas elementlərindən biri kimi çıxış edir və onların fəaliyyətinin düzgün təşkili ümumi idarəetmənin səmərəliliyinə birbaşa təsir göstərir. Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin tətbiqi nəticəsində kollektiv daxilində əlaqələr dəyişir, idarəetmə strukturları təkmilləşir və nəzarət mexanizmləri daha operativ xarakter alır . Bu baxımdan nəqliyyat sistemlərində idarəetmə yalnız əmrlərin verilməsi ilə deyil, həm də məlumatların düzgün idarə olunması ilə bağlı kompleks bir proses kimi qiymətləndirilir [5, s.18].

Nəqliyyat sistemlərində idarəetmənin əsas xüsusiyyətlərindən biri informasiya axınlarının fasiləsiz və dəqiq təşkil olunmasıdır. Müxtəlif mənbələrdən daxil olan məlumatların (yol vərəqələri, texnoloji sənədlər, hesabatlar və s.) düzgün emalı və ötürülməsi idarəetmənin effektivliyini müəyyən edir. İnformasiya alt sistemləri bu prosesdə mühüm rol oynayaraq idarəetmə qərarlarının operativ qəbulunu təmin edir . Müasir informasiya sistemləri təşkilat daxilində məlumatların inteqrasiyasını təmin edir və bu da nəqliyyat əməliyyatlarının optimallaşdırılmasına şərait yaradır [6, s.11; 7, s.20]. Eyni zamanda kompüter şəbəkələri və kommunikasiya texnologiyaları vasitəsilə məlumatların real vaxt rejimində ötürülməsi idarəetmənin çevikliyini artırır [8, s.27].

Digər mühüm xüsusiyyət isə nəqliyyat sistemlərində idarəetmənin çoxsəviyyəli və iyerarxik quruluşa malik olmasıdır. İdarəedən və idarəolunan alt sistemlər arasında qarşılıqlı əlaqə mövcuddur və bu əlaqə əks əlaqə mexanizmləri vasitəsilə təmin edilir. Əks əlaqə idarəetmə prosesində baş verən dəyişikliklərin vaxtında aşkar edilməsinə və uyğun tədbirlərin görülməsinə imkan yaradır . Bu yanaşma layihələrin və proseslərin planlaşdırılması, nəzarəti və tənzimlənməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir [4, s.42]. Nəticədə idarəetmə sistemi daha dayanıqlı və adaptiv olur.

Nəqliyyat sistemlərində idarəetmənin digər vacib xüsusiyyəti isə onun iqtisadi və texnoloji səmərəliliyə yönəlmiş olmasıdır. Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri nəqliyyat-logistika proseslərinin optimallaşdırılmasına, resurslardan daha səmərəli istifadəyə və xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə imkan verir. Bu sistemlər vasitəsilə yük və sərnişin daşımalarının planlaşdırılması daha dəqiq həyata keçirilir, gecikmələr azalır və əməliyyat xərcləri minimuma endirilir [1, s.56; 3, s.25]. Bundan əlavə, müasir ağıllı nəqliyyat sistemləri (ITS) idarəetmə prosesində real vaxt məlumatlarından istifadə etməklə təhlükəsizliyi və ümumi sistem performansını artırır [2]. Beləliklə, nəqliyyat sistemlərində idarəetmənin xüsusiyyətləri onun kompleksliyi, informasiya əsaslılığı və texnoloji inteqrasiyası ilə xarakterizə olunur.

İstehsalat kollektivlərinin idarə olunmasında avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin (AİS) rolu müasir nəqliyyat müəssisələrində xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. İstehsalat kollektivi birgə əmək fəaliyyəti əsasında formalaşan və müəyyən məqsədlərə yönəlmiş sosial-iqtisadi sistem kimi çıxış edir. Bu kollektivlərin effektiv idarə olunması isə informasiya axınlarının düzgün təşkili və operativ qərar qəbuletmə mexanizmlərinin tətbiqi ilə birbaşa bağlıdır. AİS-in tətbiqi nəticəsində kollektiv daxilində əlaqələr daha sistemli xarakter alır, idarəetmə prosesləri mərkəzləşdirilir və işçilər arasında koordinasiya güclənir . Müasir informasiya sistemləri təşkilatlarda məlumatların emalını və idarə olunmasını optimallaşdıraraq idarəetmə keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır

[5, s.21; 6, s.14].
AİS-in istehsalat kollektivlərinə təsiri ilk növbədə onların strukturunun və daxili münasibətlərinin dəyişməsi ilə müşayiət olunur. Ənənəvi idarəetmə üsullarından fərqli olaraq, avtomatlaşdırılmış sistemlər əmək bölgüsünü daha dəqiq təşkil etməyə, iş proseslərinin şəffaflığını artırmağa və işçilərin fəaliyyətinə nəzarəti gücləndirməyə imkan verir. Bu sistemlər vasitəsilə sürücülərin və digər işçilərin fəaliyyət göstəriciləri daha obyektiv qiymətləndirilir, əməyin planlaşdırılması və təşkili daha səmərəli həyata keçirilir . Layihələrin və əməliyyatların sistemli şəkildə idarə olunması isə ümumi məhsuldarlığın artmasına şərait yaradır [4, s.55].
İstehsalat kollektivlərinin idarə olunmasında AİS-in mühüm üstünlüklərindən biri də məlumatların operativ və dəqiq emalıdır. Elektron hesablama texnikasının tətbiqi məlumatların mərkəzləşdirilmiş şəkildə işlənməsini təmin edir və nəticədə idarəetmə qərarlarının qəbulunda optimal variantların seçilməsinə imkan yaradır . Bu isə logistika və nəqliyyat əməliyyatlarının daha effektiv planlaşdırılmasına, resursların optimal bölüşdürülməsinə və xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə səbəb olur [1, s.63; 3, s.28]. Eyni zamanda informasiya texnologiyalarının inkişafı kollektiv daxilində kommunikasiya imkanlarını genişləndirir və idarəetmənin çevikliyini artırır [7, s.26].
Bununla yanaşı, AİS-in uğurlu tətbiqi yalnız texniki imkanlardan deyil, həm də insan amilindən asılıdır. Sistemlərin effektiv işləməsi üçün işçilərin bu texnologiyaları düzgün başa düşməsi və tətbiq etməsi vacibdir. İdarəetmə prosesində insan və texnologiyanın qarşılıqlı əlaqəsi sistemin ümumi nəticələrinə birbaşa təsir göstərir. Müasir nəqliyyat sistemlərində avtomatlaşdırmanın tətbiqi kollektivin fəaliyyətinin optimallaşdırılmasına, qərar qəbuletmə prosesinin sürətləndirilməsinə və ümumi idarəetmə səviyyəsinin yüksəldilməsinə imkan verir [2; 9, s.41]. Beləliklə, AİS istehsalat kollektivlərinin idarə olunmasında əsas alətlərdən biri kimi çıxış edir və onların fəaliyyətinin səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.
İnformasiya alt sistemləri avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin əsas tərkib hissələrindən biri olub, nəqliyyat müəssisələrində idarəetmə prosesinin effektivliyini müəyyən edən əsas amillərdəndir. Bu alt sistemlər müxtəlif mənbələrdən daxil olan məlumatların toplanması, saxlanması, emalı və ötürülməsi funksiyalarını yerinə yetirir. Müəssisə daxilində məlumat axınlarının düzgün təşkili idarəetmə qərarlarının operativ və əsaslandırılmış şəkildə qəbul edilməsinə imkan yaradır. Məlumatlar müxtəlif formalarda – əmrlər, hesabat sənədləri, texnoloji kartlar və nəqliyyat sənədləri şəklində təqdim olunur və bu məlumatların fasiləsiz hərəkəti olmadan idarəetmə prosesi mümkün deyil . Müasir informasiya sistemləri məlumatların inteqrasiyasını təmin edərək təşkilat daxilində koordinasiyanı gücləndirir və idarəetmə prosesini optimallaşdırır [6, s.18; 7, s.30].
Nəqliyyat müəssisələrində informasiya alt sistemlərinin mühüm xüsusiyyətlərindən biri onların çoxşaxəli və çoxsəviyyəli olmasıdır. Bu sistemlər daxili və xarici məlumat mənbələrini əhatə edir və idarəetmə prosesində kompleks informasiya mübadiləsini təmin edir. İnformasiya axınlarının düzgün təşkili nəticəsində müəssisənin bütün bölmələri arasında əlaqə təmin olunur, bu isə logistika və nəqliyyat əməliyyatlarının daha səmərəli həyata keçirilməsinə imkan verir [1, s.72]. Eyni zamanda, kompüter şəbəkələri və kommunikasiya texnologiyaları vasitəsilə məlumatların real vaxt rejimində ötürülməsi idarəetmə sisteminin çevikliyini artırır və operativ nəzarəti mümkün edir [8, s.35].
Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərində funksional alt sistemlər isə idarəetmə prosesinin konkret istiqamətlər üzrə həyata keçirilməsini təmin edir. Bu alt sistemlər idarəedən və idarəolunan hissələrdən ibarət olmaqla bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyət göstərir. İdarəedən alt sistem əmrlər, siqnallar və digər idarəedici təsirlər vasitəsilə idarəolunan alt sistemə təsir göstərir, idarəolunan alt sistem isə əks əlaqə vasitəsilə məlumatları geri ötürür . Bu qarşılıqlı əlaqə idarəetmə prosesinin davamlılığını və stabilliyini təmin edir. Layihələrin və əməliyyatların sistemli şəkildə idarə olunması bu alt sistemlərin düzgün qurulmasından asılıdır [4, s.61].
Nəqliyyat müəssisələrində AİS-in funksional alt sistemləri müxtəlif fəaliyyət sahələrini – planlaşdırma, istismar, texniki xidmət, maliyyə və logistika proseslərini əhatə edir. Bu alt sistemlər vasitəsilə resursların idarə olunması, əməliyyatların koordinasiyası və nəzarət mexanizmlərinin həyata keçirilməsi təmin olunur. Müasir ağıllı nəqliyyat sistemləri və informasiya texnologiyalarının tətbiqi bu funksional alt sistemlərin imkanlarını genişləndirir və onların daha effektiv fəaliyyət göstərməsinə şərait yaradır [2; 9, s.53]. Beləliklə, informasiya alt sistemləri və funksional alt sistemlər birlikdə nəqliyyat müəssisələrində avtomatlaşdırılmış idarəetmənin əsasını təşkil edir və sistemin ümumi səmərəliliyini təmin edən əsas mexanizmlər kimi çıxış edir.

Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərində əks əlaqə mexanizmləri idarəetmə prosesinin ayrılmaz hissəsi kimi çıxış edir və sistemin effektiv fəaliyyətini təmin edən əsas vasitələrdən biridir. Əks əlaqə vasitəsilə idarəolunan alt sistemlərdən daxil olan məlumatlar idarədən sistemə ötürülür və bu məlumatlar əsasında cari vəziyyət qiymətləndirilir, zəruri hallarda düzəlişlər aparılır. Bu mexanizm idarəetmə prosesində baş verən dəyişikliklərin vaxtında aşkar edilməsinə və operativ reaksiya verilməsinə imkan yaradır . Belə yanaşma qərar qəbuletmə prosesinin daha obyektiv və əsaslandırılmış olmasını təmin edir, çünki qərarlar real məlumatlara əsaslanır və sistemin vəziyyətini əks etdirir [5, s.28; 6, s.22].

Qərar qəbuletmə prosesləri AİS-in əsas funksiyalarından biri olub, informasiya axınlarının düzgün təşkili və emalı ilə sıx bağlıdır. Müasir idarəetmə sistemlərində qərarlar yalnız rəhbər şəxslərin təcrübəsinə deyil, həm də analitik məlumatlara, modelləşdirmə nəticələrinə və proqnozlara əsaslanır. Bu isə idarəetmənin elmi əsaslara söykənməsini təmin edir və risklərin azaldılmasına şərait yaradır. Layihələrin və proseslərin planlaşdırılması və nəzarəti zamanı sistem yanaşmasının tətbiqi qərar qəbuletmə prosesinin səmərəliliyini artırır [4, s.73]. Nəqliyyat sistemlərində isə bu xüsusiyyət xüsusilə vacibdir, çünki burada operativlik və dəqiqlik əsas amillərdən hesab olunur [3, s.33].

Avtomatlaşdırmanın iqtisadi və texniki səmərəliliyi onun tətbiq sahəsinin genişlənməsinin əsas səbəblərindən biridir. AİS-in tətbiqi nəticəsində əməliyyat xərcləri azalır, resurslardan istifadə optimallaşdırılır və əmək məhsuldarlığı artır. Nəqliyyat-logistika proseslərində avtomatlaşdırma yük və sərnişin daşımalarının planlaşdırılmasını daha dəqiq və səmərəli edir, gecikmələrin qarşısını alır və xidmət keyfiyyətini yüksəldir [1, s.85]. Texniki baxımdan isə avtomatlaşdırılmış sistemlər məlumatların yüksək sürətlə emalını və ötürülməsini təmin edir, bu da idarəetmə prosesinin operativliyini artırır [8, s.41]. Bundan əlavə, ağıllı nəqliyyat sistemlərinin tətbiqi təhlükəsizlik səviyyəsini yüksəldir və ümumi sistem performansını yaxşılaşdırır [2].

Müasir rəqəmsal idarəetmə texnologiyaları avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin inkişafında yeni mərhələni təşkil edir. Rəqəmsallaşma, bulud texnologiyaları, böyük verilənlər (Big Data) və süni intellekt kimi innovativ yanaşmalar idarəetmə proseslərinin daha çevik və adaptiv olmasına imkan yaradır. Bu texnologiyalar vasitəsilə məlumatların real vaxt rejimində analizi həyata keçirilir və qərar qəbuletmə prosesləri daha sürətli və dəqiq olur [7, s.36]. Nəqliyyat sahəsində bu yanaşmalar ağıllı nəqliyyat sistemlərinin formalaşmasına, trafik axınlarının optimallaşdırılmasına və şəhər nəqliyyatının səmərəli idarə olunmasına şərait yaradır [9, s.67]. Beləliklə, müasir rəqəmsal texnologiyalar AİS-in inkişaf perspektivlərini genişləndirərək nəqliyyat sistemlərinin daha dayanıqlı və effektiv idarə olunmasına imkan verir.

III. NƏTİCƏ VƏ PRAKTİKİ TƏKLİFLƏR

Aparılan tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri müasir nəqliyyat müəssisələrinin səmərəli fəaliyyətinin təmin edilməsində mühüm rol oynayır. Bu sistemlər vasitəsilə idarəetmə prosesləri daha çevik, operativ və obyektiv xarakter alır, informasiya axınlarının düzgün təşkili isə qərar qəbuletmə prosesinin keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. İstehsalat kollektivlərinin fəaliyyətinin koordinasiyası, resursların optimal bölgüsü və nəzarət mexanizmlərinin gücləndirilməsi AİS-in əsas üstünlükləri kimi çıxış edir . Müasir informasiya sistemlərinin tətbiqi təşkilatlarda idarəetmə səviyyəsini yüksəldir və rəqabət qabiliyyətini artırır [5, s.35].

Tədqiqat zamanı həmçinin müəyyən edilmişdir ki, nəqliyyat sistemlərində avtomatlaşdırmanın tətbiqi iqtisadi və texniki baxımdan yüksək səmərəlilik yaradır. Avtomatlaşdırılmış sistemlər əməliyyat xərclərinin azalmasına, əmək məhsuldarlığının artmasına və xidmət keyfiyyətinin yüksəlməsinə səbəb olur. Logistika və nəqliyyat proseslərinin optimallaşdırılması nəticəsində vaxt itkisi azalır, yük və sərnişin daşımalarının planlaşdırılması daha dəqiq həyata keçirilir [1, s.92]. Eyni zamanda müasir ağıllı nəqliyyat sistemlərinin tətbiqi təhlükəsizliyin artırılmasına və ümumi sistem performansının yaxşılaşdırılmasına imkan verir [2].

Əldə olunan nəticələr əsasında bir sıra praktiki təkliflər irəli sürmək mümkündür. İlk növbədə, nəqliyyat müəssisələrində avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin tətbiqi genişləndirilməli və mövcud sistemlər müasir rəqəmsal texnologiyalar əsasında təkmilləşdirilməlidir. İnformasiya axınlarının vahid platformada inteqrasiyası təmin edilməli, real vaxt rejimində məlumatların toplanması və analizi üçün müasir proqram və texniki vasitələrdən istifadə olunmalıdır. Bununla yanaşı, idarəetmə sistemlərinin effektivliyi üçün işçi heyətinin peşəkar hazırlığı artırılmalı və onların yeni texnologiyalara uyğunlaşması təmin edilməlidir [6, s.27;

7, s.40].
Bundan əlavə, nəqliyyat sistemlərində əks əlaqə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi və qərar qəbuletmə proseslərinin rəqəmsallaşdırılması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Müasir kommunikasiya və şəbəkə texnologiyalarının tətbiqi məlumatların sürətli ötürülməsini və operativ nəzarəti təmin edərək idarəetmə prosesinin çevikliyini artırır [8, s.48]. Şəhər və regional nəqliyyat sistemlərində ağıllı texnologiyaların tətbiqi isə nəqliyyat axınlarının optimallaşdırılmasına və xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə şərait yaradır [3, s.41; 9, s.75]. Beləliklə, avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin inkişafı və tətbiqi nəqliyyat mühəndisliyinin əsas perspektiv istiqamətlərindən biri olaraq qalır və gələcəkdə daha geniş tətbiq imkanlarına malikdir.

ƏDƏBİYYAT

1. Crainic, T.G., Laporte, G. (eds.). Fleet Management and Logistics. – Springer, 1998.
2. Erjavec, J., Thompson, R. Automotive Technology: A Systems Approach. 7th ed. – Cengage, 2020.
3. Federal Highway Administration (FHWA). Applying Transportation Asset Management to Intelligent Transportation Systems Assets: A Primer. – FHWA-HOP-20-047, 2022.
4. Federal Highway Administration (FHWA). Guidelines for Transportation Management Systems Maintenance Concept and Plans. – U.S. Department of Transportation.
5. Ghosh, S., Lee, T.S. Intelligent Transportation Systems: Smart and Green Infrastructure Design. 2nd ed. – CRC Press, 2010.
6. Robert Bosch GmbH. Automotive Handbook. 11th ed. – Wiley, 2022.
7. SAE International. JA1012: A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard.
8. Sussman, J.M. Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS). – Springer, 2005.

TEXNİKİ QULLUQ VƏ CARİ TƏMİR. AVTOMOBİL TƏMİRİ ZAVODUNUN AİS-Mİ

Məmmədov Fərahim İlham oğlu
Naxçıvan Dövlət Universiteti
Memarlıq və mühəndislik fakültəsi,
Naxçıvan, Azərbaycan
memmedovferahim@ndu.edu.az
https://orcid.org/0009-0002-5071-0572

Seyidova Zeynəb Mehdi qızı
Naxçıvan Dövlət Universiteti
Memarlıq və mühəndislik fakültəsi,
Naxçıvan, Azərbaycan
zeynbsyidova@gmail.com

Abstract: This study examines the role of technical maintenance and current repair systems in automobile transport and emphasizes their importance for the operational reliability, safety, and continuity of transport services. The analysis shows that properly organized maintenance directly affects the technical readiness coefficient of the vehicle fleet, the release rate of vehicles to operation, and the reduction of downtime. Special attention is paid to the preventive and planned nature of maintenance, which helps detect failures in advance, extend the service life of vehicle units, and optimize repair costs. The study also highlights that technical

service should be regarded not only as a set of repair measures, but as an integrated management mechanism that influences the overall efficiency and stability of transport enterprises.
The research further demonstrates that intelligent management centers and automated information systems significantly improve maintenance and repair management in automobile repair enterprises. Through operational planning, control, accounting, and diagnostic data processing, these systems support better allocation of spare parts, improved monitoring of repair posts, and faster decision-making. As a result, repair time is shortened, idle time is reduced, and service quality is enhanced. The findings confirm that the integration of technical maintenance processes with automated information environments strengthens enterprise management, improves the technical readiness of the fleet, and increases the overall operational efficiency and competitiveness of automobile transport systems.
Keywords: *technical maintenance; current repair; automated information systems; fleet efficiency; intelligent transport systems*

I. GİRİŞ

Avtomobil yolları nəqliyyat sisteminin əsas mühəndis-kommunikasiya elementlərindən biri Avtomobil nəqliyyatında texniki qulluq və cari təmir sistemi nəqliyyat vasitələrinin saz vəziyyətdə saxlanılmasını, onların etibarlı və təhlükəsiz istismarını, həmçinin daşınma prosesinin fasiləsizliyini təmin edən əsas istehsalat istiqamətlərindən biridir. Göndərdiyiniz sənəddə də vurğulandığı kimi, texniki xidmət və təmirin düzgün təşkili parkın texniki hazırlıq əmsalını, xəttə buraxılma səviyyəsini və nəqliyyat vasitələrinin uzun müddət nasazlıqsız işləmə imkanını birbaşa müəyyən edir. Bu baxımdan texniki qulluq yalnız nasazlığın aradan qaldırılması üçün görülən tədbirlər toplusu deyil, eyni zamanda nəqliyyat müəssisəsinin ümumi istehsalat səmərəliliyini formalaşdıran idarəetmə mexanizmidir. Müasir avtomobil texnologiyası üzrə elmi mənbələrdə də göstərilir ki, profilaktik texniki xidmətin vaxtında aparılması aqreqatların xidmət müddətini artırır, qəfil sıradançıxma hallarını azaldır və təmir xərclərinin optimallaşdırılmasına imkan yaradır [2; 6]. Göndərdiyiniz sənəddə texniki xidmətin daşınma planının yerinə yetirilməsi üçün zəmin yaratdığı barədə qeyd olunan müddəa da bu elmi yanaşmanı təsdiqləyir.
Texniki qulluq və cari təmir sisteminin əhəmiyyəti ilk növbədə onun planlı və qabaqlayıcı xarakter daşıması ilə bağlıdır. Avtomobil parkında nasazlıqların yalnız baş verdikdən sonra aradan qaldırılması deyil, həm də onların əvvəlcədən aşkarlanması və profilaktik tədbirlərlə qarşısının alınması daha səmərəli nəticə verir. Etibarlılıq əsaslı xidmət yanaşması göstərir ki, texniki xidmət strategiyası avadanlığın funksional vəziyyətinə, nasazlıq riskinə və istismar şəraitinə uyğun qurulduqda həm təhlükəsizlik, həm də iqtisadi səmərəlilik artır [7]. Bu səbəbdən cari təmir sistemi texniki qulluqla qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyət göstərməli, diaqnostika, müşahidə, qeydiyyat və operativ qərar qəbuletmə vahid mexanizmdə birləşdirilməlidir. Avtomobil nəqliyyatında logistika və park idarəçiliyi üzrə tədqiqatlar da təsdiq edir ki, təmirin planlı təşkili daşınmaların dayanıqlığını yüksəldir, nəqliyyat vasitələrinin boşdayanma müddətini azaldır və xidmət keyfiyyətinə müsbət təsir göstərir [1].
Müasir şəraitdə texniki qulluq və cari təmir sisteminin səmərəliliyi avtomatlaşdırılmış informasiya sistemləri və intellektual nəqliyyat texnologiyalarının tətbiqi ilə daha da yüksəlir. Göndərdiyiniz sənəddə qeyd olunduğu kimi, AİS vasitəsilə hərəkətdə olan heyətin texniki vəziyyəti, ehtiyat hissələrinə tələbat, təmir fondunun hərəkəti, postların iş yükü və boşdayanma halları barədə məlumatlar toplanır, təhlil edilir və qərar qəbul edən bölmələrə ötürülür. Bu isə texniki xidmət şöbəsinə operativ planlaşdırma, operativ nəzarət və operativ uçot funksiyalarını daha dəqiq yerinə yetirməyə imkan verir. FHWA sənədlərində də nəqliyyat idarəetmə sistemlərinin texniki istismarı və aktivlərin idarə olunması üçün məlumat əsaslı yanaşmanın vacibliyi xüsusi vurğulanır; burada xidmət planlarının hazırlanması, sistem elementlərinin vəziyyətinə nəzarət və texniki müdaxilələrin prioritetləşdirilməsi əsas istiqamətlər kimi göstərilir [3], [4]. İntellektual nəqliyyat sistemləri üzrə araşdırmalar da göstərir ki, informasiya texnologiyalarının tətbiqi nəticəsində xidmət prosesləri daha şəffaf, çevik və koordinasiyalı xarakter alır [5; 8].
Beləliklə, avtomobil nəqliyyatında texniki qulluq və cari təmir sistemi həm texniki, həm iqtisadi, həm də təşkilati baxımdan strateji əhəmiyyət daşıyır. Bu sistem nəqliyyat vasitələrinin etibarlılığını qorumaqla yanaşı, müəssisənin istehsalat ritmini, daşıma planlarının icrasını, təhlükəsizlik səviyyəsini və resurslardan səmərəli istifadəni təmin edir. Xüsusilə avtomobil təmiri zavodunun AİS-i şəraitində texniki xidmətin məlumat bazası üzərində qurulması, nasazlıqların operativ izlənilməsi, ehtiyat hissələrinin düzgün bölüşdürülməsi və təmir

proseslərinin nəzarətdə saxlanılması idarəetmə keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Buna görə də texniki qulluq və cari təmir sistemi avtomobil nəqliyyatında yalnız köməkçi istehsalat sahəsi deyil, bütün nəqliyyat prosesinin dayanıqlığını və rəqabət qabiliyyətini müəyyən edən əsas funksional mexanizmlərdən biri kimi qiymətləndirilməlidir [2; 3; 6].

II. ƏSAS HİSSƏ

Avtomobil nəqliyyatında intellektual idarəetmə mərkəzi nəqliyyat vasitələrinin texniki vəziyyətinə, xidmət və təmir proseslərinin gedişinə, ehtiyat hissələri ilə təminata və istehsalat bölmələrinin qarşılıqlı fəaliyyətinə nəzarət edən əsas əlaqələndirici struktur kimi çıxış edir. Göndərdiyiniz sənəddə göstərildiyi kimi, belə mərkəz texniki xidmət və cari təmir planlarının hazırlanmasına və icrasına nəzarət edir, avtotəmir zavodlarının fəaliyyətini uzlaşdırır, nəqliyyat idarə və təşkilatları arasında informasiya mübadiləsini təmin edir, həmçinin avtomobillərin əsaslı təmiri, yanacaqdan səmərəli istifadə və istehsalatın təşkilinə dair qərarların qəbulunda iştirak edir. Bu baxımdan intellektual idarəetmə mərkəzi yalnız texniki xidmət bölməsi deyil, həm də bütün nəqliyyat parkının etibarlılığını və istismar dayanıqlığını qoruyan funksional idarəetmə mexanizmidir. İntellektual nəqliyyat sistemləri ilə bağlı elmi yanaşmalar da göstərir ki, idarəetmənin informasiyaya əsaslanması, operativ qərar qəbuletmə və müxtəlif alt sistemlərin vahid platformada inteqrasiyası nəqliyyat fəaliyyətinin səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır [5, s. 17], [8, s. 24]. Göndərdiyiniz sənəddə vurğulanan texniki hazırlıq əmsalı, xəttə buraxılma səviyyəsi və boşdayanma hallarının azaldılması kimi göstəricilər də məhz bu idarəetmə funksiyalarının nəticəsi kimi meydana çıxır.

Avtomobil təmiri zavodlarında avtomatlaşdırılmış informasiya sistemlərinin rolu ilk növbədə məlumatların toplanması, emalı, saxlanılması və idarəetmə qərarlarına çevrilməsi ilə müəyyən olunur. Sənəddə qeyd olunduğu kimi, AİS baş istehsalat idarəsini hərəkətdə olan heyətin texniki vəziyyəti, qaraj və texniki ləvazimatlara tələbat, təmir fondunun hərəkəti, mühərrik və aqreqatların təmiri barədə məlumatlarla təmin edir. Bu məlumatlar texniki xidmət şöbəsinə təmir postlarının vəziyyətini izləmək, fəhlələrin ehtiyat hissələri ilə təminatını dəqiqləşdirmək, boşdayanma hallarını azaltmaq və iş yüklənməsini təhlil etmək imkanı verir. Müasir elmi və normativ mənbələrdə də göstərilir ki, avtomatlaşdırılmış idarəetmə və aktivlərin monitorinqi sistemləri texniki xidmətin planlı təşkili, resurs bölgüsünün optimallaşdırılması və xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün əsas vasitələrdən biridir [3], [4]. Bu mənada avtomobil təmiri zavodunda AİS-in tətbiqi yalnız informasiya mübadiləsini sürətləndirmir, həm də təmir proseslərinin şəffaflığını, nəzarət imkanlarını və ümumi istehsalat intizamını gücləndirir.

Texniki qulluq və cari təmir altsisteminin strukturu sənəddə operativ planlaşdırma, operativ nəzarət və operativ uçot kimi üç əsas istiqamət üzrə təqdim edilir və bu bölgü praktik baxımdan tam əsaslıdır. Operativ planlaşdırma çərçivəsində texniki xidmətə olan tələbat müəyyən edilir, postlara ehtiyat hissələrinin verilməsi planlaşdırılır və təmir sahələrində nasaz detalların bərpası işləri təşkil olunur. Operativ nəzarət isə təmir işlərinin yerinə yetirilmə müddətlərini, avtomobillərin qəbul və təhvil vaxtını, ehtiyat hissələrinin təmir sahələrinə vaxtında çatdırılmasını və təmir fondunun mövcud vəziyyətini izləyir. Operativ uçot mərhələsində isə hərəkətdə olan heyətin texniki xidmət və təmir planları qeydiyyata alınır, detalların təmir prosesi sənədləşdirilir və təmir zonalarında boşdayanan avtomobillərin uçotu aparılır. Etibarlılıq əsaslı texniki xidmət üzrə yanaşmalar göstərir ki, belə strukturlaşdırılmış idarəetmə nasazlıqların qarşısının alınmasına, texniki risklərin azaldılmasına və xidmət proqramlarının daha rasional qurulmasına şərait yaradır [7]. Bu səbəbdən texniki qulluq və cari təmir altsistemi müəssisənin gündəlik fəaliyyətində həm texniki təhlükəsizliyin, həm də istehsalat çevikliyinin qorunmasında mühüm yer tutur.

Bütövlükdə, avtomobil nəqliyyatında intellektual idarəetmə mərkəzi, avtomobil təmiri zavodlarında avtomatlaşdırılmış informasiya sistemləri və texniki qulluq-cari təmir altsistemi bir-birini tamamlayan vahid idarəetmə mühiti yaradır. Bu mühitin əsas məqsədi nəqliyyat vasitələrinin sazlığını qorumaq, təmir proseslərini sürətləndirmək, resurslardan səmərəli istifadəni təmin etmək və daşınma planlarının etibarlı icrasına nail olmaqdır. Göndərdiyiniz sənəddə də göstərildiyi kimi, operativ həll olunan planlaşdırma, nəzarət və uçot məsələləri boşdayanma hallarını aradan qaldırır, işin keyfiyyətini yüksəldir və xidmət prosesini yaxşılaşdırır. Logistika və park idarəçiliyi ilə bağlı elmi yanaşmalar da təsdiq edir ki, xidmət, təmir və informasiya idarəetməsinin inteqrasiyası nəqliyyat müəssisəsinin rəqabət qabiliyyətini və dayanıqlığını artıran başlıca

şərtlərdən biridir [1, s. 5], [5, s. 31]. Buna görə də avtomobil təmiri zavodunun AİS-i və onun texniki qulluq altsistemi müasir nəqliyyat müəssisəsində sadəcə köməkçi struktur deyil, idarəetmənin strateji dayaqlarından biri kimi qiymətləndirilməlidir.

Operativ planlaşdırma texniki qulluq və cari təmir sisteminin ən vacib mərhələlərindən biri olub, nəqliyyat vasitələrinin xidmətə cəlb olunma ardıcıllığını, postların yüklənmə səviyyəsini və ehtiyat hissələrinin vaxtında təminatını müəyyən edir. Göndərdiyiniz sənəddə də qeyd olunduğu kimi, bu mərhələdə texniki xidmətə olan tələbat təyin edilir, postlara ehtiyat hissələrinin verilməsi planlaşdırılır və təmir sahələrində nasaz hissələrin bərpası işləri təşkil olunur. Belə yanaşma təsadüfi deyil, çünki avtomobil parkında profilaktik xidmətin qabaqcadan planlaşdırılması qəfil nasazlıqların və boşdayanma hallarının azalmasına, texniki hazırlıq əmsalının isə yüksəlməsinə şərait yaradır. Nəqliyyat parkının və logistika axınlarının idarə olunmasına dair yanaşmalar göstərir ki, resursların düzgün bölgüsü, təmir güclərinin balanslaşdırılması və ehtiyat hissələrinin idarə edilməsi ümumi istismar səmərəliliyinə birbaşa təsir edir [1, s. 5]. Avtomobil texnologiyası üzrə müasir mənbələrdə də texniki xidmətin əvvəlcədən planlaşdırılması və sistemli servis yanaşmasının nəqliyyat vasitələrinin uzunmüddətli etibarlılığı üçün əsas şərt olduğu vurğulanır [2, s. 14]. Göndərdiyiniz sənəddə operativ planlaşdırmanın "təmir sahələrində nasaz hissələrin təmiri işini asanlaşdırması" barədə deyilənlər də bu elmi yanaşma ilə səsləşir.

Operativ nəzarət isə təmir prosesinin icra mərhələsində vaxt, resurs və texniki intizam üzərində daimi müşahidəni təmin edən idarəetmə funksiyasıdır. Sənəddə göstərildiyi kimi, bu mərhələdə təmir işlərinin yerinə yetirilmə vaxtı yoxlanılır, maşınların gətirilməsi vaxtı uçota alınır, ehtiyat hissələrinin təmir sahələrinə çatdırılmasına və təmir fondunun vəziyyətinə nəzarət edilir. Belə nəzarət həm xidmət müddətlərinin uzanmasının qarşısını alır, həm də təmir sahələrində boşdayanma hallarını azaldaraq istehsalat ritmini qoruyur. FHWA-nın nəqliyyat idarəetmə sistemlərinin saxlanılması və texniki istismarına dair tövsiyələrində də xidmət proqramının səmərəli işləməsi üçün avadanlığın vəziyyətinə fasiləsiz nəzarət, texniki müdaxilələrin prioritetləşdirilməsi və nasaz elementlərin vaxtında bərpası əsas tələb kimi göstərilir [4]. Eyni zamanda ITS aktivlərinin idarə olunmasına dair primerdə qərarların məlumat əsaslı qəbulunun resursların daha düzgün yönəldilməsinə və uzunmüddətli istismar nəticələrinin yaxşılaşmasına xidmət etdiyi vurğulanır [3]. Bu mənada operativ nəzarət yalnız cari müşahidə mexanizmi deyil, həm də texniki xidmət prosesinin dayanıqlığını təmin edən idarəetmə alətidir.

Operativ uçot və diaqnostika məlumatlarının emalı texniki qulluq və cari təmir sisteminin analitik bazasını formalaşdırır. Göndərdiyiniz sənəddə göstərilir ki, bu mərhələdə hərəkətdə olan heyətin texniki xidmət və təmir planları qeydiyyata alınır, detalların təmir olunması sənədləşdirilir və təmir sahələrində boş dayanan avtomobillərin uçotu aparılır. Diaqnostika məlumatlarının toplanması və emalı nəticəsində nasazlıqların təkrarlanma tezliyi, ayrı-ayrı aqreqatların etibarlılığı, təmirə sərf olunan vaxt və istifadə edilən ehtiyat hissələrinin həcmi müəyyənləşdirilir. Etibarlılıq əsaslı texniki xidmət yanaşması məhz bu məlumatlardan istifadə etməklə texniki riskləri qiymətləndirməyi, profilaktik tədbirləri əsaslandırmağı və nasazlığın funksional nəticələrinə görə xidmət siyasəti qurmağı tövsiyə edir [7]. İntellektual nəqliyyat sistemləri üzrə yanaşmalarda da məlumatın operativ emalı və geri əlaqə mexanizmləri idarəetmənin çevikliyini artıran əsas amillərdən biri kimi qiymətləndirilir [5, s. 31], [8, s. 24].

Beləliklə, operativ planlaşdırma, operativ nəzarət və operativ uçot texniki qulluq və cari təmir altsisteminin bir-birini tamamlayan əsas funksional istiqamətləridir. Planlaşdırma texniki xidmətə olan tələbatı və resurs bölgüsünü müəyyən edir, nəzarət bu planların icrasını izləyir, uçot və diaqnostika isə nəticələrin obyektiv qiymətləndirilməsi üçün zəruri informasiya bazasını yaradır. Göndərdiyiniz sənəddə də vurğulandığı kimi, bu məsələlərin operativ həll olunması boşdayanma hallarını aradan qaldırır, işin keyfiyyətini yüksəldir, təmir prosesini sürətləndirir və xidmət işini yaxşılaşdırır. Müasir nəqliyyat müəssisəsində bu üç funksiyanın vahid informasiya mühitində birləşdirilməsi parkın texniki hazırlığını yüksəldir, təmir xərclərini daha rasional idarə etməyə imkan verir və ümumi istismar səmərəliliyini artırır [3], [4], [7].

Texniki qulluq və cari təmir prosesləri avtomobil parkının texniki hazırlıq əmsalına birbaşa təsir göstərən əsas amillərdəndir. Göndərdiyiniz sənəddə də açıq şəkildə qeyd olunur ki, texniki xidmət və təmir işlərinin səmərəliliyi parkın texniki hazırlıq əmsalını, xəttə buraxılma əmsalını və avtomobillərin uzun müddət təmirsiz istismar imkanını müəyyən edir. Bu o deməkdir ki, nəqliyyat vasitələrinin saz vəziyyətdə saxlanılması yalnız

texniki məsələ deyil, həm də daşıma planlarının yerinə yetirilməsi, marşrutların fasiləsiz icrası və müəssisənin ümumi istehsalat dayanıqlığı baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Avtomobil texnologiyasına dair müasir mənbələrdə də profilaktik xidmətin və cari təmirin vaxtında aparılmasının aqreqatların xidmət müddətini artırdığı, qəfil nasazlıqları azaltdığı və istismar xərclərini optimallaşdırdığı göstərilir [2, s. 14], [6, s. 98]. Logistika və park idarəetməsi üzrə yanaşmalar isə təsdiq edir ki, xidmət və təmir proseslərinin düzgün təşkili nəqliyyat vasitələrinin istismara hazırlıq səviyyəsini yüksəldərək bütün daşıma sisteminin məhsuldarlığını artırır [1, s. 5].

Texniki qulluq və cari təmirin istismar səmərəliliyinə təsiri ilk növbədə boşdayanma hallarının azalması, təmir müddətlərinin qısalması və resurslardan daha rasional istifadə ilə ifadə olunur. Sənəddə göstərildiyi kimi, operativ planlaşdırma, nəzarət və uçot məsələlərinin vaxtında həlli təmir sahələrində boşdayanmanı aradan qaldırır, işin keyfiyyətini yüksəldir, təmir işlərinin sürətini artırır və xidmət prosesini yaxşılaşdırır. Bu nəticə etibarlılıq əsaslı xidmət yanaşmaları ilə də üst-üstə düşür. Belə ki, xidmət və təmir strategiyası nəqliyyat vasitəsinin texniki vəziyyəti, nasazlıq ehtimalı və funksional risklər nəzərə alınmaqla qurulduqda həm təhlükəsizlik, həm də iqtisadi göstəricilər yaxşılaşır [7]. İntellektual nəqliyyat sistemləri üzrə tədqiqatlarda da qeyd olunur ki, səmərəli istismar yalnız fiziki təmir işləri ilə deyil, həm də məlumatın operativ emalı, qərarların əsaslandırılması və resursların real vəziyyətə uyğun yönləndirilməsi ilə təmin olunur [5, s. 31], [8, s. 24].

Müasir AİS həlləri avtomobil təmiri müəssisələrində idarəetmənin təkmilləşdirilməsində mühüm rol oynayır, çünki onlar texniki vəziyyət, ehtiyat hissələri, təmir postlarının yüklənməsi və təmir fondunun hərəkəti barədə məlumatları vahid informasiya bazasında birləşdirir. Göndərdiyiniz sənəddə Nazirliyin AİS-i vasitəsilə hərəkətdə olan heyətin texniki vəziyyəti, qaraj və texniki ləvazimatlara tələbat, avtomobillərin və mühərriklərin təmiri barədə məlumatların baş istehsalat idarəsinə ötürüldüyü göstərilir. Bu yanaşma təmir prosesinin yalnız lokal səviyyədə deyil, müəssisə və sistem səviyyəsində idarə olunmasına imkan verir. FHWA-nın ITS aktivlərinin idarə olunmasına dair materiallarında da qeyd olunur ki, məlumat əsaslı aktiv idarəetməsi qurumlara bütün həyat dövrü boyunca texniki xidmət qərarlarını daha səmərəli verməyə, prioritetləri düzgün müəyyənləşdirməyə və xərcləri azaltmağa kömək edir [3]. Eyni zamanda nəqliyyat idarəetmə sistemlərinin texniki istismarı üzrə tövsiyələrdə planlı xidmət proqramı, inventarlaşdırma, texniki vəziyyətin izlənilməsi və proqram təminatlı nəzarət mexanizmləri idarəetmənin əsas dayaqları kimi göstərilir [4].

Beləliklə, texniki qulluq və cari təmir prosesləri avtomobil parkının texniki hazırlıq əmsalının yüksəldilməsində, xəttə çıxış sabitliyinin qorunmasında və müəssisənin istismar səmərəliliyinin artırılmasında həlledici rol oynayır. Müasir AİS həlləri isə bu prosesləri yeni mərhələyə keçirərək təmirin planlaşdırılması, nəzarəti, uçotu və analitik qiymətləndirilməsini daha çevik və dəqiq edir. Bunun nəticəsində avtomobil təmiri müəssisəsində qərarların qəbulu sürətlənir, ehtiyat hissələrinin dövriyyəsi optimallaşır, boşdayanma müddəti azalır və texniki xidmət daha sistemli xarakter alır. Bu baxımdan AİS yalnız köməkçi informasiya vasitəsi deyil, avtomobil təmiri müəssisəsində idarəetmənin keyfiyyətini yüksəldən, texniki-intellektual inteqrasiyanı təmin edən strateji mexanizm kimi qiymətləndirilməlidir [3], [4], [5, s. 17].

III. NƏTİCƏ VƏ PRAKTİKİ TƏKLİFLƏR

Avtomobil nəqliyyatında texniki qulluq və cari təmir sisteminin təhlili göstərir ki, bu sahədə idarəetmənin səmərəliliyi nəqliyyat vasitələrinin texniki hazırlıq səviyyəsinə, xəttə buraxılma əmsalına və daşıma prosesinin sabitliyinə birbaşa təsir edir. Göndərdiyiniz sənəddə də vurğulanır ki, texniki xidmətin düzgün təşkili avtomobillərin uzun müddət təmirsiz istismarına, boşdayanma hallarının azaldılmasına və istehsalat planlarının daha etibarlı icrasına şərait yaradır. Xüsusilə operativ planlaşdırma, operativ nəzarət və operativ uçot funksiyalarının vahid sistemdə birləşdirilməsi təmir prosesinin sürətlənməsinə, ehtiyat hissələrinin daha düzgün bölüşdürülməsinə və təmir postlarının işinin optimallaşdırılmasına imkan verir. Müasir nəqliyyat idarəetməsi üzrə yanaşmalar da göstərir ki, texniki xidmətin məlumat əsaslı təşkili müəssisənin ümumi istismar səmərəliliyini artıran əsas şərtlərdəndir [3], [4].

Aparılan ümumiləşdirmə onu deməyə əsas verir ki, avtomobil təmiri zavodlarında avtomatlaşdırılmış informasiya sistemlərinin tətbiqi ənənəvi idarəetmə üsullarını daha çevik, daha dəqiq və daha nəzarətolunan formaya gətirir. AİS vasitəsilə hərəkətdə olan heyətin texniki vəziyyəti, təmir fondunun hərəkatı, ehtiyat hissələrinə tələbat və təmir müddətləri barədə məlumatların operativ şəkildə toplanması və emalı idarəetmə qərarlarının keyfiyyətini yüksəldir. Bu isə həm texniki qulluq işlərinin qabaqlayıcı xarakter almasına, həm də

nasazlıqların təkrarlanma tezliyinin azalmasına səbəb olur. İntellektual nəqliyyat sistemləri üzrə araşdırmalarda da informasiya inteqrasiyasının və aktivlərin planlı idarə olunmasının nəqliyyat müəssisələrinin dayanıqlığını və xidmət keyfiyyətini artırdığı göstərilir [3], [5], [8]. Bununla yanaşı, etibarlılıq əsaslı texniki xidmət prinsipləri xidmət siyasətinin nasazlığın nəticələrinə və risk səviyyəsinə uyğun qurulmasının daha səmərəli nəticə verdiyini təsdiqləyir [7].

Praktiki baxımdan avtomobil təmiri müəssisələrində ilk növbədə texniki qulluq və cari təmir üzrə vahid elektron məlumat bazasının yaradılması məqsədəuyğundur. Bu bazada hər bir nəqliyyat vasitəsinin texniki pasportu, keçdiyi xidmət növləri, nasazlıq tarixçəsi, istifadə edilən ehtiyat hissələri və təmirə sərf olunan vaxt ayrıca qeyd olunmalıdır. İkinci mühüm istiqamət təmir sahələrində operativ planlaşdırmanın gücləndirilməsi, yəni texniki xidmətə daxil olan avtomobillərin prioritet sırasının, postların iş yüklənməsinin və ehtiyat hissələrinin minimum zəruri ehtiyat normasının əvvəlcədən müəyyən edilməsidir. Üçüncü olaraq diaqnostika nəticələrinin avtomatik emalı və nasazlıqların erkən aşkarlanması üçün rəqəmsal monitorinq elementlərinin tətbiqi təklif oluna bilər. FHWA materiallarında da xidmət proqramlarının planlı şəkildə qurulması, aktivlərin vəziyyətinin izlənilməsi və texniki müdaxilələrin prioritetləşdirilməsi əsas metodik istiqamətlər kimi göstərilir [3], [4].

Beləliklə, nəticə etibarilə demək olar ki, texniki qulluq və cari təmir sisteminin avtomatlaşdırılmış informasiya mühitində idarə olunması avtomobil parkının texniki hazırlıq əmsalını yüksəldir, boşdayanma müddətlərini azaldır, təmir xərclərinin daha rasional idarə olunmasına kömək edir və müəssisənin ümumi fəaliyyət səmərəliliyini artırır. Buna görə də avtomobil təmiri zavodlarında AİS həllərinin mərhələli şəkildə genişləndirilməsi, texniki xidmət üzrə operativ qərar qəbuletmə mexanizmlərinin rəqəmsallaşdırılması, ehtiyat hissələri dövriyyəsinin avtomatik izlənilməsi və xidmət nəticələrinin analitik qiymətləndirilməsi praktik təkliflər kimi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bu tədbirlərin tətbiqi həm texniki etibarlılığı, həm də istehsalat-intizam göstəricilərini yüksəldərək müasir nəqliyyat müəssisəsində idarəetmənin keyfiyyətcə yeni səviyyəyə keçməsini təmin edə bilər [3], [4], [7].

ƏDƏBİYYAT

1. Crainic, T.G., Laporte, G. (eds.). Fleet Management and Logistics. – Springer, 1998.
2. Erjavec, J., Thompson, R. Automotive Technology: A Systems Approach. 7th ed. – Cengage, 2020.
3. Federal Highway Administration (FHWA). Applying Transportation Asset Management to Intelligent Transportation Systems Assets: A Primer. – FHWA-HOP-20-047, 2022.
4. Federal Highway Administration (FHWA). Guidelines for Transportation Management Systems Maintenance Concept and Plans. – U.S. Department of Transportation.
5. Ghosh, S., Lee, T.S. Intelligent Transportation Systems: Smart and Green Infrastructure Design. 2nd ed. – CRC Press, 2010.
6. Robert Bosch GmbH. Automotive Handbook. 11th ed. – Wiley, 2022.
7. SAE International. JA1012: A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard.
8. Sussman, J.M. Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS). – Springer, 2005.

ORTA DƏHLIZDƏ NƏQLIYYAT VƏ LOGISTIKA PROSESLƏRININ RƏQƏMSAL OPTIMALLAŞDIRILMASI: AZƏRBAYCANIN TRANZIT MƏRKƏZ KIMI ROLU

Məmmədov Adəm Şahin Orucov
Bakı Mühəndislik Universiteti Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik fakültəsi / Logistika və nəqliyyat Mühəndislik fakültəsi / Logistika və nəqliyyat

amemmedov33@std.beu.edu.az shorucov@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan Xırdalan, Azərbaycan

***Xülasə*:** Müasir qlobal iqtisadi mühitdə nəqliyyat və logistika sistemlərinin effektiv fəaliyyəti beynəlxalq ticarətin inkişafında həlledici rol oynayır. Xüsusilə Avropa ilə Asiya arasında alternativ marşrut kimi formalaşan Orta Dəhliz son illərdə strateji əhəmiyyət qazanmışdır. Bu məqalədə Orta Dəhliz çərçivəsində nəqliyyat və logistika proseslərinin mövcud vəziyyəti sistemli şəkildə təhlil olunur, əsas problemlər müəyyən edilir və onların aradan qaldırılması üçün rəqəmsal optimallaşdırma yanaşması təklif olunur.

Tədqiqatın əsas məqsədi rəqəmsal texnologiyaların – süni intellekt, real vaxt məlumat sistemləri və elektron gömrük platformalarının – tətbiqi vasitəsilə logistika proseslərinin səmərəliliyinin artırılması imkanlarını araşdırmaqdır. Məqalədə müqayisəli analiz, sistem yanaşması və konseptual modelləşdirmə metodlarından istifadə edilmişdir.

Aparılan təhlillər göstərir ki, Orta Dəhlizdə logistika proseslərinin əsas problemləri gecikmələr, koordinasiya çatışmazlığı və informasiya axınlarının qeyri-effektiv idarə olunması ilə bağlıdır. Təklif olunan rəqəmsal model bu problemlərin aradan qaldırılmasına, daşınma müddətinin və xərclərin azalmasına, həmçinin xidmət keyfiyyətinin yüksəlməsinə imkan yaradır.

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, Azərbaycanın tranzit potensialının daha effektiv reallaşdırılması üçün rəqəmsallaşma əsas inkişaf istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir və bu yanaşma ölkənin regional logistika mərkəzi kimi mövqeyini gücləndirə bilər.

***Açar sözlər*:** Orta Dəhliz, logistika, rəqəmsallaşma, nəqliyyat sistemi, optimallaşdırma, tranzit

Abstract: Against the backdrop of the modern economic landscape, efficient work of transport and logistics systems is a key component in the formation of international trade. Specifically, recently, the emergence of the Middle Corridor, which became an alternative way from Europe to Asia, has attracted special attention. This paper provides a systematic analysis of the current state of transport and logistic activities under conditions of the Middle Corridor, identification of existing problems and ways of solving them using a digital approach.

The key goal of the research is to assess the opportunities of improving the effectiveness of logistic activities using digital technologies, including AI, real-time technologies, and electronic customs systems. Methods of comparative analysis, systems approach, and conceptual modeling are used in the research.

As the conducted analysis shows, there are mainly such problems with the logistic processes under conditions of the Middle Corridor as delays, coordination problems, and poor information flow management. The developed digital model will allow overcoming these problems, saving time, lowering costs, and raising the quality of the services provided.

The research results show that digitalization can be considered one of the basic directions of development allowing efficient use of the potential of Azerbaijan as the

I.GİRİŞ

Müasir dövrdə qlobal iqtisadiyyatın inkişafı beynəlxalq ticarət əlaqələrinin genişlənməsi ilə müşayiət olunur və bu proses nəqliyyat-logistika sistemlərinin rolunu daha da artırır. Xüsusilə son illərdə geosiyasi dəyişikliklər və alternativ marşrutlara olan tələbat Avropa ilə Asiya arasında yeni nəqliyyat dəhlizlərinin əhəmiyyətini ön plana çıxarmışdır. Bu baxımdan Orta Dəhliz (Transxəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutu) qlobal logistika sistemində mühüm yer tutmağa başlamışdır.

Orta Dəhliz Çin–Mərkəzi Asiya–Xəzər dənizi–Cənubi Qafqaz–Avropa xətti üzrə uzanaraq ənənəvi marşrutlara alternativ olaraq çıxış edir. Bu dəhlizin əsas üstünlüklərindən biri daşınma müddətinin nisbətən qısa olması və coğrafi baxımdan daha optimal mövqe tutmasıdır. Bununla yanaşı, dəhlizin tam potensialından istifadə olunması üçün logistika proseslərinin daha səmərəli təşkili və idarə olunması tələb olunur.

Azərbaycan bu dəhlizin əsas iştirakçılarından biri kimi mühüm tranzit funksiyasını yerinə yetirir. Ölkənin əlverişli coğrafi mövqeyi, inkişaf edən nəqliyyat infrastrukturu və beynəlxalq layihələrdə fəal iştirakı onun regionda logistika mərkəzinə çevrilməsi üçün geniş imkanlar yaradır. Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı, dəmir yolu şəbəkəsinin modernləşdirilməsi və digər infrastruktur layihələri bu istiqamətdə mühüm addımlar kimi qiymətləndirilir.

Bununla belə, mövcud logistika sistemində bir sıra problemlər qalmaqdadır. Sərhəd keçidlərində gecikmələr, gömrük prosedurlarının mürəkkəbliyi, informasiya axınlarının qeyri-effektiv idarə olunması və marşrut planlaşdırılmasında çatışmazlıqlar logistika proseslərinin ümumi səmərəliliyini azaldır. Bu problemlər nəticəsində həm daşınma müddəti uzanır, həm də əlavə xərclər yaranır.

Müasir dövrdə bu kimi problemlərin həlli üçün rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi əsas istiqamətlərdən biri hesab olunur. Süni intellekt, böyük verilənlərin analizi və real vaxt məlumat sistemləri logistika proseslərinin optimallaşdırılmasına və daha çevik idarə olunmasına imkan yaradır. Bu texnologiyaların tətbiqi yalnız əməliyyat effektivliyini artırmaqla kifayətlənmir, həm də strateji səviyyədə rəqabət üstünlüyü formalaşdırır.

Bu tədqiqatın məqsədi Orta Dəhlizdə nəqliyyat və logistika proseslərinin mövcud vəziyyətini elmi əsaslarla təhlil etmək, əsas problemləri müəyyənləşdirmək və onların həlli üçün rəqəmsal optimallaşdırma modelini təklif etməkdir. Tədqiqat çərçivəsində həm nəzəri yanaşmalar, həm də praktik tətbiq imkanları araşdırılır və Azərbaycanın tranzit mərkəz kimi rolunun gücləndirilməsi perspektivləri qiymətləndirilir.

II. TƏDQİQAT METODU

Bu tədqiqatda Orta Dəhliz çərçivəsində nəqliyyat və logistika proseslərinin təhlili və optimallaşdırılması üçün kompleks metodoloji yanaşma tətbiq edilmişdir. Araşdırma həm nəzəri, həm də tətbiqi xarakter daşıyır və müxtəlif elmi metodların inteqrasiyasına əsaslanır.

Tədqiqatın ilkin mərhələsində logistika və nəqliyyat sahəsində mövcud elmi ədəbiyyatlar, beynəlxalq təşkilatların hesabatları və statistik məlumatlar sistemli şəkildə təhlil edilmişdir. Bu mərhələdə əsas diqqət Orta Dəhlizin inkişaf dinamikasına, tranzit imkanlarına və logistika sistemlərinin effektivlik göstəricilərinə yönəldilmişdir. Ədəbiyyat təhlili logistika proseslərinin mövcud vəziyyətini qiymətləndirmək və əsas problemləri müəyyən etmək üçün nəzəri baza rolunu oynamışdır.

Növbəti mərhələdə müqayisəli analiz metodu tətbiq edilmişdir. Bu yanaşma çərçivəsində Azərbaycanın logistika göstəriciləri digər tranzit ölkələrlə müqayisə olunmuş və fərqli cəhətlər müəyyən edilmişdir. Müqayisə zamanı əsasən daşınma müddəti, logistika xərcləri, xidmət keyfiyyəti və infrastruktur səviyyəsi kimi göstəricilər nəzərə alınmışdır. Bu analiz nəticəsində Orta Dəhlizdə mövcud olan struktur problemlər daha aydın şəkildə üzə çıxarılmışdır.

Tədqiqatda həmçinin sistem yanaşmasından istifadə edilmişdir. Bu yanaşma logistika proseslərini ayrı-ayrı elementlər kimi deyil, qarşılıqlı əlaqədə olan vahid sistem kimi təhlil etməyə imkan verir. Nəqliyyat, anbar, gömrük və informasiya axınları bir-biri ilə inteqrasiya olunmuş şəkildə araşdırılmış və onların qarşılıqlı təsiri qiymətləndirilmişdir.

Bundan əlavə, modelləşdirmə metodu tətbiq olunmuşdur. Bu metod vasitəsilə Orta Dəhlizdə logistika proseslərinin optimallaşdırılması üçün konseptual rəqəmsal model hazırlanmışdır. Model real logistika proseslərinə uyğun şəkildə qurulmuş və müxtəlif ssenarilər üzrə onun potensial təsirləri qiymətləndirilmişdir. Modelləşdirmə nəticələri göstərir ki, rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi logistika sisteminin səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Eyni zamanda, tədqiqat çərçivəsində analitik yanaşmadan istifadə olunmuşdur. Bu yanaşma vasitəsilə logistika proseslərində yaranan gecikmələr, xərclər və koordinasiya problemləri səbəb-nəticə əlaqələri əsasında təhlil edilmişdir. Analiz nəticəsində əsas problemlərin mənbələri müəyyən olunmuş və onların aradan qaldırılması üçün uyğun həll yolları irəli sürülmüşdür.

Beləliklə, istifadə olunan metodların kompleks tətbiqi tədqiqatın elmi əsaslılığını təmin edir və əldə olunan nəticələrin etibarlılığını artırır.

III. MÖVCUD PROBLEMLƏRİN DƏRİN TƏHLİLİ

Orta Dəhlizdə nəqliyyat və logistika proseslərinin inkişafına baxmayaraq, bu sistemdə bir sıra struktur və əməliyyat xarakterli problemlər mövcuddur. Bu problemlər logistika zəncirinin ümumi səmərəliliyinə mənfi təsir göstərir və Azərbaycanın tranzit potensialının tam reallaşdırılmasına mane olur.

Əsas problemlərdən biri sərhəd-keçid məntəqələrində yaranan gecikmələrdir. Bu gecikmələr əsasən gömrük prosedurlarının tam rəqəmsallaşdırılmaması, sənədləşmə proseslərinin mürəkkəbliyi və müxtəlif qurumlar arasında koordinasiyanın zəif olması ilə bağlıdır. Nəticədə yüklərin sərhəddə gözləmə müddəti artır və bu da ümumi daşınma vaxtına mənfi təsir göstərir.

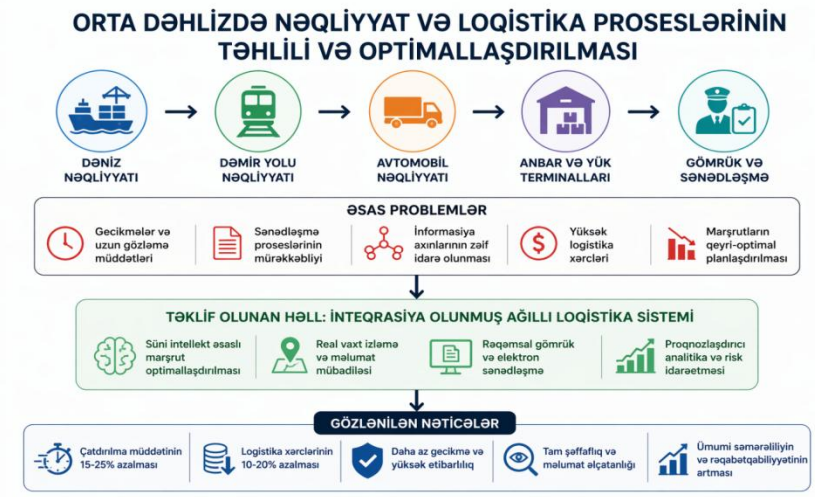
Digər mühüm problem marşrut planlaşdırılmasının qeyri-optimal olmasıdır. Mövcud sistemlərdə nəqliyyat axınlarının real vaxt rejimində idarə olunmaması səbəbindən nəqliyyat vasitələri daha uzun marşrutlardan istifadə edir. Bu isə yanacaq sərfiyyatının artmasına, xərclərin yüksəlməsinə və ekoloji təsirlərin güclənməsinə səbəb olur.

İnformasiya axınlarının qeyri-effektiv idarə olunması da ciddi problemlərdən biridir. Logistika prosesində iştirak edən tərəflər – daşıyıcılar, anbar operatorları, gömrük orqanları və digər qurumlar arasında məlumat mübadiləsi kifayət qədər sürətli və koordinasiyalı şəkildə həyata keçirilmir. Bu isə qərar qəbuletmə prosesini ləngidir və əməliyyat risklərini artırır.

Bundan əlavə, logistika proseslərində rəqəmsallaşma səviyyəsinin aşağı olması insan faktorundan asılılığı artırır. Əl ilə idarəetmə sistemləri səhvlərin sayını artırır və proseslərin şəffaflığını azaldır. Bu isə həm vaxt itkisinə, həm də əlavə xərclərə səbəb olur.

CƏDVƏL 1. ORTA DƏHLIZDƏ LOGISTIKA PROBLEMLƏRININ GENIŞLƏNDIRILMIŞ TƏHLILI

Problem	**Səbəblər**	**Təsir sahəsi**	**Nəticə**
Gömrük gecikmələri	Rəqəmsallaşmanın zəifliyi, sənədləşmə	Sərhəd keçidləri	Vaxt itkisi
Marşrut qeyri-optimal	Real vaxt məlumatın olmaması	Nəqliyyat	Xərclərin artması
İnformasiya çatışmazlığı	Sistem inteqrasiyası yoxdur	Bütün zəncir	Koordinasiya zəifliyi
Əl ilə idarəetmə	Avtomatlaşdırma azdır	Operativ proseslər	Səhvlər və gecikmə
İnfrastruktur uyğunsuzluğu	Planlama zəifliyi	Regional daşımalar	Səmərəliliyin azalması



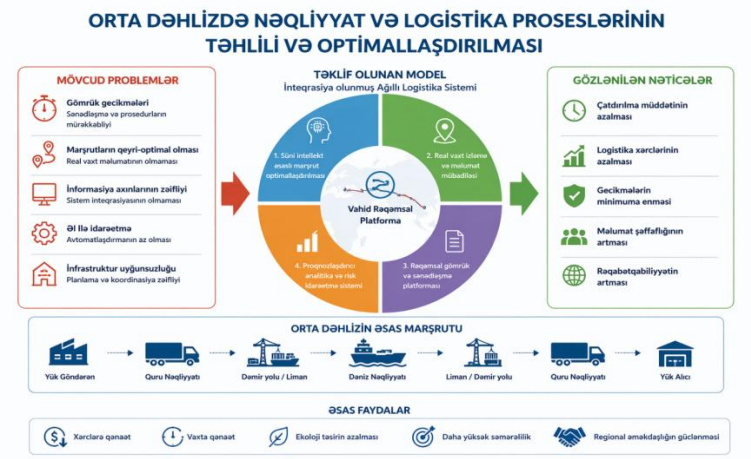
IV. RƏQƏMSAL OPTİMALLAŞDIRMA MODELİ VƏ TƏKMİLLƏŞDİRMƏ YANAŞMASI

Orta Dəhlizdə nəqliyyat və logistika proseslərinin təhlili göstərir ki, mövcud problemlərin əsas səbəbi sistemin kifayət qədər inteqrasiya olunmaması və rəqəmsallaşma səviyyəsinin aşağı olmasıdır. Bu problemlərin aradan qaldırılması üçün bu tədqiqat çərçivəsində "İnteqrasiya olunmuş Ağıllı Logistika Sistemi" (İALS) adlı konseptual model təklif olunur.

Təklif olunan model logistika proseslərinin bütün mərhələlərini vahid rəqəmsal platforma üzərindən idarə etməyə imkan verir və müxtəlif iştirakçılar arasında real vaxt rejimində məlumat mübadiləsini təmin edir. Modelin əsas məqsədi logistika əməliyyatlarının optimallaşdırılması, xərclərin azaldılması və xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsidir.

Model dörd əsas komponent üzərində qurulmuşdur:

1. Süni intellekt əsaslı marşrut optimallaşdırılması
Bu komponent nəqliyyat vasitələrinin hərəkətinin daha effektiv planlaşdırılmasını təmin edir. Süni intellekt alqoritmləri vasitəsilə yol sıxlığı, hava şəraiti, məsafə və yanacaq sərfiyyatı kimi amillər analiz olunur və ən optimal marşrut müəyyən edilir. Bu yanaşma nəqliyyat xərclərinin azalmasına və çatdırılma müddətinin qısalmasına imkan yaradır.
2. Real vaxt izləmə və məlumat mübadiləsi sistemi
GPS və IoT texnologiyalarına əsaslanan bu sistem vasitəsilə yüklərin hərəkəti fasiləsiz şəkildə izlənilir. Əldə olunan məlumatlar logistika zəncirində iştirak edən bütün tərəflərlə paylaşılır. Bu isə şəffaflığı artırır, gecikmələrin qarşısını alır və operativ qərarların qəbuluna şərait yaradır.



3. Rəqəmsal gömrük və sənədləşmə platforması
Gömrük prosedurlarının elektronlaşdırılması logistika proseslərinin sürətləndirilməsində mühüm rol oynayır. Bu komponent vasitəsilə bütün sənədləşmə prosesi rəqəmsal mühitdə həyata keçirilir, kağız sənədlərə ehtiyac azalır və sərhəd keçidlərində vaxt itkisi minimuma endirilir.
4. Proqnozlaşdırıcı analitika və risk idarəetmə sistemi
Bu sistem böyük verilənlərin analizi əsasında mümkün gecikmələri və riskləri əvvəlcədən müəyyən edir. Alternativ marşrutlar və həll yolları avtomatik şəkildə təklif olunur. Bu isə logistika proseslərinin dayanıqlığını və sabitliyini artırır.
Modelin tətbiq mexanizmi
Təklif olunan modelin tətbiqi mərhələli şəkildə həyata keçirilə bilər. İlk mərhələdə mövcud logistika infrastrukturu qiymətləndirilir və rəqəmsallaşdırma üçün prioritet sahələr müəyyən olunur. Daha sonra vahid informasiya platforması yaradılır və bütün iştirakçılar bu sistemə inteqrasiya olunur. Son mərhələdə isə süni intellekt və analitik alətlər tətbiq edilərək sistemin effektivliyi artırılır.
CƏDVƏL 2. TƏKLIF OLUNAN MODELIN EFFEKTIVLIK GÖSTƏRICILƏRINƏ TƏSIRI

Göstərici	**Mövcud vəziyyət**	**Model tətbiqindən sonra**	**Dəyişiklik**
Çatdırılma müddəti	Uzun	Qısaldılmış	15–25% azalma
Logistika xərcləri	Yüksək	Azaldılmış	10–20% azalma
Gecikmələr	Tez-tez	Nadir hallarda	Əhəmiyyətli azalma
Məlumat əlçatanlığı	Məhdud	Real vaxt	Tam şəffaflıq
Qərar qəbuletmə	Ləng	Operativ	Effektivlik artımı

Tədqiqatın elmi yeniliyi
Bu tədqiqatın əsas yeniliyi Orta Dəhliz kontekstində logistika proseslərinin optimallaşdırılması üçün inteqrasiya olunmuş rəqəmsal modelin təklif edilməsidir. Mövcud tədqiqatlardan fərqli olaraq, bu yanaşma

logistika zəncirinin bütün elementlərini vahid sistem çərçivəsində birləşdirir və süni intellekt əsaslı qərar qəbuletmə mexanizmlərini özündə ehtiva edir.

Eyni zamanda, model Azərbaycanın tranzit potensialının artırılması baxımından praktik tətbiq imkanlarını da nəzərə alır. Bu isə tədqiqatın yalnız nəzəri deyil, həm də tətbiqi əhəmiyyətə malik olduğunu göstərir.

V. NƏTİCƏ

Tədqiqat göstərir ki, Orta Dəhlizdə səmərəliliyi məhdudlaşdıran əsas amillər informasiya axınlarının zəif idarə olunması və rəqəmsallaşma səviyyəsinin aşağı olmasıdır. Təklif olunan "İnteqrasiya olunmuş Ağıllı Logistika Sistemi" modeli süni intellekt vasitəsilə logistik əməliyyatların optimallaşdırılmasına və xərclərin minimuma endirilməsinə xidmət edir.Yekun olaraq, rəqəmsal transformasiya Azərbaycanın regional logistika zəncirində həlledici strateji oyunçuya çevrilməsini təmin edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Rodrigue J. P. (2021). *The Geography of Transport Systems*. Routledge.
2. Christopher M. (2016). *Logistics and Supply Chain Management*. Pearson.
3. World Bank (2023). *Logistics Performance Index Report*.
4. OECD (2022). *Global Transport Outlook*.
5. UNCTAD (2023). *Review of Maritime Transport*.
6. International Transport Forum (2021). *Transport Digitalisation Report*.
7. Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi (2023). Nəqliyyat statistikası.
8. Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı (2023). İllik hesabat.
9. Əliyev R., Məmmədov T. (2022). Azərbaycanda logistika sisteminin inkişafı.
10. European Commission (2022). *Digital Transport and Logistics Forum Report*.

LPI ƏSASINDA AZƏRBAYCANDA LOGİSTİK SƏMƏRƏLİLİYİN VƏ DAVAMLI RƏQABƏT QABİLİYYƏTLİLİYİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Nicat Kərimov
Bakı Mühəndislik Universitet
Logistika və Nəqliyyat
Xırdalan, Azərbaycan
nkarimov@beu.edu.az

Zamir Novruzov
Bakı Mühəndislik Universitet
Logistika və Nəqliyyat
Xırdalan, Azərbaycan
znovruzov@beu.edu.az

Xülasə. Məqalədə Logistika Səmərəliliyi İndeksi (LPI) əsasında Azərbaycanın logistika səmərəliliyi və davamlı rəqabətqabiliyyətliliyi təhlil olunur. Tədqiqatda Dünya Bankı tərəfindən hazırlanmış LPI metodologiyası tətbiq edilərək logistika sisteminin əsas komponentləri – infrastrukturun keyfiyyəti, gömrük prosedurlarının effektivliyi, çatdırılma etibarlılığı, müddətlərə riayət, logistika xidmətlərinin səviyyəsi və ümumi logistika mühiti qiymətləndirilmişdir.
Araşdırma göstərir ki, Azərbaycan əlverişli coğrafi mövqeyi və beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərində yerləşməsi sayəsində yüksək tranzit potensialına malikdir və son illərdə logistika infrastrukturunun inkişafı istiqamətində müsbət irəliləyişlər əldə olunmuşdur. Bununla yanaşı, bəzi sahələrdə – xüsusilə gömrük prosedurlarının optimallaşdırılması, infrastrukturun tam modernləşdirilməsi və insan kapitalının inkişafı istiqamətində təkmilləşdirmələrə ehtiyac olduğu müəyyən edilmişdir.
Açar sözlər: *logistika səmərəliliyi, LPI, rəqabətqabiliyyətlilik, nəqliyyat infrastrukturu, gömrük prosedurları, təchizat zənciri, Azərbaycan, tranzit potensialı, rəqəmsallaşma, beynəlxalq ticarət.*

I. GİRİŞ

Qloballaşmanın dərinləşməsi və dünya ticarətinin liberallaşması şəraitində logistika milli iqtisadiyyatın əsas elementinə və dövlətlərin davamlı rəqabətqabiliyyətinin formalaşmasında mühüm amilə çevrilir. Səmərəli logistika sistemləri maddi, informasiya və maliyyə axınlarının fasiləsiz hərəkətini təmin edərək tranzaksiya xərclərini azaldır, əmtəə dövriyyəsini sürətləndirir və ölkələrin qlobal dəyər zəncirlərinə inteqrasiyasına şərait yaradır.
Nəqliyyat-logistika infrastrukturunun inkişafı, təchizat zəncirlərinin idarə olunmasında müasir texnologiyaların tətbiqi və institusional mühitin keyfiyyətinin artırılması ölkələrin investisiya cəlbediciliyinə, xarici iqtisadi fəallığına və qlobal iqtisadi dəyişikliklərə uyğunlaşma qabiliyyətinə birbaşa təsir göstərir [1, 5]. Bu kontekstdə logistika səmərəliliyi yalnız sahə göstəricisi deyil, eyni zamanda davamlı inkişafın makroiqtisadi indikatoru kimi çıxış edir.
Azərbaycan üçün LPI göstəricilərinin təhlili ölkənin Şərq–Qərb və Şimal–Cənub nəqliyyat dəhlizlərinin kəsişməsində yerləşməsi baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Tranzit potensialının inkişafı və infrastruktur layihələrinin həyata keçirilməsi ölkənin regional logistika qovşağı kimi rolunu gücləndirir. LPI-dən istifadə isə logistika sisteminin mövcud rəqabət qabiliyyətini qiymətləndirməyə və onun gələcək inkişaf istiqamətlərini müəyyən etməyə imkan verir [4–7].

Ədəbiyyat icmalı. Logistika səmərəliliyi və onun ölkələrin rəqabətqabiliyyətinə təsiri müasir iqtisadi ədəbiyyatda geniş araşdırılan mövzulardan biridir. Xüsusilə Logistika Səmərəliliyi İndeksi (LPI) çərçivəsində aparılan tədqiqatlar göstərir ki, logistika sistemlərinin inkişaf səviyyəsi ölkələrin qlobal ticarətdə iştirak imkanlarını və iqtisadi artım potensialını birbaşa müəyyən edir. Dünya Bankı tərəfindən hazırlanmış LPI metodologiyası logistika fəaliyyətinin çoxölçülü qiymətləndirilməsinə imkan verir və ölkələr arasında müqayisəli təhlil üçün etibarlı alət hesab olunur [1].

Bir sıra tədqiqatlarda vurğulanır ki, inkişaf etmiş logistika infrastrukturu və effektiv gömrük idarəçiliyi xarici ticarətin genişlənməsində əsas rol oynayır. Organisation for Economic Co-operation and Development tərəfindən aparılan araşdırmalar göstərir ki, ticarətin asanlaşdırılması tədbirləri, xüsusilə gömrük prosedurlarının sadələşdirilməsi və rəqəmsallaşdırılması logistika xərclərinin azalmasına və daşımaların sürətlənməsinə səbəb olur [2]**.**

Eyni zamanda, United Nations Conference on Trade and Development tərəfindən dərc edilən hesabatlarda qeyd olunur ki, nəqliyyat infrastrukturu ilə yanaşı "yumşaq infrastruktur" – institusional keyfiyyət, hüquqi mühit və insan kapitalı logistika sistemlərinin effektivliyində həlledici rol oynayır **[3]**. Bu yanaşma logistikanın yalnız fiziki aktivlərdən ibarət olmadığını, həm də idarəetmə və koordinasiya mexanizmlərinin vacibliyini ön plana çıxarır.

Müasir elmi ədəbiyyatda rəqəmsallaşmanın logistika sistemlərinə təsiri də xüsusi diqqət mərkəzindədir. Elektron məlumat mübadiləsi, real vaxt rejimində izləmə sistemləri və avtomatlaşdırılmış idarəetmə platformaları təchizat zəncirlərində şəffaflığı artırır və riskləri azaldır. Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi LPI göstəricilərinin, xüsusilə "izləmə və monitorinq" və "çatdırılma müddətlərinə riayət" komponentlərinin yaxşılaşmasına səbəb olur [2, 3]**.**

Azərbaycan kontekstində aparılan araşdırmalar ölkənin tranzit potensialına xüsusi diqqət yetirir. Şərq–Qərb və Şimal–Cənub nəqliyyat dəhlizlərində yerləşməsi ölkəyə regional logistika mərkəzinə çevrilmək imkanı yaradır. Yerli tədqiqatçılar qeyd edirlər ki, son illərdə həyata keçirilən infrastruktur layihələri, limanların inkişafı və gömrük sahəsində islahatlar logistika sisteminin səmərəliliyinin artmasına müsbət təsir göstərmişdir **[4–7]**. Bununla belə, bəzi işlərdə vurğulanır ki, institusional islahatların davam etdirilməsi, kadr hazırlığının gücləndirilməsi və rəqəmsallaşmanın dərinləşdirilməsi bu sahədə daha böyük irəliləyişlərə şərait yarada bilər **[4–7]**.

Beləliklə, ədəbiyyat icmalı göstərir ki, logistika səmərəliliyi çoxşaxəli anlayışdır və onun formalaşmasında həm fiziki infrastruktur, həm institusional mühit, həm də texnoloji inkişaf səviyyəsi mühüm rol oynayır. Mövcud elmi yanaşmalar Azərbaycanın logistika sisteminin qiymətləndirilməsi və inkişaf istiqamətlərinin müəyyən edilməsi üçün nəzəri və metodoloji baza yaradır.

II. ANALİZ VƏ METOD

Bu tədqiqatda Azərbaycanın logistika səmərəliliyinin və davamlı rəqabətqabiliyyətinin qiymətləndirilməsi üçün Logistika Səmərəliliyi İndeksi (Logistics Performance Index – LPI) istifadə olunur. Dünya Bankı tərəfindən hazırlanmış bu indeks milli logistika sisteminin vəziyyətini sistemli şəkildə qiymətləndirməyə, onun güclü və zəif tərəflərini müəyyən etməyə, həmçinin nəqliyyat-logistika infrastrukturunun və təchizat zəncirinin idarə olunması proseslərinin təkmilləşdirilməsi üçün strateji tövsiyələr formalaşdırmağa imkan verir [1, 2].

2023-cü il LPI məlumatlarına əsasən, indeks logistika sisteminin fəaliyyətinin mühüm aspektlərini əks etdirən altı əsas komponentdən ibarətdir [1–3]:

1. **İnfrastrukturun keyfiyyəti** – avtomobil və dəmir yollarının, dəniz və çay limanlarının, hava limanlarının, anbar və paylama mərkəzlərinin vəziyyətini qiymətləndirir. Keyfiyyətli infrastruktur çatdırılma müddətinin azalmasını, nəqliyyat xərclərinin aşağı düşməsini və logistika əməliyyatlarının etibarlılığının artmasını təmin edir [3, 4].
2. **Gömrük və sərhəd nəzarətinin effektivliyi** – yüklərin rəsmiləşdirilməsinin sürəti və şəffaflığı, avtomatlaşdırılmış sistemlərin və rəqəmsal sənəd dövriyyəsinin mövcudluğunu əhatə edir. Effektiv gömrük sistemi tranzit gecikmələrini azaldır və ölkənin tranzit hab kimi cəlbediciliyini artırır [2, 5].
3. **Təchizatların etibarlılığı** – təchizatçıların sifarişləri dəqiq və vaxtında yerinə yetirmə qabiliyyətini göstərir. Yüksək etibarlılıq təchizat zəncirlərində fasilə risklərini azaldır və şirkətlərə daha az qeyri-müəyyənliklə planlama aparmağa imkan verir [3].

4. **Çatdırılma müddətlərinə riayət olunması** – daşımaların vaxtında həyata keçirilməsi və müqavilə öhdəliklərinə əməl olunması kimi logistika əməliyyatlarının dəqiqliyini ölçür. Bu göstərici müştəri məmnuniyyətinə və logistika sisteminə olan etimada birbaşa təsir edir [1, 3].
5. **Logistika xidmətlərinin kompetentliyi** – logistika operatorlarının, ekspeditor və nəqliyyat şirkətlərinin fəaliyyət keyfiyyəti, kadrların peşə hazırlığı və müasir idarəetmə texnologiyalarının mövcudluğu ilə bağlıdır [2, 6].
6. **Logistika mühitinin ümumi keyfiyyət göstəriciləri** – yuxarıda qeyd olunan bütün amillərin inteqrasiyası və onların daşımaların dəyərinə, sürətinə və proqnozlaşdırıla bilməsinə təsirini əks etdirir [1, 3, 6].

Hipotezlərin işlənməsi. Nəqliyyat logistikası sahəsində aparılmış elmi tədqiqatların, empirik araşdırmaların və Azərbaycanın logistika sektorunun strateji inkişaf kontekstinin kompleks təhlili əsasında aşağıdakı tədqiqat hipotezləri formalaşdırılmışdır. Bu hipotezlər ölkənin Logistika Səmərəliliyi İndeksinin (LPI) səviyyəsini müəyyən edən əsas amillərin aşkar edilməsinə yönəlmişdir və milli logistika sisteminin fəaliyyətinə institusional, infrastruktur və texnoloji parametrlərin təsirini təhlil etməyə imkan verir.

H1: Gömrük inzibatçılığının effektivliyi (TFI1) yüklərin daşınma sürətinə (SWD) statistik cəhətdən əhəmiyyətli mənfi təsir göstərir.

Əsaslandırma. Beynəlxalq tədqiqatlar göstərir ki, həddindən artıq tənzimləmə yükü, aşağı avtomatlaşdırma səviyyəsi və gömrük prosedurlarının qeyri-şəffaflığı yüklərin rəsmiləşdirilməsi müddətini artırır və təchizat zəncirlərində "dar boğazlar" yaradır. Tranzit iqtisadiyyat şəraitində sərhəd gecikmələri daşınma sürətini azaldır, logistika xərclərini artırır və təchizatların etibarlılığına mənfi təsir göstərir.

H2: Logistika proseslərinin rəqəmsallaşdırılması ilə bağlı LPI komponentləri (yüklərin izlənməsi və monitorinqi) ümumi LPI göstəricisinə statistik cəhətdən əhəmiyyətli müsbət təsir göstərir.

Əsaslandırma. Elektron izləmə sistemləri, avtomatlaşdırılmış məlumat mübadiləsi və real vaxt rejimində monitorinq logistika əməliyyatlarının şəffaflığını artırır və informasiya assimmetriyasını azaldır. Bu isə çatdırılmanın proqnozlaşdırıla bilməsini yüksəldir, əməliyyat risklərini azaldır və milli logistika sisteminə etibarı gücləndirir.

H3: Gömrük inzibatçılığının effektivliyi artırılmadıqda, nəqliyyat infrastrukturunun keyfiyyəti LPI ilə ölçülən ümumi logistika səmərəliliyinə statistik cəhətdən əhəmiyyətli təsir göstərmir.

Əsaslandırma. Sistem yanaşmasına görə, infrastrukturun effektivliyi yalnız uyğun institusional və tənzimləyici mühit olduqda reallaşır. Yüksək səviyyəli yollar və limanlar olsa belə, qeyri-effektiv gömrük prosedurları onların üstünlüklərini neytrallaşdıra bilər.

H4: Azərbaycanda LPI göstəricisinin dəyişkənliyi fiziki nəqliyyat infrastrukturundan daha çox "yumşaq infrastruktur" göstəriciləri ilə izah olunur.

Əsaslandırma. "Yumşaq infrastruktur" anlayışına institusional imkanlar, normativ-hüquqi bazanın keyfiyyəti, kadr hazırlığı, logistika proseslərinin rəqəmsallaşdırılması və dövlət qurumları arasında koordinasiya daxildir. Müasir tədqiqatlar göstərir ki, məhz bu amillər logistika sistemlərinin dayanıqlığını və adaptasiya qabiliyyətini formalaşdırır.

Beləliklə, irəli sürülmüş hipotezlər Azərbaycanın logistika səmərəliliyinin müəyyən edilməsində "sərt" (fiziki) və "yumşaq" (institusional və texnoloji) infrastruktur, gömrük inzibatçılığı və rəqəmsallaşma səviyyəsi arasında qarşılıqlı əlaqələrin kompleks təhlili üçün analitik baza yaradır. Bu hipotezlərin yoxlanılması LPI göstəricisinin əsas determinantlarını müəyyən etməyə və nəqliyyat-logistika siyasətinin prioritet istiqamətlərini əsaslandırmağa imkan verir.

III. NƏTİCƏ

LPI indeksi əsasında Azərbaycanın logistika səmərəliliyi və davamlı rəqabətqabiliyyətinin aparılmış təhlili göstərir ki, ölkə Avropa və Asiyanı birləşdirən nəqliyyat dəhlizlərinin kəsişməsində yerləşməsi sayəsində əhəmiyyətli potensiala malikdir. Azərbaycan nəqliyyat infrastrukturunun inkişafı, limanların modernləşdirilməsi, gömrük sahəsində elektron sənəd dövriyyəsinin tətbiqi və logistika xidmətlərinin keyfiyyətinin artırılması istiqamətində müsbət dinamika nümayiş etdirir.

Bununla yanaşı, LPI komponentlərinin təhlili müəyyən zəif tərəfləri də üzə çıxarmışdır. Bunlara modernləşdirilməyə ehtiyac duyan nəqliyyat infrastrukturu sahələri, yüklərin rəsmiləşdirilməsi zamanı mövcud olan bürokratik maneələr, təchizatların etibarlılığının orta səviyyədə olması və logistika sahəsində

mütəxəssislərin peşə kompetensiyasının daha da artırılmasının zəruriliyi daxildir. Regionun qonşu ölkələri ilə müqayisəli təhlil göstərir ki, mövcud rəqabət üstünlüklərinə baxmayaraq, Azərbaycan bəzi göstəricilər, xüsusilə infrastruktur və gömrük prosedurları üzrə müəyyən ölkələrdən geri qalır.

ƏDƏBİYYAT

1. **World Bank. (2023).** *Connecting to compete 2023: Trade logistics in the global economy – The Logistics Performance Index (LPI) and its indicators.* World Bank. https://lpi.worldbank.org/
2. **World Bank. (2014).** *International LPI scorecard: Azerbaijan. Logistics Performance Index database.* https://lpi.worldbank.org/index.php/international/scorecard/line/C/AZE/ 2014?utm_source
3. **TRACECA / LOGMOS Project. (2012).** *Logistics Processes and Motorways of the Sea II: Master Plan – Azerbaijan country report.* TRACECA. https://traceca-org.org/fileadmin/fm-dam/TAREP/65ta/Master_Plan/MPA9.1AZ.pdf?utm_source
4. **Asian Development Bank. (2007).** *West trade route between Asia and Europe, and the North–South Bridge Corridor: Azerbaijan country report – Logistics Performance Index and corridor efficiency.* Manila: ADB. https://www.carecprogram.org/ uploads/CS9-AZE-Executive-Summary.pdf?utm_source
5. **Ministry of Economy of the Republic of Azerbaijan / Economic Reforms Analysis and Communication Center. (2017).** *Azerbaijan Economic Reforms Review: Strategic roadmap for the development of logistics and trade.* Baku. https://ereforms.gov.az/ files/review/pdf/en/9cdc6644525360c8e1ae1da462b12d6f.pdf?utm_source
6. **CAREC Program. (2023).** *Corridor Performance Measurement and Monitoring (CPMM): Azerbaijan country brief 2022.* Asian Development Bank. https://cpmm.carecprogram.org/2022-report/azerbaijan/?utm_source
7. **Azerbaijan Ministry of Digital Development and Transport. (2025).** *Azerbaijan's Vision for International Connectivity.* Baku. https://transit.gov.az/storage/Transport-Connectivity-Brochure-15092025.pdf?utm_source

WAREHOUSE AUTOMATION AND WMS SYSTEMS: THE DIGITAL TRANSFORMATION OF INVENTORY MANAGEMENT FOR SMES

Ali Paniyev
Baku Engineering University,
Engineering faculty
Baku,Azerbaijan
epeniyev@std.beu.edu.az

Abstract: In the era of Industry 4.0, logistics and supply chain management have shifted from being back-office functions to primary drivers of competitive advantage. For Small and Medium-sized Enterprises (SMEs), the transition from manual inventory tracking to automated systems is no longer a luxury but a necessity for survival. This paper explores the integration of Warehouse Management Systems (WMS) and automation technologies within the SME framework, analyzing how digital transformation mitigates human error, optimizes space utilization, and enhances real-time data accuracy.

Keywords: Warehouse Management Systems (WMS), SME Digital Transformation, Industry 4.0, Inventory Optimization, Automation, Logistics 4.0, Supply Chain Efficiency.

1. Introduction

The global marketplace demands unprecedented speed and precision. As e-commerce continues to dominate, the pressure on warehouses to fulfill orders faster and more accurately has intensified. While large corporations have historically utilized robotics and advanced software, SMEs have often remained reliant on legacy systems or manual spreadsheets [1].

Digital transformation in inventory management involves the adoption of **Warehouse Management Systems (WMS)**—software applications designed to support and optimize warehouse functionality and distribution center management. This article examines the barriers SMEs face and the long-term ROI (Return on Investment) of automating core warehouse processes.

Description of the Problem

Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) represent a critical segment of the global economy, yet they frequently operate under extreme "visibility vacuums" that threaten their financial stability. Unlike large corporations that possess the capital to absorb logistical inefficiencies, an SME's profitability is often hypersensitive to inventory accuracy. The reliance on legacy manual systems or fragmented spreadsheets creates a **systemic information lag**—typically between 24 and 48 hours—which manifests in three catastrophic failure points:

Phantom Stock and Customer Attrition

Phantom stock occurs when digital records indicate an item is available for sale, yet the physical warehouse shelf is empty. This discrepancy is often the result of unrecorded damages, administrative entry errors, or internal shrinkage [6]. In the modern omnichannel environment, this leads to "stock-out" cancellations. For an SME, the cost of phantom stock extends beyond the immediate lost sale; it triggers long-term customer attrition and damages the brand's reputation on competitive digital marketplaces where fulfillment ratings determine visibility.

Dead Stock and Capital Stagnation

Manual systems often fail to provide the velocity analytics required to distinguish between high-demand assets and stagnant inventory. Consequently, SMEs frequently find their limited working capital "frozen" in **Dead Stock**—items that have reached the end of their product lifecycle or for which there is no current market demand [8]. This creates a double-edged financial crisis: liquid cash is tied up in non-performing assets, while valuable warehouse square footage is occupied, preventing the storage of higher-margin, faster-moving goods.

Operational Silos and Synchronicity Gaps

Without a centralized Warehouse Management System (WMS), departments within an SME act on asymmetric information, creating "Operational Silos." The sales team may continue to take orders for items that have reached a critical low, while the procurement department may over-order stock that is already sitting in a secondary bin [5]. This lack of synchronization forces the organization into a "reactive" rather than "proactive" state, where decision-making is fragmented, inconsistent, and ultimately driven by outdated paperwork rather than real-time operational truth.

TABLE 1 SUMMARY OF THE MANUAL VS. DIGITAL GAP

Issue	Impact of Manual Lag	WMS Solution
Inventory Accuracy	High error rate (5-10%)	Near-perfect (99.9%)
Capital Allocation	Locked in stagnant goods	Optimized for high velocity
Fulfillment	Delayed by paper processing	Instantaneous digital dispatch

1. Inventory Accuracy

- **Manual Impact (High error rate 5-10%):** In manual systems, humans must write down SKU numbers and quantities by hand. This leads to transcription errors, lost paperwork, and "inventory drift," where the records in the office no longer match the reality on the shelves.
- **WMS Solution (Near-perfect 99.9%):** Digital systems use barcode scanning or RFID tags. Because the software validates every scan against the database in real-time, it is virtually impossible to log the wrong item. This ensures the "System of Record" is always 100% accurate.

2. Capital Allocation

- **Manual Impact (Locked in stagnant goods):** Without real-time data, business owners cannot easily see which items are "dead stock" (not selling). As a result, cash remains "frozen" in slow-moving inventory while high-demand items might run out.
- **WMS Solution (Optimized for high velocity):** A WMS provides "velocity analytics." It automatically identifies which items sell fastest and suggests reorder points. This allows the business to keep less total stock on hand while actually increasing their sales capacity (High Velocity).

3. Fulfillment

- **Manual Impact (Delayed by paper processing):** When a customer places an order, the manual process requires someone to print a "pick list," walk it to the warehouse, and physically find the item. This can add hours or days of unnecessary delay to the shipping time.
- **WMS Solution (Instantaneous digital dispatch):** The moment an order is placed online, it is digitally routed to a warehouse worker's handheld device or tablet. The system provides the exact GPS-like location and the shortest walking path to the item, allowing for same-day or next-day dispatch.

Methodology

This research utilizes a **triangulated qualitative and analytical framework** designed to evaluate the multi-dimensional impact of Warehouse Management Systems (WMS) on SME operational agility [4]. The methodology is structured into three progressive phases to ensure both theoretical depth and practical relevance:

- **Phase I: Comparative Literature & Framework Evolution:** This phase involves a systematic analysis of the transition from **Logistics 3.0** (manual, standardized processes) to **Logistics 4.0** (interconnected, data-driven ecosystems). We evaluate peer-reviewed frameworks to identify the specific Key Performance Indicators (KPIs) most sensitive to digital intervention, primarily focusing on **Order Lead Time (OLT)** and **Inventory Turnover Ratio (ITR)** [1].
- **Phase II: Empirical Case Study Analysis:** To bridge the gap between theory and practice, this study analyzes implementation patterns of mid-market, "SME-ready" WMS solutions such as **Odoo, Fishbowl, and NetSuite**. By examining real-world deployments in manufacturing and retail, we identify the "adoption curve"—the period between software installation and the realization of a positive Return on Investment (ROI) [7].
- **Phase III: Technical Framework Evaluation:** The final phase investigates the **Integration Layer**—the critical physical-to-digital bridge. We evaluate the efficacy of Auto-ID Data Capture (AIDC) technologies, specifically analyzing the cost-to-benefit ratio of **Barcode vs. RFID** within the resource-constrained environment of an SME [2].

The Core of Digital Transformation: WMS Functions

A modern WMS acts as the **"central nervous system"** of the warehouse, orchestrating the flow of goods and information simultaneously [6]. For an SME, three critical functions drive the digital shift:

Real-Time Inventory Tracking and Traceability

Beyond simple counting, a WMS provides **Granular Visibility**. By utilizing handheld scanners and cloud-syncing, every transaction is timestamped and attributed to a specific user. This eliminates "ghost inventory" and enables strict **Lot and Serial Tracking**, which is essential for SMEs in regulated industries like food or medical supplies [2].

Intelligent Labor Management

Labor is typically the highest variable cost in a warehouse. A WMS optimizes this by implementing **"Directed Work."** Instead of workers choosing their own routes, the system calculates the most efficient picking

sequence based on historical data and current congestion, significantly reducing "travel time"—the non-value-added walking that accounts for up to 50% of a picker's day [7].

Algorithmic Space Optimization

SMEs often outgrow their physical space before they outgrow their business. A WMS solves this through **ABC Analysis (Velocity-Based Placement)**. High-velocity items (Category A) are automatically assigned to "golden zone" bins near shipping docks, while slow-moving items (Category C) are relegated to higher or more distant racks, maximizing every square foot of the facility [6].

Automation Technologies and Mathematical Optimization

The true value of digital transformation is the shift from **reactive to predictive management**. By feeding real-time warehouse data into mathematical models, a WMS enables SMEs to achieve "Inventory Zen"—having exactly enough stock to meet demand without over-investing.

The cornerstone of this optimization is the **Economic Order Quantity (EOQ)** model. While manual calculation of EOQ is tedious and error-prone, a WMS automates this calculation in real-time to minimize the total cost of inventory [8]:

$$Q=\sqrt{\frac{2DK}{H}}$$

Where:

- Q= Optimal order quantity
- D = Annual demand quantity (derived from WMS historical sales data)
- K = Fixed cost per order (administrative and shipping costs)
- h = Annual holding cost per unit (storage, insurance, and opportunity cost)

By automating this formula, the system generates **Automatic Reorder Points (ROP)**, ensuring that as soon as a scan drops stock below a certain level, a purchase order is drafted. This removes human bias from the procurement process and protects the SME's cash flow [8].

Challenges and Strategic Solutions

While the advantages of WMS integration are well-documented, SMEs face unique structural barriers that can impede digital adoption. Addressing these challenges requires a shift from traditional "ownership" models to "utilization" models [5].

Financial Barriers and the SaaS Pivot

Historically, the primary hurdle for SMEs was the prohibitive **Total Cost of Ownership (TCO)** associated with on-premise servers, perpetual licensing fees, and specialized IT maintenance.

- **Strategic Solution:** The emergence of **Software-as-a-Service (SaaS)** models has democratized access to high-tier logistics tools. By moving to a cloud-based subscription model, SMEs convert what was once a massive Capital Expenditure (CapEx) into a predictable, scalable Operating Expenditure (OpEx). This allows firms to "pay as they grow," significantly lowering the barrier to entry [7].

The Technical Expertise Gap

SMEs rarely possess in-house departments capable of managing complex system integrations or API configurations. This "Expertise Gap" often leads to failed implementations or under-utilized software features.

- **Strategic Solution:** Successful firms are increasingly opting for **"Turnkey" Solutions** provided by specialized vendors. These partnerships include guided data migration, staff training programs, and ongoing technical support. By outsourcing the technical complexity, SME leadership can remain focused on their core business competencies while leveraging the vendor's specialized logistics knowledge [5].

Cultural Resistance and Change Management

Digital transformation is as much a psychological challenge as a technical one. Workers accustomed to manual "tribal knowledge" may view automation as a threat to their autonomy or job security.

- **Strategic Solution:** Implementation must follow a **Phased Rollout Strategy**. Rather than an overnight "Big Bang" transition, SMEs should introduce scanning technologies in stages—starting with receiving, then moving to picking—to build workforce confidence and demonstrate immediate "quick wins" in efficiency [7].

Conclusion

The digital transformation of inventory management is not a singular event, but a continuous journey toward operational excellence. For Small and Medium-sized Enterprises, the integration of a Warehouse Management System represents the bridge between local survival and global competitiveness [1].

The transition from "reactive" manual logs to "predictive" digital ecosystems allows SMEs to eliminate the chronic issues of phantom stock, stagnant capital, and operational silos that have historically limited their growth. By leveraging mathematical optimizations like EOQ and real-time visibility, these firms can achieve a level of precision previously reserved for multi-national corporations.

As the global supply chain becomes increasingly volatile, the ability to remain agile and data-informed is the only sustainable competitive advantage. Investing in WMS technology today is not merely an operational upgrade; it is a foundational requirement for ensuring that SMEs remain resilient, scalable, and prepared for the future of international trade [4].

REFERENCES

1. **Bowersox, D. J., & Closs, D. J. (2024).** Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process. McGraw-Hill Education.
2. **Christopher, M. (2025).** Logistics & Supply Chain Management. Pearson UK.
3. **Frazelle, E. (2023).** World-Class Warehousing and Material Handling. McGraw-Hill.
4. **Gunasekaran, A., & Ngai, E. W. (2024).** "Information systems in supply chain management and logistics." International Journal of Production Economics.
5. **Lambert, D. M. (2024).** Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance. Supply Chain Management Inst.
6. **Richards, G. (2023).** Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse. Kogan Page.
7. **Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2025).** The Handbook of Logistics and Distribution Management. Kogan Page Publishers.
8. **Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2024).** Inventory and Production Management in Supply Chains. CRC Press.

THE ROLE OF THE PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP MODEL IN AGRICULTURAL SUPPLY CHAIN DEVELOPMENT: SUCCESS FACTORS AND CHALLENGES

Ali Gojayev
Department: Logistics and Transport
Baku Engineering University
aqocayev@beu.edu.az

Abstract: The article analyzes the role of the Public-Private Partnership (PPP) model in the development of agricultural supply chains from a regional perspective – Azerbaijan, Turkey, Russia, Kazakhstan, Georgia and Iran – and examines the challenges faced by this model in terms of success factors. The central problem of the study is that weak PPP mechanisms hinder agricultural infrastructure investments; this problem stems from planning gaps, inadequate regulatory framework, limited financial availability and mistrust between the public and private sectors. Based on a qualitative comparative analysis method, the article assesses six countries in five categories: governance, finance, infrastructure, knowledge and structural problems, and as a result, Georgia stands out for its export-oriented successes (36% increase in blueberry exports), while in other

countries, the lack of coverage of small farmers, low implementation levels and financial constraints are identified as common problems. The article concludes by emphasizing that, when conditions such as a clear legal framework, transparent governance, fair risk sharing, and farmer representation are met, agrarian SOEs have significant transformative potential in modernizing supply chains, reducing post-harvest losses, and expanding market opportunities for smallholder farmers.
***Keywords**: Public-Private Partnership (PPP), agriculture,agricultural supply chain, agricultural infrastructure.*

I. INTRODUCTION

In the modern era, the agricultural sector requires high levels of investment for sustainable development and poverty reduction. However, the limited share of public budgets allocated to agriculture in developing countries makes it difficult to meet this investment need. To address this problem, innovative partnership mechanisms – Public-Private Partnerships (PPPs) – that bring together the public, the private sector and sometimes civil society organizations are increasingly being promoted. Particularly in the context of the development of agricultural supply chains, PPPs act as an important tool for establishing or improving supply, processing, logistics and marketing infrastructure.

Investments in key links of the supply chain – from production to consumer – aim to increase productivity, reduce losses and expand market opportunities for farmers. Studies conducted with the support of international organizations such as the World Bank Group and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) show that, when properly designed, PPPs not only increase the efficiency of public resources, but also allow them to benefit from the innovation and management experience of the private sector. This article analyzes the role of these mechanisms in the development of the agricultural supply chain, their success factors, and existing challenges.

II. LITERATURE REVIEW

International research shows that agricultural Public-Private Partnership (PPP) models cover four main areas: value chain development, innovation and technology transfer, market infrastructure construction, and business services, and, when properly designed, increase the efficiency of public resources [1]. The agricultural PPP practice in Azerbaijan is relatively new and is mainly developing with the support of international organizations such as FAO and the World Bank, but the implementation level of state programs is low compared to planned targets – ranging from only 3.9% in sericulture to 61.4% in cotton, and these shortcomings reflect weaknesses in planning, interagency coordination, monitoring, as well as private sector participation [2]. Azerbaijan's Strategic Roadmap (2016) envisages the development of PPPs for the implementation of complex projects, support for agribusiness, improvement of financing mechanisms, and establishment of agricultural insurance systems [3]. Although the agricultural PPP experience in Turkey began in the 1980s, it was mainly applied in large infrastructure projects (airport, hospital, electricity), and the budget allocated to the agricultural sector was quite low compared to other sectors; however, the Agricultural Law No. 5488 (2006) and new partnerships aim to attract domestic and foreign investments [4]. The main reason for the low level of agrarian PP in Russia is the insufficient awareness of agricultural producers about the benefits of PPP; monitoring of official websites of regional authorities showed insufficient and low relevance of information on PPP [5]. Kazakhstan leads Central Asian countries with USD 2.863 billion in GVC projects, but cash shortages, low access to bank credit, and a lack of qualified personnel are key obstacles; organic production, increasing meat and milk production, and greenhouse farming development have been identified as key areas for promising PPP programs [6]. The WTO mechanism for the development of agricultural technologies in Georgia is successfully operating – USAID’s $28.9 million Agricultural Trade Diversification Program (2024-2025) aims to strengthen trade relations and stimulate private investment in innovative technologies; while Ferrero’s investments in the hazelnut sector through AgriGeorgia have facilitated technology transfer and skills development among smallholder farmers [7]. The Georgian Ministry of Agriculture's "Agricultural Modernization, Market Access and Resilience" (AMMAR) project aims to increase the incomes of smallholder farmers by combining public and private investments to improve climate-resilient production infrastructure [8]. Research conducted in Iran has identified the BOLT model (Build-Operate-Lease-Transfer) as the most optimal BOT model for agro-

processing infrastructure with a weight of 0.908; the study recommends focusing on clear prioritization criteria, creating financial incentives, and increasing training programs to effectively expand PPP frameworks [9]. Infrastructure investment opportunities for the development of agricultural businesses in Iran are divided into two categories based on the PPP approach – public infrastructure (transportation, gas supply, agriculture) and agricultural specialized infrastructure (land, water, services) [10]. The experience of all six countries (Azerbaijan, Turkey, Russia, Kazakhstan, Georgia, Iran) shows that the success of PPPs depends on the state's management capacity, a clear legal framework, adequate risk sharing, and design tailored to specific conditions; common challenges include limited access to finance, coordination problems, insufficient technical support, and incomplete integration of smallholder farmers into PPPs [11].

III. METHODOLOGY

The study is based on a qualitative comparative analysis method. The methodology is structured in the following sequential stages:

Stage 1: Country Selection. Six countries – Azerbaijan, Turkey, Russia, Kazakhstan, Georgia and Iran – were included in the study through purposive sampling. The selection of these countries was guided by three main criteria: (i) geographical proximity and location in the same regional economic space (South Caucasus, Central Asia, Middle East and Eastern Europe); (ii) the agricultural sector has a significant share in the economy and needs to modernize supply chains; (iii) the different levels of implementation of PPP mechanisms – this diversity creates a basis for comparing successful and unsuccessful experiences.

Stage 2: Data collection. For each country, secondary sources were used – public reports of international organizations (FAO, World Bank), analytical materials of regional research centers, articles published in scientific journals and data from national institutions. The main sources of data for Azerbaijan are studies reflecting the structural difficulties of the agrarian sector, ADA University's research on financial and institutional barriers in the PPP, FAO's roadmap for the development of cooperatives and the official opinion of the Chamber of Auditors on the problems of targeting state subsidies. [12],[13],[14],[15]. The data for Turkey are based on sector analyses examining the problem of project abundance and lack of results in the agricultural sector, the 2026 budget framework, and studies on the structural problems of agricultural cooperatives prepared in cooperation with TÜSİAD and FAO [16]. The main sources of data for Russia are scientific studies identifying the low level of use of the agrarian PPP mechanism, the low level of awareness of agricultural producers and the lack of information about PPP on the official websites of regional authorities [17]. Data sources for Kazakhstan include President Tokayev's official statements on the development of agrarian cooperation, the problems of opacity of state support mechanisms and exposure to "shadow" schemes, as well as the Senate roundtable discussions on improving the legal mechanisms of agricultural cooperatives [18], [19], [20]. Data for Georgia are based on research investigating why the agrarian cooperative model has failed; although about 1,500 cooperatives were registered under the law adopted in 2013, only a small number have continued to operate due to lack of resources, limited technical knowledge and poor infrastructure [21]. Data for Iran are based on an analysis of software and hardware barriers faced by the private sector in providing agricultural services; the research results show that the barriers fall mainly into two groups – (i) limited supply, equipment, investment and financial resources; and (ii) planning and organizational barriers.

Stage 3: Systematization of data and comparative analysis. The collected data are systematized in the following six categories and a "problem profile" has been created for each country. These categories are based on international experience and the specific characteristics of the countries studied. The table below presents a comparative analysis of the agricultural PPP practices of the six countries.

TABLE 1 COMPARATIVE ANALYSIS OF AGRARIAN PPP PRACTICES IN REGIONAL COUNTRIES

Category	Azerbaijan	Turkey	Russia	Kazakhstan	Georgia	Iran
Legal basis of the PPP	Newly formed, ADA University study finds 30 million AZN funding threshold is a major obstacle for small projects;	Regulated by the 2006 Agricultural Law (5488); TÜSİAD-FAO study highlights	A federal law on the PPP (2015, 224-FZ) exists, but the level of implementation is very low.	There is legislation on the GST (2015, 416-V); however, according to President	There is no specific law on cooperatives, a law on cooperatives was adopted in 2013; however,	There is no specific law of the WTO; existing research is mainly focused on developing local

	implementation of small-scale PPPs is limited [12].	structural problems in producer organization		Tokayev, the current support model mainly targets overall output growth and does not address structural problems.	the model has not been widely disseminated [21].	models
Application areas	Agroparks, hazelnut value chain, development of cooperatives (total 50 cooperatives) [15].	Seed supply, R&D, irrigation, greenhouse farming	Agro-industrial complex, large agricultural holdings, food industry investment projects	Agricultural cooperation, irrigation, livestock breeding (60-80% of meat and milk production falls on small farms)	Fruit growing (blueberries, hazelnuts), cooperative model (about 1,500 registered, but few active) [21].	Processing, storage, pistachio supply chain, greenhouse farming.
Financial problems	The 30 million AZN financial limit prevents small projects; there are problems in targeting subsidies, and a unified electronic information system is not fully formed [14].	The current transfer budget of the Ministry of Agriculture and Forestry in the 2026 budget is 73.8 billion TL; however, the problem of abundance of projects and scarcity of results continues.	There is a significant gap between planned investment and actual implementation; banks are starting to withdraw from preferential credit programs, which is a problem	As of early 2026, the amount of subsidies not paid by the state to farmers amounted to 341.3 billion tenge; support mechanisms are opaque	High capital costs, limited financial opportunities, low level of financial literacy [21].	Limited financial resources are a major obstacle; delays in foreign exchange allocations and rising energy costs pose challenges
Information and awareness problems	FAO has provided awareness training to over 60 farmers; however, awareness is still low	TÜSİAD-FAO study highlights structural problems in producer organization	Insufficient awareness of agricultural producers about the benefits of the GSP is a major problem; insufficient and low relevance of information about the GSP was found on the official websites of regional authorities	President Tokayev stated that state support mechanisms are opaque and subject to "shadow" schemes; integration of information systems is not complete	Lack of trust among farmers, weak management capacity, limited long-term vision.	Software and hardware barriers are major problems; planning and organizational barriers are widespread
Main challenges	Land fragmentation (small plots prevent farmers from uniting), limited financial resources, complex administrative procedures, weak institutional capacity	An abundance of projects, a scarcity of results; structural problems in the field of producer organization; insufficient results despite budget allocations	Low level of awareness, large gap between planned investment and actual implementation, limited access to credit, poor formation of contractual relations	Non-transparency of state support mechanisms, "shadow" schemes, non-targeting of subsidies, lack of a unified management system (no full chain from feed base to processing,	Lack of resources, limited technical knowledge, poor infrastructure, distrust among farmers, weak management capacity; only a small fraction of the 1,500 registered cooperatives are operational	Limited supply, equipment, investment and financial resources; planning and organizational barriers (56.44% of the total variance); delays in foreign exchange allocations; increased energy

				logistics and sales)		costs
Successful examples / progress	A strategic roadmap for the development of cooperatives has been developed in cooperation with FAO; more than 60 farmers have been trained; a pilot cooperative model is planned to be introduced in the Karabakh region [15].	Within the framework of 23,130 projects implemented by the Ministry of Agriculture and Forestry for the years 2006-2026, 83.9 billion TL were granted and jobs were created for 129,992 people.	-	President Tokayev orders development of new agrarian cooperation law by September 1, 2026; digital accounting of subsidies introduced	By 2017, about 1,500 cooperatives were registered, covering 13,000 farmers; however, sustainability of activities is weak	-
Level of impact on farmers	Medium – new mechanisms are being introduced, but not widely spread; 150-200 thousand small farms are poorly equipped with modern technology.	Medium-high – developed private sector, but there are challenges for small farmers.	High (for large holdings), but limited for small farms.	Medium-large projects exist, but the reach of small farmers is limited; 60% (meat) and 80% (milk) of production still falls on small farms	Low – Most registered cooperatives are either inactive or exist only formally	Low – Based on limited data, private sector capacity to provide services is moderate; farmers' farm capital is eroding

Stage 4: Generalization and development of recommendations. Based on the results of the comparative analysis, the following general conclusions were drawn: (a) common problems in all six countries (limited access to finance, coordination problems, inadequate technical support, incomplete integration of small farmers into the PPPs); (b) specific difficulties inherent only to certain countries (low level of awareness in Russia, opacity of state support and "shadow" schemes in Kazakhstan, inactivity of the majority of registered cooperatives in Georgia, delays in foreign exchange allocations and energy crisis in Iran, project abundance in Turkey, problem of lack of results, land fragmentation and high financial threshold in Azerbaijan); (c) necessary conditions for successful PPP implementation (clear legal framework, transparent governance mechanisms, fair risk sharing, farmer representation, strong institutional support, land consolidation and awareness raising). Based on these findings, initial recommendations for Azerbaijan were formulated.

Methodological limitations. This study is based only on secondary sources, therefore, field research (surveys with farmers, interviews, observations) was not conducted. The results are generalized and may not fully reflect the regional differences within each country. In addition, the volume and quality of available data across the six countries studied are not uniform - while some countries (e.g., Kazakhstan and Azerbaijan) have a richer database, others (e.g., Iran and Georgia) have relatively limited data. However, the results of the study are reliable enough to identify initial directions for the development of agrarian SOEs and to make regional comparisons.

IV. CONCLUSION

The Public-Private Partnership model has significant potential for the development of agrarian supply chains, but complex and consistent policy measures are required to realize this potential. A clear legal framework, transparent governance mechanisms, fair risk sharing, farmer representation, strong institutional support, land consolidation, and awareness-raising – these seven factors form the basis of successful agrarian PPPs. Future research should focus on a deeper empirical analysis of each of these factors, as well as on measuring the real impact of PPP projects on social inclusion and poverty reduction. The most important recommendation for Azerbaijan is that the country should not rush into large and expensive PPP projects, but rather start with small-scale, carefully monitored pilot projects in pilot regions based on the active participation of farmers; successful

models should be gradually scaled up, and unsuccessful models should be identified and discontinued at an early stage. Only such an experience-based, adaptive, and learning approach can ensure the sustainable development of agrarian supply chains.

REFERENCES

1. FAO, 2015: https://www.ppiaf.org/documents/5233
2. APA.az, 2025: https://en.apa.az; FAO Azerbaijan reports
3. Trend News Agency, 2025: https://www.trend.az/business/4038683.html
4. Ministry of Trade of Turkey, 2026: https://dtybs.ticaret.gov.tr/blog/post/31928/
5. Siberian Federal University: https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=W2919138530&service=openalex
6. DAYU IRRIGATION, 2025: https://en.cndayu.com/news_detail/32.html; Invest.gov.kz, 2025: https://invest.gov.kz
7. CBW.ge, 2025: https://cbw.ge/economy/blueberry-production-in-georgia-exemplifies-stateprivate-sector-success-says-minister-songulashvili; USAID Georgia
8. The Economic Times, 2025: https://economictimes.indiatimes.com
9. Islamic Azad University, 2025: https://sanad.iau.ir/en/Journal/imj/Article/1207814/FullText
10. Iran Press, 2024: https://iranpress.com
11. FAO, 2013; PPIAF, 2017; De Vivo, 2025: https://gfair.network/index.php/events/rethinking-public-private-partnerships-funding-gaps-shared-goals
12. http://dspace.ada.edu.az/xmlui/handle/20.500.12181/1470?show=full
13. https://ideas.repec.org/p/zbw/esprep/333325.html
14. https://en.apa.az/finance/audit-chamber-identifies-targeting-issues-in-state-support-for-crop-production-in-azerbaijan-482654?utm_source=internal_linking
15. https://www.trend.az/business/4043799.html
16. https://www.tarimdanhaber.com/tarimda-proje-bollugu-sonuc-kitligi-kamu-yatirimlari-nereye-gidiyor
17. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-94098-9_41
18. https://centrasia.institute/tokayev-instructs-kazakh-government-to-craft-new-agricultural-co-op-law.html
19. https://agrosearch.kz/en/news/tokaev-sistema-gospodderzki-fermerov-dolzna-stat-prozracnoi
20. https://senate.parlam.kz/en-US/news/details/15833
21. https://btuai.ge/en/on-the-path-to-agricultural-development-why-has-the-cooperative-model-struggled-in-georgia/

CHALLENGES OF LAST-MILE DELIVERY IN MODERN LOGISTICS

İbrahim Niftalizade
Department - Logistics and Transport Baku Engineering University Baku, Azerbaijan
iniftalizade@std.beu.edu.az

Ali Jafarov
Department - Logistics and Transport Baku Engineering University Baku, Azerbaijan

Abstract. Last-mile delivery is considered one of the most critical and challenging stages in modern logistics systems [1]. It involves the transportation of goods from a distribution center to the final customer, often within urban environments. Despite its short distance, this stage accounts for a significant portion of total delivery costs and operational inefficiencies [2]. The rapid growth of e-commerce and increasing customer expectations [7] for faster delivery have intensified these challenges. Factors such as traffic congestion, failed delivery

attempts, and lack of route optimization further complicate the process [8]. This study aims to analyze the main issues associated with last-mile delivery and evaluate potential solutions. The research focuses on improving efficiency through optimized routing, technological integration, and alternative delivery methods.
Keywords. *Last-mile delivery, logistics efficiency, urban congestion, technology integration*.

I. INTRODUCTION

In recent years, the logistics industry has experienced rapid growth due to the expansion of global trade and e-commerce expansion [2]. One of the most important components of this system is last-mile delivery, which refers to the final step of delivering goods to customers [1]. Although it represents the shortest segment of the supply chain, it is often the most complex and expensive [3]. The increasing demand for fast and reliable delivery services has created significant pressure on logistics companies [7]. Customers now expect same-day or even same-hour delivery, which requires highly efficient operations. However, urban challenges such as traffic congestion, limited parking, and high population density make last-mile delivery difficult to manage [8]. In addition, failed delivery attempts and inefficient route planning contribute to increased costs and delays. Technological advancements, including GPS tracking and artificial intelligence, offer new opportunities to improve this process [14]. These innovations can help optimize routes and enhance delivery accuracy. Therefore, addressing last-mile delivery challenges has become essential for improving overall logistics performance.



Figure 1. *Last-mile logistics challenges and solutions.*

II. DESCRIPTION OF THE PROBLEM

Last-mile delivery refers to the final stage of the logistics process, where goods are transported from a distribution center to the end customer [1]. Although this stage covers a relatively short distance, it is often the most expensive and inefficient part of the supply chain [2]. One of the main problems is urban congestion, which causes delays and increases delivery time [8]. In addition, failed delivery attempts, such as when customers are not available to receive packages, lead to extra costs and repeated trips. Another issue is poor route planning, which results in unnecessary fuel consumption and longer delivery times. The rapid growth of e-commerce has made this problem more serious, as the number of daily deliveries continues to increase [7]. Furthermore, customers expect fast and flexible delivery options, which puts additional pressure on logistics companies. As a result, last-mile delivery remains a critical challenge that affects both operational efficiency and customer satisfaction.



Figure 2. *Key challenges and impacts in last-mile delivery operations.*

III. METHODOLOGY

A conceptual and analytical approach to determine the primary challenges facing last mile delivery was the basis of this research paper [6]. Rather than performing primary research the research paper analyzes pre-existing sources of information and principles of logistics in order to draw conclusions. The findings indicate that route planning, delays with delivery and customer satisfaction are all major variables affecting the efficiency of delivery [3]. The potential solutions to the issues include route optimization and real time tracking systems and the potential solutions are evaluated according to their practicality and theoretical benefits. The research paper will include a comparison between each of the proposed solutions in order to find the best solutions for increasing logistics performance [10]. The end result of this study will include recommendations for improving last mile delivery operations [4] [14].



Figure 3. *Proposed solutions and expected benefits for last-mile delivery optimization*

IV. Conclusion

Last mile delivery feels like the hardest part of getting stuff to people these days. It's got all these costs piling up and then you add in busy city streets where everything slows down. Time is so tight too and customers want things fast. I think research backs this up that it's not just the end of the chain but really tricky especially in urban spots. Congestion makes routes a mess parking is limited and sometimes you have to try delivering multiple times which wastes a ton of effort [2].

E commerce has blown up everything though. More parcels moving around cities all the time. That just adds to the traffic and pollution from trucks and vans taking up space on roads. Traditional ways of doing it do not seem like they can keep going without problems building up [8].

To make it better maybe better planning for routes and tracking in real time could help along with using data smarter. Flexible ways to deliver sound good too. There are ideas out there like setting up small hubs close by or parcel lockers that people can pick up from. Cargo bikes might work in tight areas and electric vehicles cut down on emissions. Some places even try alternative spots for drop offs or those autonomous systems. It seems like these could lower costs and make things more reliable but not everything works everywh
ere I guess [14].

Companies need to see this as more than just day to day work. Investing in optimization tools and sustainable stuff might speed things up and cut waste. Customer happiness could go up that way. Over time it builds a system thats tougher against issues and better for the environment sort of [15].

REFERENCES

1. *Springer — Last-mile delivery (Introduction, Abstract)*
https://link.springer.com/article/10.1007/s00291-020-00607-8
2. *World Economic Forum — Urban Logistics (Conclusion, Introduction)*
https://www.weforum.org/publications/transforming-urban-logistics-a-path-to-sustainable-and-efficient-last-mile-delivery-in-cities/
3. *MDPI — Last-mile Delivery Vehicle Routing*
https://www.mdpi.com/2076-3417/13/24/13015
4. *Pringer Open — Autonomous delivery*
https://etrr.springeropen.com/articles/10.1186/s12544-023-00629-7
5. *MDPI — Last mile delivery routing*
https://www.mdpi.com/2076-3417/13/24/13015
6. *World Bank Transport Logistics*
https://www.worldbank.org/en/topic/transport
7.*https://www.mckinsey.com/industries/logistics/our-insights/how-customer-demands-are-reshaping-last-mile-delivery*
8. *World Bank — Urban Freight and Last-mile Delivery*
https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33441
9. *European Commission Urban Logistics*
https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/urban-transport_en
10. *DHL Logistics Report*
https://www.dhl.com/global-en/home/insights-and-innovation.html
11. *IBM Logistics AI*
https://www.ibm.com/topics/logistics
12. *PwC Logistics*
https://www.pwc.com/gx/en/industries/transportation-logistics.html
13. *MIT Supply Chain*
https://ctl.mit.edu
14. *MDPI — Machine Learning and AI in Last-mile Delivery*
https://www.mdpi.com/2071-1050/14/9/5329
15. *MDPI Review*
https://www.mdpi.com/2071-1050/14/9/5329

THE ROLE OF UNIFIED SYSTEMS IN SUSTAINABLE CITY DEVELOPMENT

İlknur Khankishiyeva
Department - Logistics and Transport
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
ixankishiyeva1@std.beu.edu.az

Zeynab Aliyeva
Department - Logistics and Transport
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
zeliyeva9@std.beu.edu.az

***Abstract*:** This study examines the significance of integrated transport systems within the development of smart cities, with particular emphasis on the contribution of digital technologies. As urban populations continue to expand, cities are increasingly confronted with mobility challenges, environmental concerns, and pressure on infrastructure [10], [20]. Coordinated transport networks, supported by modern digital solutions, present an effective approach by linking different modes of transport into a unified system [1], [2].The research is grounded in a qualitative review of academic literature from multiple linguistic sources. The results indicate that technologies such as intelligent transport systems, real-time information services, and electronic ticketing considerably improve the efficiency of transport networks [16], [25]. These innovations help decrease congestion, lower emissions, and enhance accessibility [8], [9]. Nevertheless, obstacles such as high costs and organizational challenges still exist [6]. Overall, the findings underline the importance of digital technologies in advancing sustainable urban mobility.

I. INTRODUCTION

The rapid pace of urban growth has transformed cities into highly complex environments where effective transportation systems are essential for economic progress and social well-being [10], [20]. Conventional transport structures, which typically operate in isolation, are no longer capable of addressing the increasing demands of urban populations [1], [14]. Consequently, the concept of smart cities has gained prominence, focusing on the integration of digital technologies into urban management [10], [6].

Within this framework, integrated transport systems have become a crucial element of modern mobility. These systems aim to combine various forms of transportation—such as buses, railways, metro systems, and active travel options—into a coordinated network [2], [7]. Digital tools play a vital role in enabling this integration by facilitating real-time communication, improving coordination, and enhancing user convenience [25], [7].

Studies show that data-driven transport solutions and intelligent systems can significantly improve traffic flow and reduce environmental damage [9], [25]. Therefore, the implementation of integrated transport systems supported by digital technologies is essential for creating sustainable and efficient urban environments.

II. DESCRIPTION OF THE PROBLEM

Despite technological progress, many urban areas continue to experience inefficient and disconnected transport systems. Different modes of transport often function independently, resulting in longer travel durations, increased congestion, and higher levels of pollution [14], [22]. The strong dependence on private vehicles further intensifies these problems by contributing to rising emissions and energy use [20], [9].

Another key issue is the limited convenience and accessibility of public transportation. Weak connections between transport modes make transfers difficult and time-consuming for users [5], [2]. This discourages people from using public transport and encourages continued reliance on personal vehicles.

Additionally, insufficient digital infrastructure and lack of data integration reduce the effectiveness of transport management [16], [25]. Without real-time monitoring and advanced control systems, it is challenging to optimize operations and respond to changing conditions. As a result, cities face ongoing difficulties in achieving efficient and sustainable mobility systems.

III. METHODOLOGY

This research employs a qualitative approach based on a comprehensive review of existing academic literature. A total of 25 sources in English, Russian, French, and German were examined to provide a wide-ranging and balanced perspective. The study began with the identification of relevant materials from academic databases such as ResearchGate, Springer, and ScienceDirect. These sources include scholarly articles, books, and

institutional publications focusing on transport integration, smart city development, and digital innovation [1], [10]. A thematic analysis was carried out to identify key patterns and concepts, including system efficiency, environmental impact, and technological advancement. Furthermore, a comparative method was applied to evaluate different case studies and regional approaches. This enabled a deeper understanding of how integrated transport systems are implemented in various contexts. The collected findings were then synthesized to assess the role of digital technologies in supporting unified transport systems and promoting sustainable urban growth.

1**. Share of Transport in Global Emissions (Pie Chart)**

Transport is one of the largest emission sources globally, making smart and unified transport systems essential for sustainability.

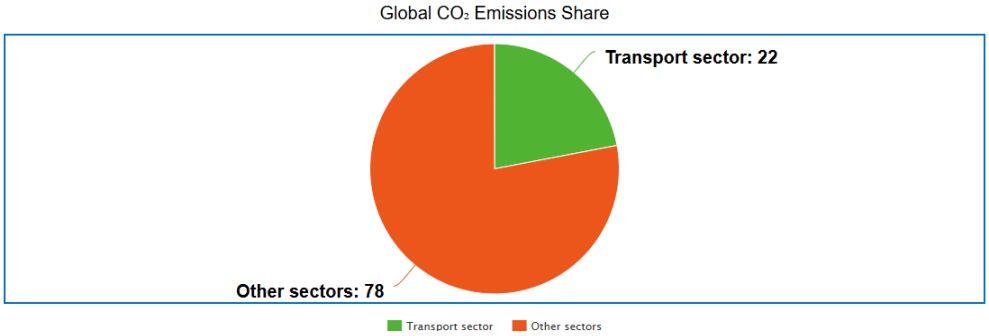


Figure 1. *Breakdown of global greenhouse gas emissions by sector, highlighting the share of transport* ***[26]****.*

2. Transport Emissions by Mode (Bar Chart)

Road transport dominates emissions → unified systems aim to shift users to public and low-carbon transport.

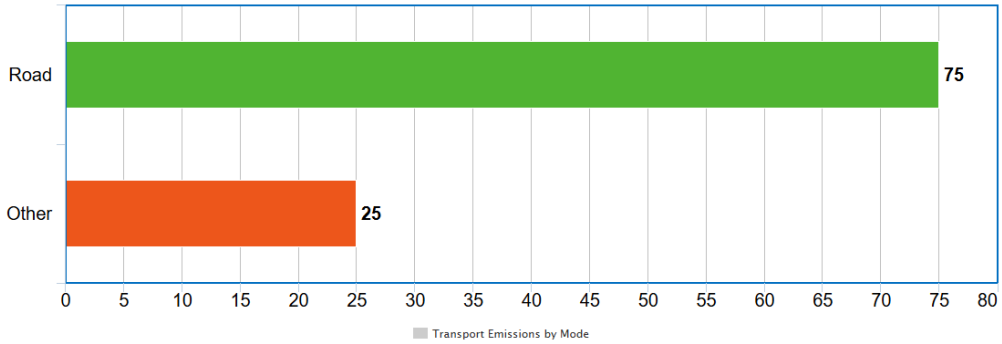


Figure 2. *Comparison of transport-related emissions by mode, distinguishing between road transport and other methods* ***[26]****.*

3. Impact of Digital Technologies on CO_2 Reduction (Bar Chart)

Digital technologies like ITS can cut emissions significantly, proving their importance in smart cities.

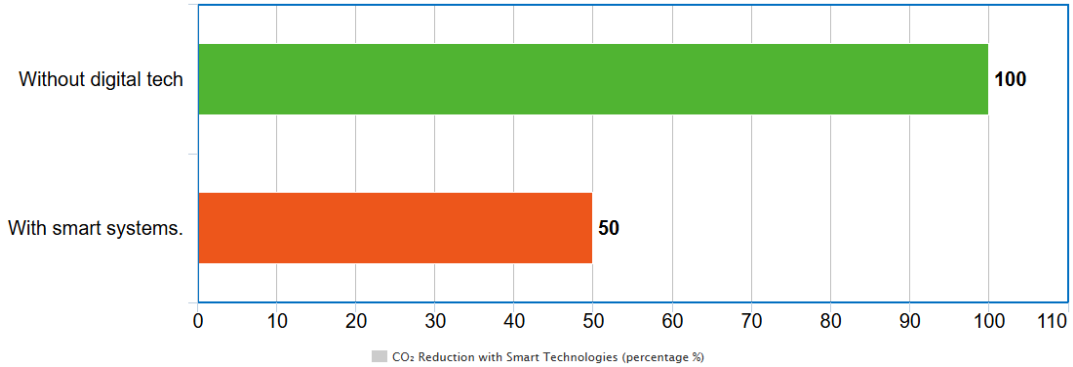


Figure 3. Comparative analysis of carbon emission levels with and without the implementation of digital smart technologies [27].4. Commuting Modes in Cities (Pie Chart)

4. Most people still rely on cars → smart unified systems aim to increase sustainable transport share.

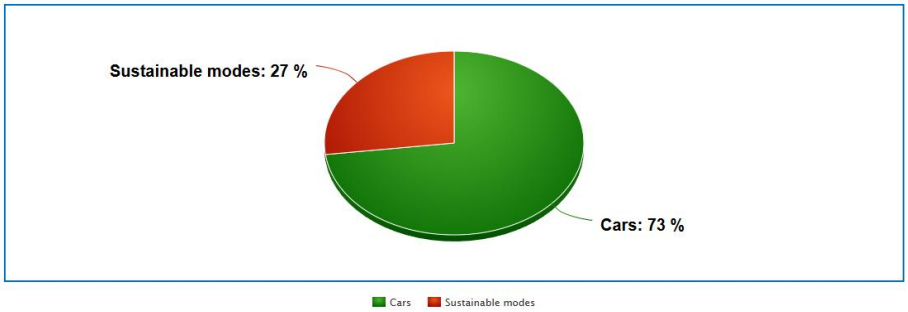


Figure 4. Distribution of commuting modes in urban areas, comparing private vehicle use against sustainable transit options [28].

5. Economic impact of transport problems (bar chart)

Transport inefficiency has huge economic and social costs, which smart systems aim to reduce.

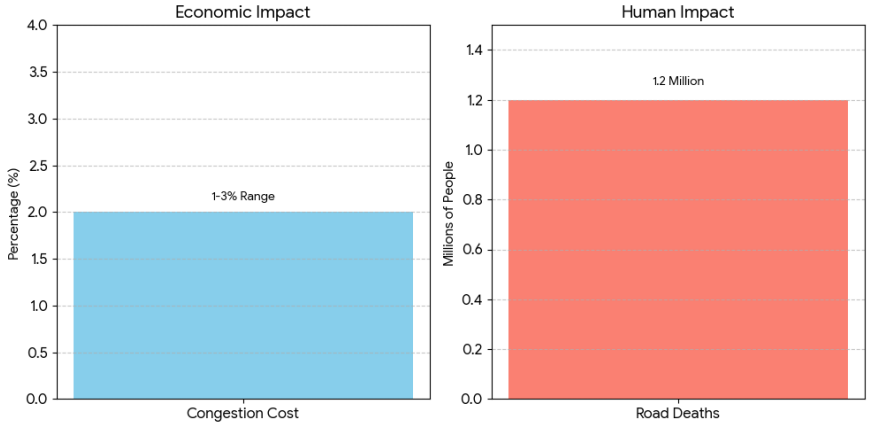


Figure 5. *Socio-economic impacts of global transport problems, illustrating GDP loss from congestion and annual mortality rates **[29]**.*

6. Smart City Digital Solutions Impact (Bar Chart)

Multiple digital solutions together create significant overall impact in smart transport systems.

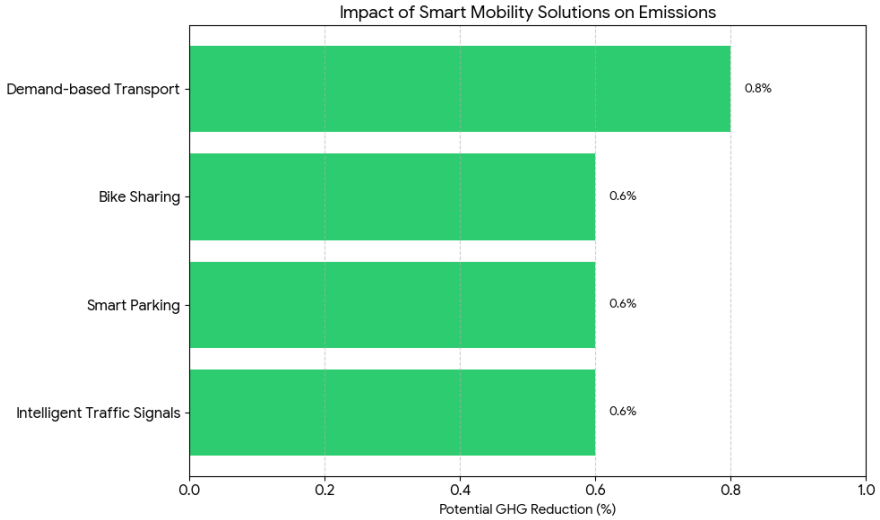


Figure 6. *Impact of digital smart mobility solutions on greenhouse gas emissions **[30]**.*

7. Role of Digital Technologies in Smart Cities (Concept Bar Chart)
Digital infrastructure (data + ITS) is the core of unified smart transport systems.

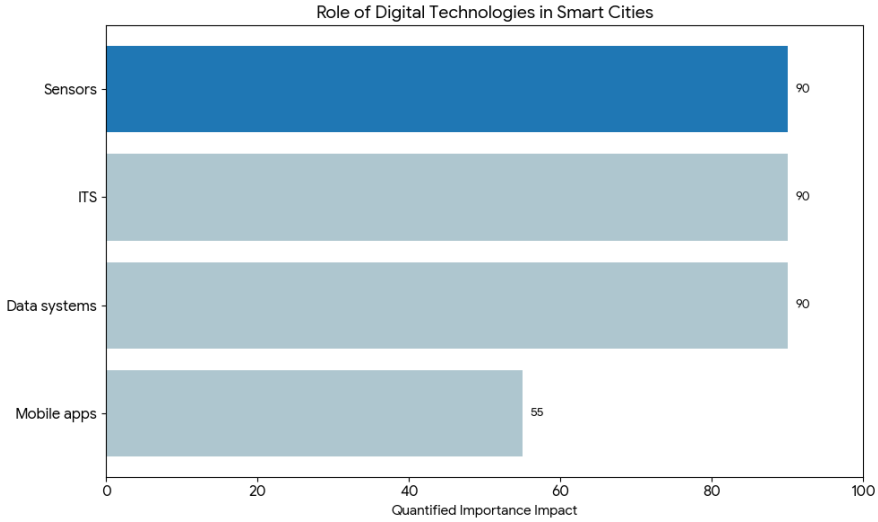


Figure 7. *Conceptual framework showing the role and priority of digital technologies in smart city transport systems* ***[31]****.*

8. CO_2 Reduction Targets for Transport (Bar Chart)
Huge emission cuts are required → only possible with smart + unified transport systems.

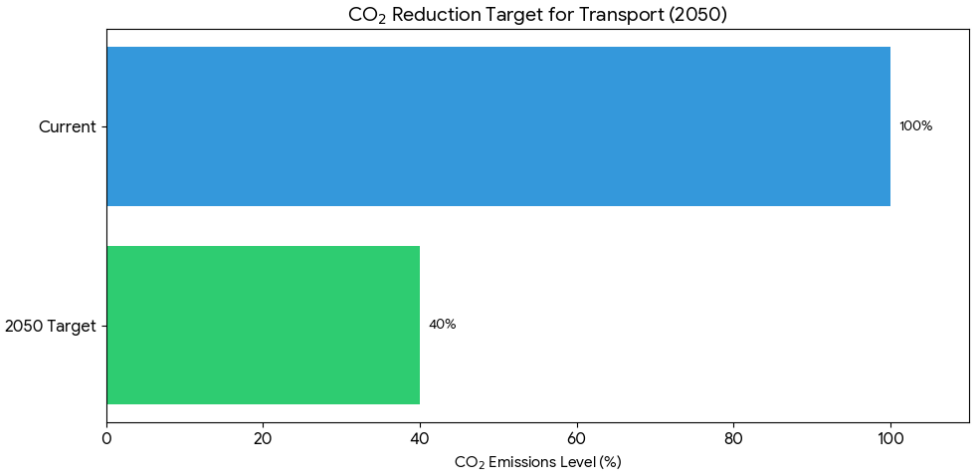


Figure 8. Required emission reduction targets for the transport sector by 2050 [26].

IV. CONCLUSION

In summary, integrated transport systems are a vital component of smart city development and play a key role in improving urban mobility [1], [10]. By connecting different transport modes and incorporating digital technologies, cities can enhance efficiency, reduce environmental impact, and improve the overall quality of life for residents.

The analysis demonstrates that tools such as intelligent transport systems, data analytics, and digital platforms are essential for building effective and coordinated transport networks [16], [25], [7]. However, several challenges must be addressed, including financial limitations, institutional fragmentation, and technological barriers [9], [6].

To ensure successful implementation, policymakers and urban planners should focus on investing in digital infrastructure, strengthening cooperation between stakeholders, and developing long-term integration strategies. Ultimately, unified transport systems supported by advanced technologies offer a sustainable and practical solution for the future of urban mobility.

REFERENCES

[1] Regmi, M., et al. Integrated Public Transport Systems: A Guidebook for Policymakers. UN ESCAP, 2024 (PDF available)
[2] Bulková, Z., et al. Concept of an Integrated Urban Public Transport System Linked to Railway Network. MDPI, 2025 (PDF)
[3] Abu-Aisha, T., et al. Toward an Efficient Sea-Rail Intermodal Transportation System. Springer, 2024 (PDF)
[4] El Amrani, A., et al. Integration of Urban Freight in Public Transportation: A Systematic Review. Sustainability, 2024 (PDF)
[5] Furlan, L., Schmidt, H. Importance of Interchangeability for Urban Transport Equipment. European Transport Research Review (PDF)
[6] Kazaryan, R. Development of the Integrated Transport System of the Russian Federation. Transportation Research Procedia, 2021 (PDF)
[7] Orozco, L.G.N., et al. Multimodal Urban Mobility and Multilayer Transport Networks. arXiv, 2021 (PDF)
[8] Najmi, A., et al. Integrating Travel Demand and Network Modelling. arXiv, 2019 (PDF)
[9] World Bank. Integrated Logistics Centers and Transport Systems. World Bank Reports (PDF)
[10] European Commission. Urban Mobility and Integrated Transport Systems in Europe (PDF reports)
[11] Смирнов С.А., Смирнова О.Ю. Перспективы маглев-транспорта в единой транспортной системе ЕАЭС, 2023 (PDF)
[12] Туманов Е.В., и др. Единая транспортная политика ЕАЭС, 2019 (PDF)
[13] Казарьян Р. Концепция развития интегрированной транспортной системы РФ, 2021 (PDF)
[14] Иванов В.В. Интегрированные транспортные системы городов (PDF available in Russian academic libraries)
[15] Петров А.Н. Мультимодальные транспортные системы и логистика (PDF)
[16] Соколов И.А. Цифровизация транспортных систем России (PDF)
[17] Crozet, Y. Les systèmes de transport intégrés en Europe (PDF articles available)
[18] Rodrigue, J.-P. Transport et logistique: systèmes intégrés (PDF chapters available)
[19] Dupuy, G. Urban Transport Networks and Integrated Mobility (French editions PDF)
[20] Banister, D. Transport durable et systèmes intégrés (French translated PDF)
[21] CERTU (France). Systèmes de transport urbain intégrés (official PDF reports)
[22] VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen). Integrierte Verkehrssysteme in Deutschland (PDF reports)
[23] Verkehrsverbund Rhein-Ruhr. Integrated Public Transport System Reports (PDF)
[24] BMVBS (German Ministry). Nachhaltige und integrierte Verkehrssysteme (PDF)
[25] PTV Group. Multimodale Verkehrssysteme und Verkehrsplanung (PDF studies)
[26] Global Emissions & Reduction Targets (Figures 1, 2, and 8): ScienceDirect – *The role of transport in global CO2 emissions and reduction targets.* https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X17304092
[27] Digitalization & Climate Neutral Cities (Figure 3): Eco.de – *How digitalization enables climate-neutral smart cities.* https://international.eco.de/presse/digitalisation-enables-climate-neutral-smart-cities/
[28] Urban Transport Trends & Commuting (Figure 4): OECD – *Regions and Cities at a Glance 2024: Towards sustainable transport.* https://www.oecd.org/en/publications/oecd-regions-and-cities-at-a-glance-2024_f42db3bf-en/full-report/towards-sustainable-transport-in-regions-and-cities_56738d2c.html
[29] Economic & Social Impacts of Transport (Figure 5): MDPI – *Sustainability: Economic impacts of*

traffic congestion and accidents. https://www.mdpi.com/2071-1050/11/7/2140
[30] Smart Mobility Solutions & GHG Potential (Figure 6): McKinsey Global Institute – *Smart cities: Digital solutions for a more livable future.* https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/smart-cities-digital-solutions-for-a-more-livable-future
[31] Intelligent Transport Systems (ITS) Transformation (Figure 7): Metalesa – *How Intelligent Transport Systems are transforming smart cities.* https://metalesa.com/en/blog/how-intelligent-transport-systems-are-transforming-smart-cities/

SCOR MODELİNİN TƏTBİQ MƏRHƏLƏLƏRİ VƏ OPTİMALLAŞDIRMA TƏKLİFLƏRİ

Hüseynova Rəhimə
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik fakültəsi
Sənaye mühəndisliyi
Baku, Azerbaijan
huseynova3@std.beu.edu.az

Xülasə. Məqalədə SCOR (Supply Chain Operations Reference) modeli təchizat zəncirinin idarə olunmasında proseslərin standartlaşdırılması, ölçülməsi və təkmilləşdirilməsi üçün istifadə olunan çərçivə kimi izah olunur. Model Plan, Source, Make, Deliver, Return və Enable mərhələlərini əhatə edərək zəncirin bütöv şəkildə idarə edilməsinə imkan yaradır və vahid terminologiya, KPI-lar və ən yaxşı təcrübələr üçün metodoloji baza formalaşdırır.
SCOR modelinin tətbiqi mövcud vəziyyətin diaqnostikası, hədəf model və göstəricilərin müəyyənləşdirilməsi, ölçmə və müqayisə, təkmilləşdirmə tədbirlərinin icrası və davamlı monitorinq mərhələlərindən ibarətdir. Bu yanaşma proseslərdəki zəif tərəflərin aşkar olunmasına və sistemli şəkildə aradan qaldırılmasına şərait yaradır.
Model əsasında optimallaşdırma istiqamətləri kimi rəqəmsallaşdırma, təchizatçılarla əməkdaşlığın gücləndirilməsi, istehsalda lean yanaşmaların tətbiqi, logistika şəbəkəsinin optimallaşdırılması və əks-logistika proseslərinin inkişafı xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu tədbirlər səmərəliliyin artmasına, xərclərin azalmasına və xidmət səviyyəsinin yüksəlməsinə töhfə verir.
Açar sözlər: SCOR, təchizat,(KPI), optimallaşdırma, benchmarking, logistika.

I. GİRİŞ

Müasir qlobal iqtisadiyyatda rəqabət üstünlüyünün əldə olunması və saxlanılması artıq təkcə məhsulun keyfiyyəti və ya qiymət amili ilə deyil, bütövlükdə təchizat zəncirinin nə dərəcədə səmərəli idarə olunması ilə müəyyən edilir. Qloballaşma, bazarların qeyri-sabitliyi, müştəri tələblərinin fərdiləşməsi və rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı təşkilatları təchizat zənciri proseslərini yenidən nəzərdən keçirməyə və optimallaşdırmağa məcbur edir. Bu şəraitdə proseslərin şəffaf, ölçülə bilən və standartlara əsaslanan şəkildə idarə olunması xüsusi aktuallıq kəsb edir.
Təchizat zəncirinin idarə edilməsində mövcud problemlərin sistemli şəkildə həlli üçün beynəlxalq praktikada müxtəlif modellər və çərçivələr formalaşdırılmışdır. Bu modellər arasında SCOR modeli kompleks yanaşması və praktik yönümlülüyü ilə fərqlənir. Model təchizat zəncirini vahid sistem kimi nəzərdən keçirərək planlaşdırmadan başlayaraq təchizata, istehsala, çatdırılmaya, qaytarma proseslərinə və dəstəkləyici

mexanizmlərə qədər bütün mərhələləri əhatə edir. Bu yanaşma təşkilatlara yalnız əməliyyat səmərəliliyini artırmaq deyil, həm də strateji qərarların əsaslandırılmasını gücləndirmək imkanı yaradır.

SCOR modelinin əhəmiyyəti onun proses yönümlü strukturu ilə yanaşı, performansın ölçülməsi üçün standart göstəricilər sistemi təqdim etməsindədir. Bu göstəricilər vasitəsilə təşkilatlar mövcud fəaliyyətlərini qiymətləndirə, zəif və güclü tərəflərini müəyyən edə, həmçinin sektor üzrə ən yaxşı təcrübələrlə müqayisə apararaq inkişaf istiqamətlərini formalaşdıra bilirlər. Nəticədə təchizat zənciri idarəetməsi daha çevik, proqnozlaşdırıla bilən və nəticəyönümlü xarakter alır.

Bu mövzunun aktuallığı xüsusilə resurslardan səmərəli istifadə, xərclərin optimallaşdırılması, risklərin azaldılması və müştəri məmnuniyyətinin artırılması kimi məqsədlərin ön plana çıxdığı müasir idarəetmə mühitində daha da artır. SCOR modelinin tətbiq mərhələlərinin və optimallaşdırma imkanlarının öyrənilməsi təşkilatlara yalnız cari problemləri həll etmək deyil, eyni zamanda uzunmüddətli dayanıqlı inkişaf strategiyası qurmaq baxımından da mühüm nəzəri və praktiki əhəmiyyət daşıyır.

II. TƏHLİL

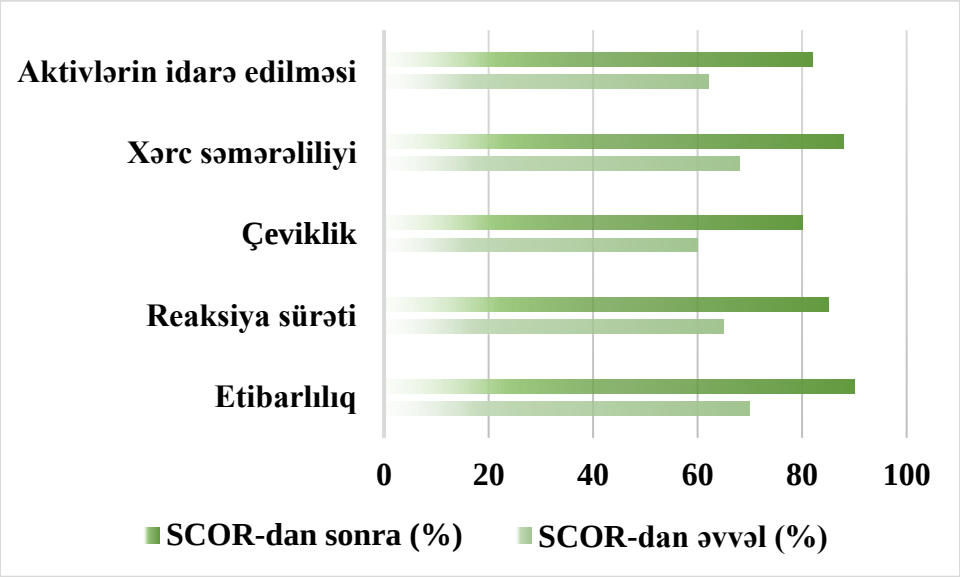
SCOR modelinin tətbiqi təchizat zəncirinin idarə edilməsində ənənəvi, fragmentar yanaşmadan sistemli və prosesyönümlü idarəetməyə keçidi təmin edir. Təhlil göstərir ki, modelin əsas gücü ayrı-ayrı funksiyaları deyil, bütün zənciri vahid dəyər yaradılması sistemi kimi qiymətləndirməsindədir. Bu yanaşma təşkilat daxilində planlaşdırma, təchizat, istehsal və logistika bölmələri arasında koordinasiyanı gücləndirir və funksional "silo"ların aradan qaldırılmasına şərait yaradır[1,s.65].

Planlaşdırma mərhələsinin təhlili göstərir ki, SCOR modeli strateji və əməliyyat planlarının uzlaşdırılmasını ön plana çıxarır. Tələb proqnozlarının dəqiqliyi, resursların balanslaşdırılması və risklərin əvvəlcədən qiymətləndirilməsi bu mərhələnin əsas problemləridir. Model bu problemlərin həlli üçün ölçülə bilən göstəricilər və standart proses axınları təklif edərək planlaşdırma qərarlarının subyektivliyini azaldır. Nəticədə qərar qəbuletmə daha analitik və məlumat əsaslı xarakter alır[2,s.40].

Təchizat və istehsal mərhələlərinin təhlili göstərir ki, SCOR modeli xərclərin və vaxt itkilərinin əsas mənbələrini aşkar etməyə imkan verir. Tədarükçülərin performansının sistemli qiymətləndirilməsi, istehsal proseslərində səmərəsiz əməliyyatların müəyyənləşdirilməsi və inventar səviyyələrinin optimallaşdırılması təşkilatın əməliyyat səmərəliliyini artırır. Bu mərhələlərdə modelin tətbiqi, xüsusilə, yalın istehsal prinsipləri və rəqəmsal texnologiyalarla inteqrasiya olunduqda daha yüksək nəticələr verir[3,s.25].

Çatdırılma və qaytarma mərhələlərinin təhlili müştəri məmnuniyyətinin birbaşa olaraq logistika performansı ilə bağlı olduğunu göstərir. SCOR modeli bu mərhələlərdə vaxtında çatdırılma, sifarişin dəqiqliyi və əks-logistika xərcləri kimi göstəriciləri ön plana çəkir. Bu isə təşkilatlara xidmət səviyyəsini ölçməyə və müştəri yönümlü optimallaşdırma qərarları qəbul etməyə imkan yaradır. Xüsusilə qaytarma proseslərinin standartlaşdırılması həm maliyyə itkilərini azaldır, həm də ekoloji və sosial məsuliyyət baxımından müsbət təsir yaradır.

Ümumilikdə təhlil göstərir ki, SCOR modelinin effektivliyi onun tətbiqinin formallıqdan kənara çıxaraq real idarəetmə alətinə çevrilməsindən asılıdır. Model yalnız proseslərin təsviri ilə məhdudlaşdıqda gözlənilən nəticəni vermir, lakin performans ölçümü, benchmarking və davamlı təkmilləşmə mexanizmləri ilə birlikdə tətbiq edildikdə strateji üstünlüklər yaradır. Bu baxımdan SCOR modeli təchizat zəncirinin optimallaşdırılmasında həm diaqnostik, həm də transformativ funksiyanı yerinə yetirən effektiv analitik çərçivə kimi qiymətləndirilə bilər[4,s.8].



Qrafik 1. SCOR Modelinin Tətbiqinin Təchizat Zəncirinin Performans Göstəricilərinə Təsiri

Mənbə: Supply Chain Council. (2012). *Supply Chain Operations Reference (SCOR) Model, Version 11.0.*

Qrafik 1 SCOR modelinin tətbiqindən əvvəl və sonra təchizat zəncirinin əsas performans göstəricilərində baş verən dəyişiklikləri əks etdirir. Məlumatlardan göründüyü kimi, modelin tətbiqindən sonra bütün göstəricilər üzrə müsbət dinamika müşahidə olunur ki, bu da SCOR-un proseslərin səmərəliliyinə sistemli təsir göstərdiyini sübut edir. Xüsusilə etibarlılıq göstəricisinin 70%-dən 90%-ə yüksəlməsi sifarişlərin vaxtında və düzgün yerinə yetirilməsində əhəmiyyətli irəliləyişin əldə olunduğunu göstərir[5,s.52].
Reaksiya sürəti və çeviklik göstəricilərindəki artım təchizat zəncirinin dəyişən bazar şərtlərinə və müştəri tələblərinə daha operativ uyğunlaşdığını nümayiş etdirir. Reaksiya sürətinin 65%-dən 85%-ə, çevikliyin isə 60%-dən 80%-ə yüksəlməsi planlaşdırma və koordinasiya mexanizmlərinin təkmilləşdirildiyini göstərir. Bu nəticələr SCOR modelinin proseslərarası inteqrasiyanı gücləndirdiyini və qərar qəbuletmənin daha çevik xarakter aldığını göstərir[6,s.78].
Xərc səmərəliliyi və aktivlərin idarə edilməsi göstəricilərindəki müsbət dəyişikliklər isə resurslardan istifadənin optimallaşdırıldığını əks etdirir. Xərc səmərəliliyinin 68%-dən 88%-ə yüksəlməsi istehsal və logistika xərclərinin azaldılması ilə bağlı tədbirlərin effektivliyini nümayiş etdirir. Aktivlərin idarə edilməsi göstəricisinin artması isə inventar səviyyələrinin balanslaşdırılması və maddi resursların daha rasional idarə olunması ilə izah oluna bilər. Ümumilikdə, qrafik 1 SCOR modelinin tətbiqinin təchizat zəncirində həm əməliyyat, həm də strateji səviyyədə əhəmiyyətli müsbət təsir yaratdığını göstərir [7,s.68].

CƏDVƏL 1 SCOR MODELİNİN TƏTBİQİNDƏN ƏVVƏL VƏ SONRA TƏCHİZAT ZƏNCİRİNİN ƏSAS PERFORMANS GÖSTƏRİCİLƏRİNİN MÜQAYİSƏSİ

Göstəricilər	SCOR-dan əvvəl (%)	SCOR-dan sonra (%)	Dəyişmə (faiz bəndi)
Etibarlılıq	70	90	+20
Reaksiya sürəti	65	85	+20
Çeviklik	60	80	+20
Xərc səmərəliliyi	68	88	+20
Aktivlərin idarə edilməsi	62	82	+20

Mənbə: Supply Chain Council. (2012). *Supply Chain Operations Reference (SCOR) Model, Version 11.0.*

Cədvəl 1 SCOR modelinin tətbiqindən əvvəl və sonra təchizat zəncirinin əsas performans göstəricilərində müşahidə olunan dəyişiklikləri sistemli şəkildə əks etdirir. Məlumatlara əsasən, bütün göstəricilər üzrə eyni səviyyədə – 20 faiz bəndi həcmində artım qeydə alınmışdır ki, bu da modelin kompleks və balanslı təsir mexanizminə malik olduğunu göstərir. Etibarlılıq göstəricisinin yüksəlməsi sifarişlərin vaxtında, düzgün və stabil şəkildə yerinə yetirilməsi səviyyəsinin artdığını nümayiş etdirir[8,s.6].

Reaksiya sürəti və çeviklik göstəricilərindəki müsbət dəyişikliklər təchizat zəncirinin bazar dəyişikliklərinə, tələb dalğalanmalarına və gözlənilməz risklərə daha operativ cavab verməyə başladığını göstərir. Bu artım planlaşdırma, təchizat və istehsal mərhələləri arasında koordinasiyanın gücləndirilməsi ilə izah oluna bilər. Eyni zamanda çevikliyin artması təşkilatın alternativ resurslardan və marşrutlardan istifadə imkanlarının genişləndiyini göstərir[9,s.45].

Xərc səmərəliliyi və aktivlərin idarə edilməsi göstəricilərindəki artım resurslardan istifadənin daha rasional xarakter aldığını əks etdirir. Xərclərin optimallaşdırılması inventar səviyyələrinin azaldılması, istehsal və logistika proseslərində itkilərin minimuma endirilməsi ilə əlaqələndirilə bilər. Aktivlərin idarə edilməsindəki yaxşılaşma isə maddi və maliyyə resurslarının dövriyyə sürətinin artdığını göstərir. Ümumilikdə, cədvəl 1 də təqdim olunan nəticələr SCOR modelinin tətbiqinin təchizat zəncirinin həm əməliyyat, həm də strateji effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırdığını nümayiş etdirir[10,s.10].

III. NƏTİCƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, SCOR modelinin tətbiqi təchizat zəncirinin idarə edilməsində sistemli yanaşmanın formalaşmasına və proseslərin vahid mexanizm kimi əlaqələndirilməsinə şərait yaradır. Modelin Plan, Source, Make, Deliver, Return və Enable mərhələləri üzrə tətbiqi təşkilatlara fəaliyyətlərini daha şəffaf, ölçülə bilən və idarəolunan hala gətirməyə imkan verir. Bu isə qərar qəbuletmə proseslərinin elmi əsaslara söykənməsini və idarəetmədə subyektivliyin azalmasını təmin edir.

Empirik göstəricilər əsasında aparılan müqayisə SCOR modelinin tətbiqindən sonra etibarlılıq, reaksiya sürəti, çeviklik, xərc səmərəliliyi və aktivlərin idarə edilməsi kimi əsas performans göstəricilərində əhəmiyyətli artımın baş verdiyini nümayiş etdirir. Bu nəticələr modelin yalnız əməliyyat səviyyəsində deyil, eyni zamanda strateji səviyyədə də effektiv idarəetmə aləti olduğunu sübut edir. Xüsusilə xərclərin optimallaşdırılması və xidmət səviyyəsinin yüksəldilməsi təşkilatın rəqabət qabiliyyətinin güclənməsinə birbaşa təsir göstərir.

Nəticə etibarilə, SCOR modelinin tətbiqi təchizat zəncirində davamlı təkmilləşmə mədəniyyətinin formalaşmasına, resurslardan səmərəli istifadəyə və risklərin daha effektiv idarə olunmasına şərait yaradır. Modelin rəqəmsal texnologiyalar, analitik alətlər və beynəlxalq ən yaxşı təcrübələrlə inteqrasiyası onun praktik dəyərini daha da artırır. Bu baxımdan SCOR modeli müasir təşkilatlar üçün təchizat zəncirinin optimallaşdırılması və uzunmüddətli dayanıqlı inkişafın təmin edilməsi istiqamətində mühüm strateji çərçivə kimi qiymətləndirilə bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Şikarova, A.-R. (2022). *Təchizat zəncirinin idarə edilməsində SCOR modelinin tətbiqi və performans ölçülməsi* (Unpublished thesis). Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti (UNEC). PDF-də 1–65 s.
2. Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti. (2019). *SCOR modelinə dair tədris materialı* (İ.Karova, müəllif) (SCM kursu). UNEC, 1–40 s.
3. Təchizat zənciri və logistika (2024). *Journal of Baku Engineering University*, 1–25 s.
4. Təchizat zəncirinin idarə olunmasında əsas anlayışlar (2022). *Təchizat zəncirinin idarəedilməsi məqaləsi*, 1–8 s.
5. Eminova, N. (2022). *Təchizat zəncirinin idarə edilməsində modellərin tətbiqi* (Student thesis). UNEC, 1–52 s.
6. Mammadova, L**.** (2023). *SCOR modelinin biznesdə tətbiqi: xülasələr kitabı*. UNEC Nəşri, 1–78 s.
7. Rzayev, B. (2022). *Biznesin idarə olunmasında proseslərin optimallaşdırılması: SCOR modeli kontekstində*. UNEC nəşri, 1–68 s.
8. Təchizat zənciri idarəetməsinin əsas prinsipləri (2021). *ABLogistika məqaləsi*, 1–6 s.
9. Təchizat zənciri imtahan sualları PDF (2023). *Təchizat zənciri konseptləri* (onlayn sənəd), 1–45 s.
10. Təchizat zənciri idarəetməsi (rashadjabrayilov.az**)** (2024). *SCM açıqlaması və təhlili*, 1–10 s.
11. Diss2 – Əsas beynəlxalq logistika modelləri: JIT və SCOR (2025). *Studocu sənədi*, 1–33 s.

BEYNƏLXALQ NƏQLİYYAT DAŞIMALARININ QLOBAL İQTİSADİ SİSTEMDƏ STRATEJİ ROLU VƏ AZƏRBAYCANIN TRANZİT POTENSIALI

Qaragöz Hafizli
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik \ Logistika və nəqliyyat
qahafizli@beu.edu.az
Bakı / Azərbaycan

Xülasə: Müasir qlobal iqtisadi münasibətlər sistemində beynəlxalq nəqliyyat daşımaları iqtisadi inteqrasiyanın əsas sütunlarından biri kimi çıxış edir. Qloballaşma proseslərinin dərinləşməsi nəticəsində yük və sərnişin daşımalarının coğrafiyası genişlənmiş, nəqliyyat sistemlərinə olan tələbat əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır. Məqalədə beynəlxalq nəqliyyat daşımalarının iqtisadi mahiyyəti, əsas nəqliyyat növlərinin funksional xüsusiyyətləri, bu sahədə mövcud problemlər və inkişaf istiqamətləri geniş şəkildə təhlil olunur. Eyni zamanda, Azərbaycanın coğrafi mövqeyindən irəli gələn tranzit potensialı və beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərində rolu kompleks yanaşma əsasında araşdırılır.
Açar sözlər: beynəlxalq nəqliyyat, tranzit daşımalar, qlobal iqtisadiyyat, nəqliyyat dəhlizləri, multimodal daşımalar, Azərbaycan.
Abstract: In the modern system of global economic relations, international transportation serves as one of the fundamental pillars of economic integration. As globalization deepens, the geography of freight and passenger transportation has expanded, and the demand for transport systems has increased significantly. This article comprehensively analyzes the economic nature of international transportation, the functional characteristics of different modes of transport, existing challenges in this field, and future development directions. At the same time, Azerbaijan's transit potential, stemming from its geographical position, and its role in international transport corridors are examined through a comprehensive approach.
Keywords: international transport, transit transportation, global economy, transport corridors, multimodal transportation, Azerbaijan.

I. GİRİŞ

Müasir dövrdə qloballaşma proseslərinin sürətlənməsi dünya iqtisadiyyatında struktur dəyişikliklərinə səbəb olmuşdur. Bu dəyişikliklər ölkələr arasında iqtisadi əlaqələrin genişlənməsini, ticarət dövriyyəsinin artmasını və istehsalın beynəlmiləlləşməsini şərtləndirmişdir. Bu kontekstdə beynəlxalq nəqliyyat daşımaları iqtisadi sistemin fasiləsiz fəaliyyətini təmin edən əsas mexanizmlərdən biri kimi çıxış edir.

Nəqliyyat daşımaları yalnız məhsulların fiziki hərəkəti ilə məhdudlaşmır, həm də bazarların formalaşmasına, regionlararası əlaqələrin güclənməsinə və iqtisadi inteqrasiyanın dərinləşməsinə xidmət edir. Bu baxımdan beynəlxalq nəqliyyat sistemi qlobal iqtisadiyyatın "qan dövranı sistemi" kimi xarakterizə edilə bilər.

II. BEYNƏLXALQ NƏQLİYYAT DAŞIMALARININ İQTİSADİ MƏZMUNU VƏ FUNKSİYALARI

Beynəlxalq nəqliyyat daşımaları iqtisadi sistemdə bir neçə əsas funksiyanı yerinə yetirir. İlk növbədə, bu daşımalar istehsal və istehlak arasında əlaqəni təmin edərək iqtisadi fəaliyyətin davamlılığını qoruyur. Malların vaxtında və etibarlı şəkildə çatdırılması istehsal prosesinin effektivliyinə birbaşa təsir göstərir.

Digər tərəfdən, beynəlxalq nəqliyyat resursların daha səmərəli bölgüsünə şərait yaradır. Müxtəlif regionlarda istehsal olunan məhsulların digər bazarlara çıxarılması iqtisadi tarazlığın qorunmasına kömək edir. Bu isə qlobal iqtisadiyyatın dayanıqlılığını artırır.

Eyni zamanda, beynəlxalq daşımalar ölkələrin ixrac potensialının reallaşdırılmasında mühüm rol oynayır. Effektiv nəqliyyat sistemi məhsulların maya dəyərinə təsir etməklə onların rəqabət qabiliyyətini artırır.

Beynəlxalq nəqliyyat daşımalarında istifadə olunan əsas nəqliyyat növləri iqtisadi və texniki xüsusiyyətlərinə görə fərqlənir. Dəniz nəqliyyatı dünya ticarətində aparıcı mövqeyə malikdir və qlobal yük daşımalarının böyük hissəsini təmin edir. Bu nəqliyyat növü iri həcmli və ağır yüklərin aşağı xərclərlə daşınması üçün ən əlverişli vasitə hesab olunur.

Dəmir yolu nəqliyyatı isə yüksək daşıma qabiliyyəti və sabitliyi ilə seçilir. Xüsusilə uzun məsafəli quru daşımalarında bu nəqliyyat növü iqtisadi cəhətdən səmərəli hesab olunur. Avtomobil nəqliyyatı isə çevikliyi və operativliyi ilə fərqlənərək qısa və orta məsafələrdə geniş tətbiq olunur.

Hava nəqliyyatı sürət baxımından üstünlük təşkil edir və əsasən yüksək dəyərli, tez xarab olan və ya təcili çatdırılmalı yüklər üçün istifadə edilir. Bu nəqliyyat növünün əsas çatışmazlığı isə yüksək maya dəyəridir.

Müasir mərhələdə bu nəqliyyat növlərinin inteqrasiyası nəticəsində multimodal daşımalar sistemi formalaşmışdır ki, bu da daşımaların səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

III. AZƏRBAYCANIN TRANZİT POTENSİALI VƏ GEOİQTİSADİ MÖVQEYİ

Azərbaycanın yerləşdiyi coğrafi mövqe onu beynəlxalq nəqliyyat sistemində strateji əhəmiyyətli tranzit ölkəyə çevirir. Ölkə Şərq ilə Qərb arasında körpü rolunu oynamaqla yanaşı, Şimal-Cənub istiqamətində də mühüm nəqliyyat əlaqələrini təmin edir.

Azərbaycan üzərindən keçən beynəlxalq nəqliyyat dəhlizləri regionlararası ticarətin inkişafına mühüm töhfə verir. Xüsusilə Orta Dəhliz marşrutu Asiya ilə Avropa arasında alternativ və daha sürətli daşınma imkanları yaradır. Bu marşrutun inkişafı Azərbaycanın beynəlxalq iqtisadi münasibətlərdə rolunu gücləndirir.

Bununla yanaşı, ölkədə nəqliyyat infrastrukturunun inkişafı – limanların, dəmir yolu xətlərinin və avtomobil yollarının modernləşdirilməsi tranzit daşımaların həcminin artmasına şərait yaradır.

Beynəlxalq nəqliyyat sistemləri bir sıra struktur və institusional problemlərlə üzləşir. İnfrastrukturun qeyri-bərabər inkişafı daşımaların effektivliyinə mənfi təsir göstərir və bəzi regionların qlobal ticarətdə iştirak imkanlarını məhdudlaşdırır.

Gömrük prosedurlarının mürəkkəbliyi və sənədləşmə proseslərinin uzun müddət tələb etməsi logistika əməliyyatlarının sürətini azaldır. Bu isə əlavə xərclərin yaranmasına səbəb olur.

Bundan əlavə, geosiyasi gərginliklər və beynəlxalq münasibətlərdə qeyri-sabitlik nəqliyyat marşrutlarının təhlükəsizliyinə təsir göstərir. Enerji resurslarının qiymətindəki dəyişkənlik də daşımaların maya dəyərinə təsir edən mühüm amildir.

IV. İNKİŞAF PERSPEKTİVLƏRİ VƏ STRATEJİ İSTİQAMƏTLƏR

Beynəlxalq nəqliyyat daşımalarının gələcək inkişafı daha çox inteqrasiya olunmuş nəqliyyat sistemlərinin formalaşdırılması ilə bağlı olacaqdır. Regional əməkdaşlığın gücləndirilməsi və nəqliyyat dəhlizlərinin genişləndirilməsi qlobal ticarətin inkişafına müsbət təsir göstərəcəkdir.

Multimodal daşımaların daha geniş tətbiqi və nəqliyyat xidmətlərinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi bu sahədə əsas prioritetlərdən biri hesab olunur. Eyni zamanda, tranzit ölkələrin rolunun artması və onların beynəlxalq ticarətdə fəal iştirakının təmin olunması mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Azərbaycanın bu prosesdə aktiv iştirakı ölkənin iqtisadi inkişafına, regional mövqeyinin güclənməsinə və beynəlxalq nüfuzunun artmasına xidmət edir.

CƏDVƏL 1. NƏQLİYYAT NÖVLƏRİNİN MÜQAYİSƏLİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Nəqliyyat növləri	**Xüsusiyyətləri**		
Dəniz nəqliyyatı	aşağı xərc	uzun müddət	böyük həcm
Dəmir yolu nəqliyyatı	orta xərc	sabitlik	yüksək təhlükəsizlik
Avtomobil nəqliyyatı	orta xərc	qısa məsafə	sürətli çatdırılma
Hava nəqliyyatı	yüksək xərc	çox sürətli	az həcm

V. NƏTİCƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, beynəlxalq nəqliyyat daşımaları qlobal iqtisadi sistemin funksionallığını təmin edən əsas mexanizmlərdən biridir. Bu sahənin inkişafı iqtisadi inteqrasiyanın dərinləşməsinə, ticarət dövriyyəsinin artmasına və ölkələrin rəqabət qabiliyyətinin yüksəlməsinə səbəb olur. Azərbaycanın transit potensialının reallaşdırılması isə onun qlobal nəqliyyat sistemində mövqeyini daha da gücləndirir.

ƏDƏBİYYAT

1. Rodrigue, J.P. The Geography of Transport Systems
2. Stopford, M. Maritime Economics
3. Button, K. Transport Economics
4. UNCTAD Review of Maritime Transport
5. World Bank Transport Reports
6. OECD International Transport Forum Studies

KƏTAN VƏ SAFLOR YAĞLARINDAN AYRILMIŞ TURŞULAR ƏSASINDA KOMPLEKS DUZLARIN ALINMASI VƏ ONLARIN SƏTHİ- AKTİV XASSƏLƏRİNİN TƏDQİQİ

A.R.NƏCƏFLİ, L.İ. ƏLİYEVA
Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil
Nazirliyinin Akademik Y.H.Məmmədəliyev
adına Neft-Kimya Prosesləri İnstitutu
necefliayten7@gmail.com
AZƏRBAYCAN, BAKI

XÜLASƏ

Kətan və zəfəran (safflower) yağları geniş istifadə olunan texniki yağlar hesab edilir. Onların tərkibindəki triqliseridlər yüksək miqdarda doymamış yağ turşuları (xüsusilə linolen, linol və olein turşuları) ehtiva edir. Kətan yağında bu maddələrin miqdarı 45–60% arasında dəyişir. Bu yağlar müxtəlif kimyəvi modifikasiyalara (məsələn, epoksidləşmə, sulfatlaşma) məruz qalır və səthi aktiv maddələrin, plastifikatorların və digər sənaye məhsullarının sintezi üçün xammal kimi geniş istifadə olunur. Bitki mənşəli olduqlarına görə onlar ekoloji cəhətdən təhlükəsiz, bioloji parçalanan və bərpa olunan resurslar hesab edilir. Buna görə də neft mənşəli yağlara alternativ kimi böyük əhəmiyyət kəsb edirlər.

Açar sözlər: kətan yağı, zəfəran yağı, doymamış yağ turşuları, kimyəvi modifikasiya, bioloji parçalanan yağlar.

ABSTRACT

Linseed and safflower oils are considered widely used technical oils. The triglycerides in their composition contain a high amount of unsaturated fatty acids (especially linolenic, linoleic, and oleic acids). In linseed oil, this content ranges between 45–60%. These oils undergo various chemical modifications (such as epoxidation, sulfation) and are widely used as raw materials for the synthesis of surfactants, plasticizers, and other industrial products.Since they are of plant origin, they are considered environmentally safe, biodegradable, and renewable resources, and for this reason, they are of great importance as alternatives to petroleum-based oils.

Keywords: linseed oil, safflower oil, unsaturated fatty acids, chemical modification, biodegradable oils.

GİRİŞ

Bitki mənşəli yağlar kimya və sənaye sahəsində geniş istifadə olunan mühüm təbii xammallardan hesab olunur. Xüsusilə kətan və zəfəran yağları tərkibində yüksək miqdarda doymamış yağ turşularının olması ilə seçilir. Bu yağların tərkibində əsasən linolen, linol və olein turşuları üstünlük təşkil edir ki, bu da onların müxtəlif kimyəvi reaksiyalara asanlıqla daxil olmasına imkan yaradır. Bu xüsusiyyətlər həmin yağların sənayedə müxtəlif məhsulların istehsalında istifadə olunmasını mümkün edir.

Müasir dövrdə neft mənşəli xammalların alternativlərinin axtarışı aktual məsələlərdən biri hesab olunur. Bu baxımdan bitki yağları ekoloji cəhətdən təhlükəsiz, bioloji parçalanan və bərpa olunan resurslar kimi böyük əhəmiyyət kəsb edir. Kətan və zəfəran yağlarının müxtəlif kimyəvi modifikasiyalara məruz qalması nəticəsində səthi aktiv maddələr, plastifikatorlar və digər sənaye məhsullarının alınması mümkün olur. Buna görə də bu yağların tədqiqi və onların əsasında yeni məhsulların sintezi müasir kimya sənayesində mühüm istiqamətlərdən biri hesab edilir.

Kətan və zəfəran yağlarının kimyəvi tərkibi və təhlili

Kətan və saflor yağları texniki yağ kimi geniş istifadə olunan yağlardan sayılır. Onların tərkibində olan triqliseridlərdə doymamış yağ turşularının (xüsusilə linolen, linol,olein turşuları) miqdarı yüksəkdir.. Kətan yağında bu göstərici 45-60%-dir. Bu yağlar müxtəlif kimyəvi modifikasiyalara (məsələn, epoksidləşmə, sulfatlaşdırma) məruz qalaraq səthi-aktiv maddələr, plastifikatorlar və digər sənaye məhsullarının sintezi üçün

ilkin xammal kimi geniş istifadə olunur (Abbasov, Ismailov, Aliyeva, Rzayeva, Agamalieva, Pashayeva, Shirinov, 2016). Bitki mənşəli olduqları üçün ekoloji cəhətdən təhlükəsiz, bioloji parçalanan, bərpa olunan resurslar hesab olunurlar və bu səbəbdən neft mənşəli yağlara alternativ kimi mühüm əhəmiyyət daşıyırlar. Təqdim olunan işdə kətan və saflor yağlarından ayrılmış ali karbon turşuları qarışığı və fərdi linolen turşusu (C18:3) əsasında anion tərkibli maddələrin sintezinə dair tədqiqat nəticələri verilmişdir. Cədvəl 1-də bu yağların bir sıra keyfiyyət göstəriciləri təqdim edilmişdir.

***Cədvəl 1**. Bitki yağlarının keyfiyyət göstəriciləri*

Nümunə	**Sıxlıq, q/sm^3 20°C**	**Şüasındırma əmsalı, 20°C**	**Yod ədədi q/100q**
Kətan yağı	0.9596	1.4758	180
Saflor yağı	0.8778	1.4764	150

***Mənbə:** Müəllif tərəfindən tərtib edilmişdir.*

Bu yağların tərkibində olan triqliseridlərdən ayrılmış turşular əsasında sulfoturşular alınmış və müvafiq olaraq kalium, natrium, kalsium və magnezium duzları otaq temperaturunda sintez edilmişdir. Sintez olunmuş duzlar tələb olunan fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərə və səthi aktivliyə malikdir. Tədqiqatlar göstərir ki, ən yüksək səthi aktivlik linolen turşusunun sulfatlaşdırılmış natrium duzunda müşahidə olunur – kerosin-su sərhədində səthi gərilmə 47 mN/m-dən 3.27 mN/m-ə qədər azalmışdır. Bu nəticə birləşmənin səthi aktivliyə malik olduğunu və molekullarının difil quruluşa sahib olduğunu göstərir (Abbasov, Abd El-Lateef, Aliyeva, Ismayilov, Khalaf, 2012).

Alınmış səthi aktiv maddələrin kolloid-kimyəvi xüsusiyyətlərini araşdırmaq məqsədilə linolen turşusu əsasında sintez olunmuş natrium və kalium duzlarının müxtəlif qatılıqlarda (0.05–2.0 g/l) sulu məhlulları hazırlanmışdır. Cədvəl 2-də təqdim olunan məlumatlardan görünür ki, qatılıq artdıqca səthi gərilmə azalır. Ən yüksək səthi aktivlik sulfatlaşdırılmış linolen turşusunun natrium duzunda müşahidə olunur. Kerosin-su sərhədində səthi gərilmə 47 mN/m-dən 3.17 mN/m-ə qədər azalır. Bu göstəricilər bir daha sübut edir ki, həmin birləşmənin molekulları səthi aktivliyə malikdir və difil quruluşa sahibdir - yəni həm hidrofil, həm də hidrofob hissələrə malik böyük karbohidrogen radikalları ehtiva edir. Alınan səthi-aktiv maddələr ionogen xarakter daşıyır, çünki temperatur artdıqca onların suda həllolma qabiliyyəti artır və nəticədə fiziki-kimyəvi göstəricilərdə dəyişiklik baş verir (Abd El-Lateef, Abbasov, Aliyeva, Ismayilov, 2012).

***Cədvəl 2**. Linolen turşusu əsasında alınan Na və K duzlarının sulu məhlullarının səthi gərilməsi*

Həcm, ml	**Qatılıq, g/l**	**Na duzunun səthi gərilməsi, mN/m**	**Ka duzunun səthi gərilməsi, mN/m**
0.5	0.05	42.4	50.3
5.0	0.5	19.7	39.3
10.0	1.0	8.2	15.3
20.0	2.0	4.10	5.1

***Mənbə:** Müəllif tərəfindən tərtib edilmişdir.*

NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqatların nəticəsi olaraq müəyyən edilmişdir ki, kətan və saflor yağlarında olan doymamış yağ turşularından həm ekoloji, həm də iqtisadi cəhətdən səmərəli və çoxfunksiyalı səthi-aktiv maddələr alına bilər. Bu yağlar əsasən linol, linolen və olein turşuları ilə zəngin olduğuna görə müxtəlif kimyəvi çevrilmələrə asanlıqla daxil olur və onların əsasında yeni funksional birləşmələr sintez edilə bilər. Alınan səthi-aktiv maddələr yüksək emulqasiya, yuyucu və dispersiya xüsusiyyətlərinə malikdir və müxtəlif sənaye sahələrində tətbiq oluna bilər. Bundan əlavə, bu maddələrin bitki mənşəli xammaldan alınması onların bioloji parçalanmasını asanlaşdırır və ətraf mühitə mənfi təsirin azalmasına imkan yaradır. Buna görə də kətan və saflor yağları əsasında alınan səthi-aktiv maddələr həm ekoloji təhlükəsizlik, həm də iqtisadi səmərəlilik baxımından perspektivli hesab olunur.

ƏDƏBİYYAT SIYAHISI

1. Abbasov V.M., Ismailov T.A., Aliyeva L.I., Rzayeva N.S., Agamalieva G.T., Pashayeva N.G., Shirinov P.M. (2016). "Synthesis of anionic surfactants based on cottonseed oil and their study as anti-corrosive reagents of complex action". // Processes of Petrochemistry and Oil Refining. Vol.16. No.4(64). pp. 299-311.
2. Abbasov V.M., Hany M. Abd El-Lateef., Aliyeva L.I., Ismayilov T.A., Mai M. Khalaf. (2012). "Inhibitive performance of sulfated fatty acid sodium salt as corrosion inhibitor for carbon steel in CO2 - saturated solutions"// Scientific Works - Fundamental Sciences. No. 2 volume X (42) p. 176-183.

Abd El-Lateef. H.M., Abbasov. V.M., Aliyeva. L.I., Ismayilov. T.A. (2012). "Corrosion protection of steel pipelines against CO_2 corrosion—a review". // Chem. J. 2. 52–63.

SƏNAYE 4.0 VƏ SÜNİ İNTELLEKT: İSTEHSALATDA YENİ ERA

Vurğun Qəhrəmanov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik fakültəsi
Tədris işləri üzrə Dekan müavini
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
vqahremanov@beu.edu.az

Cavid Dadaşzadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Sənaye mühəndisliyində innovativ texnologiyalar
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
cdadashzade1@std.beu.edu.az

Xülasə: Dördüncü Sənaye İnqilabının Mahiyyəti. Bəşəriyyət tarixi boyu bir neçə böyük sıçrayış edib: buxar mühərriki (1.0), elektrik enerjisi (2.0) və avtomatlaşdırma (3.0). Bu gün biz Sənaye 4.0 adlanan dövrün tam mərkəzindəyik. Bu mərhələni əvvəlkilərdən fərqləndirən əsas cəhət maşınların sadəcə iş görməsi deyil, həm də "düşünməsi" və bir-biri ilə ünsiyyət qurmasıdır.

Sənaye 4.0-ın əsas hərəkətverici qüvvəsi Süni İntellektdir (Sİ). Əgər Sənaye 4.0 bir bədəndirsə, Sİ onun beynidir.

Abstract: The Essence of the Fourth Industrial Revolution. Throughout human history, humanity has made several major leaps: the steam engine (1.0), electricity (2.0), and automation (3.0). Today, we are in the midst of what is called Industry 4.0. The main feature that distinguishes this stage from previous ones is that machines not only do work, but also "think" and communicate with each other.

The main driving force of Industry 4.0 is Artificial Intelligence (AI). If Industry 4.0 is a body, AI is its brain.

Açar sözlər: *Sənaye, sistem, montaj, intellekt, temperatur, sensor*
Key words: *Industry, system, assembly, intelligence, temperature, sensor*

I. GİRİŞ

Sənaye 4.0-ın Doqquz Əsas Sütunu

Bu inqilab bir neçə texnologiyanın sinerjisindən yaranır:

1. **Əşyaların İnterneti (IoT):** Cihazların sensorlar vasitəsilə məlumat paylaşması.
2. **Böyük Verilənlər (Big Data):** İstehsalatda yaranan nəhəng informasiya axını.
3. **Bulud Hesablamaları:** Məlumatların uzaq serverlərdə saxlanması və işlənməsi.
4. **Kiber Təhlükəsizlik:** Rəqəmsal sistemlərin qorunması.
5. **Avtonom Robotlar:** İnsan müdaxiləsi olmadan qərar verən robotlar.
6. **Simulyasiya və Rəqəmsal Əkizlər:** Fiziki prosesin virtual kopyası.
7. **Sistem İnteqrasiyası:** Bütün proqram təminatlarının birgə işləməsi.
8. **Əlavəli İstehsal (3D Çap):** Mürəkkəb hissələrin qat-qat çap edilməsi.
9. **Artırılmış Reallıq (AR):** İşçilərə təmir və montaj zamanı rəqəmsal yardım.

Süni İntellektin İstehsalatda Praktiki Tətbiqləri

Süni intellekt istehsalatda sadəcə "robot qol" demək deyil. Gəlin onunən kritik tətbiq sahələrinə baxaq:

A. Proqnozlaşdırıcı Texniki Xidmət (Predictive Maintenance)

Ənənəvi zavodlarda bir maşın xarab olanda iş dayanır və təmir başlayır (Reaktiv xidmət). Sİ isə sensorlardan gələn vibrasiya, temperatur və səs məlumatlarını analiz edərək maşının **nə vaxt xarab olacağını öncədən deyir**.

Nəticə: Gözlənilməz dayanmaların 50% azalması və təmir xərclərinin 20-30% aşağı düşməsi.

B. Kompüter Görməsi (Computer Vision) ilə Keyfiyyətə Nəzarət

İnsan gözü yorulur, diqqəti dağılır. Lakin Sİ əsaslı kameralar saniyədə yüzlərlə məhsulu skan edir və mikroskopik çatları belə müəyyən edir.

Misal: Avtomobil istehsalında boyadakı 0.1 mm-lik qüsuru Sİ dərhal tapır.

C. Tədarük Zəncirinin Optimizasiyası

Sİ qlobal bazardakı trendləri, hava şəraitini və logistika ləngimələrini analiz edərək zavoda nə qədər xammal lazım olacağını dəqiq proqnozlaşdırır. Bu, anbar xərclərini minimuma endirir.

D. Generativ Dizayn (Generative Design)

Mühəndislər Sİ-yə parametrləri (çəki, dözümlülük, material) daxil edir və Sİ minlərlə dizayn variantı yaradır. Bu dizaynlar çox vaxt insanların heç ağlına belə gəlməyən, lakin daha möhkəm və yüngül strukturlar olur.

Rəqəmsal Əkizlər (Digital Twins)

Bu, Sənaye 4.0-ın ən maraqlı konsepsiyalarından biridir. Fiziki bir zavodun və ya cihazın tam rəqəmsal surəti yaradılır.

Necə işləyir? Real maşındakı sensorlar bütün məlumatları virtual kopyaya ötürür.

Üstünlüyü: Yeni bir istehsal xəttini qurmazdan əvvəl onu virtual aləmdə sınaqdan keçirib səhvləri görmək mümkündür.

Süni İntellektin İqtisadi və Sosial Təsirləri

İqtisadi Faydalar:

Göstərici	Gözlənilən təsir
Məhsuldarlıq	35-40% artım
Enerji səmərəliliyi	35-40% artım
Məhsulun bazara çıxma sürəti	35-40% artım

II. MATERİAL VƏ METOD

İnsan Amili: Robotlar işimizi əlimizdən alacaq?

Bu, ən çox verilən sualdır. Sİ ağır, təhlükəli və təkrarlanan işləri öz üzərinə götürür. İnsanlar isə daha kreativ, idarəedici və strateji rollara keçirlər. Yeni dövrdə "Məlumat Analitiki", "Robot Koordinatoru" kimi peşələr yaranır.

Sənaye 4.0-a Keçiddə Qarşıya Çıxan Çətinliklər

1. **Yüksək İlkin İnvestisiya:** Texnologiyanın qurulması baha başa gəlir.
2. **Kadr Çatışmazlığı:** Sİ və Böyük Verilənlər üzrə mütəxəssis tapmaq çətindir.
3. **Kiber Təhlükəsizlik:** Bütün zavod internetə bağlıdırsa, o, hakerlər üçün hədəfə çevrilə bilər.
4. **Məlumat Standartları:** Fərqli markalı maşınların eyni "dildə" danışmasını təmin etmək.

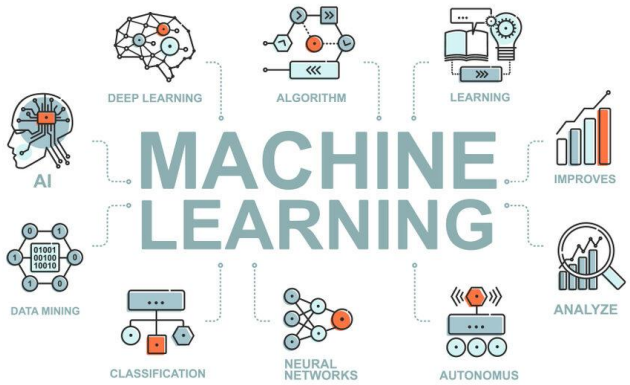
Sənaye 3.0 və Sənaye 4.0: Aradakı Fundamental Fərqlər

Bir çoxları Sənaye 4.0-ı sadəcə "daha yaxşı avtomatlaşdırma" hesab edir, lakin bu səhvdir.

Xüsusiyyət	Sənaye 3.0 (Avtomatlaşdırma)	Sənaye 4.0 (İntellekt)
Qərar vermə	İnsanlar tərəfindən idarə olunur	Maşınlar tərəfindən avtonom verilir
Məlumat axını	Mərkəzləşdirilmiş (Yuxarıdan aşağı)	Paylanmış və real-vaxtlı (Hər tərəfə)
Məhsul növü	Kütləvi istehsal (Standart)	Kütləvi fərdiləşdirmə (Hər müştəriyə özəl)
Əsas texnologiya	PLC və İnsan-Maşın İnterfeysi (HMI)	Süni İntellekt və Bulud (Cloud)

Maşın Öyrənməsi (Machine Learning) İstehsalatın Harasındadır?
Süni intellektin alt qolu olan **Maşın Öyrənməsi (ML)** fabriklərdə "təcrübəli usta" rolunu oynayır.

- **Anomaliyaların aşkarlanması:** ML alqoritmləri normal iş rejimini öyrənir. Əgər bir mühərrikin vibrasiyası adi haldan 2% kənara çıxarsa, sistem bunu dərhal "anomaliya" kimi qeyd edir.
- **Enerji optimallaşdırılması:** AI fabrikin ventilyasiya, işıqlandırma və soyutma sistemlərini istehsalat yükünə görə tənzimləyir. Bu, nəhəng zavodlarda illik milyonlarla dollar qənaət deməkdir.



"Kütləvi Fərdiləşdirmə" (Mass Customization) Konsepsiyası
Sənaye 4.0-ın gətirdiyi ən böyük inqilablardan biri budur. Əvvəllər bir zavodda eyni anda yalnız bir növ məhsul istehsal etmək sərfəli idi.
İntellektual konveyerlər: Sİ sayəsində konveyer xətti üzərində hər gələn məhsulun rəngini, dizaynını və funksiyasını saniyələr içində dəyişmək mümkündür.
Nümunə: Bir ayaqqabı fabriki eyni gün ərzində 10.000 fərqli müştəri üçün 10.000 fərqli dizaynda ayaqqabı istehsal edə bilir (Sİ-nin logistika və robotik idarəetməsi sayəsində).

10. Cobot-lar: İnsan və Robotun "Əl-ələ" İşləməsi
Ənənəvi sənaye robotları böyük, təhlükəli və qəfəslər arxasında olurdu. **Cobot (Collaborative Robot)** isə fərqlidir:
Təhlükəsizlik: Sİ sensorları sayəsində cobot insanın hərəkətini hiss edir və toxunma anında dayanır.
Öyrənmə qabiliyyəti: Cobot-u proqramlaşdırmaq üçün kod yazmağa ehtiyac yoxdur; onun qolunu hərəkət etdirərək ona bir işi "göstərmək" kifayətdir, o isə bunu yadda saxlayır.



Kiber-Fiziki Sistemlər (CPS) və Təhlükəsizlik

Bütün cihazlar internetə bağlı olduqda, kiber-hücum riski artır. Sənaye 4.0 mühitində Sİ həm də müdafiəçi rolundadır:

Sİ əsaslı təhlükəsizlik: Şəbəkəyə sızma cəhdlərini saniyənin mində biri sürətində aşkar edir və istehsalatı qoruyur.

Məlumat suverenliyi: Şirkətlər öz istehsalat sirlərini bulud texnologiyalarında qorumaq üçün Sİ-nin şifrələmə üsullarından istifadə edirlər.

İnsan Resurslarının Transformasiyası: Yeni Bacarıqlar

Sənaye 4.0 dövründə bir işçinin sahib olmalı olduğu **TOP 3 bacarıq**:

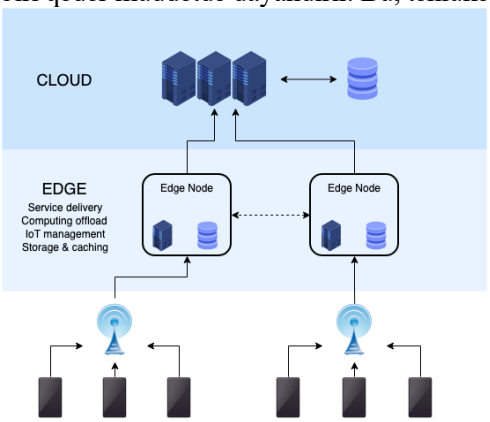
1. **Məlumat savadlılığı:** Robotların və sensorların verdiyi rəqəmləri oxumaq və başa düşmək.
2. **Sistemli düşüncə:** Bir hissədə olan xətanın bütün zəncirə necə təsir etdiyini görmək.
3. **Yumşaq bacarıqlar (Soft Skills):** Maşınların edə bilmədiyi tənqidi düşünmə və emosional intellekt.

"Uc Hesablamalar" (Edge Computing): Sürətli Qərar Vermənin Sırrı

Bulud texnologiyaları (Cloud) möhtəşəmdir, lakin sənaye robotu üçün məlumatın uzaq serverə gedib-qayıtması çox vaxt apara bilər (gecikmə - latency).

Edge Computing nədir? Məlumatın yarandığı yerdə — yəni birbaşa maşının yanındakı kiçik prosessorda emal edilməsidir.

Sİ ilə əlaqəsi: Sİ alqoritmləri "Edge" cihazlarda işləyərək, məsələn, bir qəza anında robotu saniyənin mində biri qədər müddətdə dayandırır. Bu, təhlükəsizlik üçün kritikdir.



Əlavəli İstehsal (3D Çap) və Sİ-nin Sinerjisi

Sənaye 4.0-ın ən güclü silahlarından biri 3D çapdır. Sİ bu sahədə necə kömək edir?

Topoloji Optimizasiya: Sİ bir detalın harasında daha çox yük olduğunu hesablayır və 3D printerə yalnız lazım olan yerlərə material qoymağı tapşırır. Nəticədə 50% daha yüngül, lakin eyni dərəcədə möhkəm detallar yaranır.

Həmin an istehsal: Ehtiyat hissələri anbarlarda saxlamaq əvəzinə, lazım olduqda Sİ tərəfindən dizayn edilib yerindəcə çap olunur. Bu, "sıfır anbar" (Zero Inventory) siyasətinə yol açır.

ƏDƏBİYYAT

[1] Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum.
[2] Schwab, K.,&Davis, N. (2018). Shaping the Future of the Fourth Industrial Revolution. Currency.
[3] Marr, B. (2019). Artificial Intelligence in Practice: How 50 Successful Companies Used AI and Machine Learning to Solve Problems. Wiley.
[4] Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T.,&Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. Business&Information Systems Engineering.
[5] Siemens AG. Digital Twin: The simulation of the physical world in the digital world.
[6] Microsoft Azure. IoT and AI in Manufacturing: Predictive Maintenance Solutions.

TEXNOLOJİ AVADANLIQLARIN İDARƏ OLUNMASINDA TEXNİKİ-TƏMİR İŞLƏRİNİN EFFEKTİVLİYİNİN ARTIRILMASI METODLARI

Vurğun Qəhrəmanov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Sənaye mühəndisliyində innovativ texnologiyalar
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
vqahremanov@beu.edu.az

Talıb Allahquliyev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Sənaye mühəndisliyində innovativ texnologiyalar
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
tallahquliyev@std.beu.edu.az

Xülasə: Texnoloji avadanlıqlar müasir müəssisələrdə istehsalın, xidmətin və əməliyyatların effektivliyində mühüm rol oynayır. Bu avadanlıqların fasiləsiz və etibarlı işləməsi üçün texniki-təmir işlərinin düzgün təşkili və idarə olunması vacibdir. Məqalədə texniki-təmir proseslərinin səmərəliliyinin artırılması üçün müxtəlif metodlar və müasir yanaşmalar araşdırılır. Xüsusilə proqnozlaşdırıcı təmir, rəqəmsal monitorinq sistemləri, məlumat əsaslı qərar qəbuletmə və avadanlığın ömrünü uzadan optimallaşdırılmış texniki-təmir strategiyaları önə çıxarılır. Məqsəd müəssisələrdə texnoloji avadanlıqlarnın istismar xərclərini azaltmaq, iş səmərəliliyini artırmaq və avadanlığın fasiləsiz işləmə müddətini maksimuma çatdırmaqdır.
Açar sözlər: *Təmir, xərc, avadanlıq, qənaət, metod*

Abstract: Technological equipment plays an important role in the efficiency of production, service and operations in modern enterprises. For the uninterrupted and reliable operation of this equipment, it is important to properly organize and manage maintenance work. The article examines various methods and modern approaches to increasing the efficiency of maintenance processes. In particular, predictive maintenance, digital monitoring systems, data-based decision-making and optimized maintenance strategies that extend the life of equipment are highlighted. The goal is to reduce the operating costs of technological equipment in enterprises, increase work efficiency and maximize the uninterrupted operation of equipment
Keywords: *Repair, cost, equipment, savings, method*

I. GİRİŞ

Müasir müəssisələrdə texnoloji avadanlıqlar istehsalın, xidmətin və əməliyyat proseslərinin effektivliyində həlledici rol oynayır. Avadanlıqların fasiləsiz və etibarlı işləməsi müəssisənin ümumi məhsuldarlığı və rəqabət qabiliyyətini birbaşa təsir edir. Bu səbəbdən, texnoloji avadanlıqların idarə olunması və onların işləmə qabiliyyətinin qorunması müasir istehsal və xidmət müəssisələri üçün aktual və vacib məsələlərdən biridir.

Texniki-təmir işlərinin idarə edilməsinin əhəmiyyəti. Texniki-təmir işlərinin düzgün planlaşdırılması və həyata keçirilməsi avadanlıqların nasazlıq riskini azaldır, onların ömrünü uzadır və əməliyyat xərclərini optimallaşdırır. Effektiv texniki-təmir prosesi müəssisəyə həm maddi, həm də əməliyyat baxımından böyük fayda təmin edir, avadanlıqların fasiləsiz işləməsini və məhsuldarlığın yüksək səviyyədə saxlanmasını təmin edir.

Məqalənin məqsədi. Bu məqalənin məqsədi texnoloji avadanlıqların texniki-təmir işlərinin səmərəliliyini artırmaq üçün müxtəlif metodları təqdim etmək və tətbiq perspektivlərini araşdırmaqdır. Məqalədə proqnozlaşdırıcı və profilaktik təmir, rəqəmsal monitorinq sistemləri, məlumat əsaslı qərar qəbuletmə və avadanlıqların ömrünü uzadan strategiyalar kimi müasir yanaşmaların üstünlükləri və tətbiqi imkanları nəzərdən keçiriləcək.

XXX-X-XXXX-XXXX-X/XX/$XX.00 ©20XX IEEE

II. MATERİAL VƏ METOD

Texnoloji avadanlıqlar müəssisələrin istehsal və xidmət proseslərində müxtəlif funksiyaları yerinə yetirir. Onlar əsasən istehsal xəttində istifadə olunan maşın və qurğular, laboratoriya və ölçü avadanlıqları, nəqliyyat və daşınma sistemləri, həmçinin informasiya və idarəetmə sistemlərinə daxil olan qurğular kimi qruplaşdırıla bilər. Hər bir avadanlıq növü spesifik funksiyaları yerinə yetirir və müəssisənin ümumi məhsuldarlığına birbaşa təsir göstərir. Ənənəvi idarəetmə sistemlərində texnoloji avadanlıqların vəziyyəti əsasən dövri baxışlar və təmir jurnalları vasitəsilə izlənir. Bu yanaşma avadanlıqların nasazlıq risklərini proqnozlaşdırmaqda məhdud imkanlara malikdir və təmir yalnız problem yarandıqda həyata keçirilir. Müasir idarəetmə yanaşmaları isə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi ilə fərqlənir. Real vaxt monitorinqi, sensorlar və məlumatların avtomatlaşdırılmış analizi texnoloji avadanlıqların vəziyyətini dəqiq izləməyə, nasazlıqların qarşısını almağa və proqnozlaşdırıcı təmir planları hazırlamağa imkan verir. Bu yanaşmalar müəssisənin resurslarını səmərəli idarə etməyə və iş proseslərinin fasiləsizliyini təmin etməyə xidmət edir. Texnoloji avadanlıqların işləmə və nasazlıq risklərinin idarə olunması onların fasiləsiz və təhlükəsiz fəaliyyətini təmin etmək üçün vacibdir. Bu prosesə avadanlığın vəziyyətinin mütəmadi monitorinqi, potensial nasazlıqların erkən müəyyən edilməsi və təmirin vaxtında planlaşdırılması daxildir. Effektiv risk idarəetməsi müəssisəyə xərcləri azaltmaq, avadanlığın ömrünü uzatmaq və məhsuldarlığı artırmaq imkanı verir. Müasir metodlar – proqnozlaşdırıcı təmir, məlumat əsaslı qərar qəbuletmə və avtomatlaşdırılmış monitorinq sistemləri – texnoloji avadanlıqların nasazlıq risklərini minimuma endirir və idarəetməni daha səmərəli edir.

III. Texniki-təmir işlərinin növləri

Texnoloji avadanlıqların fasiləsiz və təhlükəsiz işləməsini təmin etmək üçün müxtəlif texniki-təmir işləri həyata keçirilir. Bu işlərin düzgün planlaşdırılması və seçilməsi müəssisədə xərclərin azaldılması, avadanlığın ömrünün uzadılması və istehsal proseslərinin fasiləsizliyinin təmin edilməsi baxımından kritik əhəmiyyət kəsb edir. Proqnozlaşdırıcı təmir texnoloji avadanlıqların real vaxtda monitorinqinə və məlumatların analizinə əsaslanır. Sensorlar və IoT sistemləri vasitəsilə avadanlığın işləmə parametrləri – temperatur, vibrasiya, səs, enerji sərfi və digər göstəricilər – daimi izlənir. Toplanmış məlumatlar analiz edilərək, potensial nasazlıqlar və avadanlığın arızalanma ehtimalları əvvəlcədən müəyyən edilir. Bu yanaşma yalnız problem yarandıqda deyil, nasazlıq baş verməzdən əvvəl müdaxilə etməyə imkan verir. Nəticədə, avadanlıq fasiləsiz işləyir, gözlənilməz xərclər azalır və təmir üçün lazım olan resurslar optimallaşdırılır. Profilaktik təmir planlı və dövri əsasda həyata keçirilir. Burada məqsəd avadanlıq nasazlıq yaratmazdan əvvəl müntəzəm yoxlamalar, təmizləmə, yağlama, dəyişdirmə və digər xidmətlərin aparılmasıdır. Bu növ təmir texnoloji avadanlıqların ömrünü uzadır və qəfil nasazlıqların qarşısını alır. Profilaktik təmir həm də işçi heyət və ehtiyat hissələrindən səmərəli istifadəni təmin edir, çünki təmir prosesi əvvəlcədən planlaşdırıldığı üçün resursların çatışmazlığı riski azalır. Təmir sonrası analiz əsasən nasazlıq və ya qəza baş verdikdən sonra həyata keçirilir. Bu prosesdə avadanlığın nasazlıq səbəbləri müəyyən edilir, problemlər aradan qaldırılır və gələcəkdə oxşar halların təkrarlanmaması üçün qabaqlayıcı tədbirlər planlaşdırılır. Təmir sonrası analiz müəssisəyə həm avadanlığın işləmə effektivliyini qiymətləndirməyə, həm də texniki-təmir proseslərini optimallaşdırmağa imkan verir. Müasir texnoloji avadanlıqların idarə olunmasında onlayn monitorinq və sensor texnologiyaları əsas rol oynayır. Avadanlığın işləmə vəziyyəti real vaxtda izlənir, potensial nasazlıqlar erkən aşkar olunur və texniki heyət dərhal müdaxilə edə bilir. Bu sistemlər həm proqnozlaşdırıcı, həm də profilaktik təmirin effektivliyini artırır. Rəqəmsal monitorinq vasitəsi ilə toplu məlumatların təhlili və avtomatlaşdırılmış hesabatlar texniki-təmir işlərinin planlaşdırılmasını sadələşdirir və müəssisəyə həm vaxt, həm də maliyyə baxımından qənaət imkanı verir.

IV. Müasir texnologiyaların tətbiqi

Texnoloji avadanlıqların idarə olunmasında və texniki-təmir işlərinin effektivliyinin artırılmasında müasir texnologiyalar mühüm rol oynayır. Rəqəmsal sistemlər, avtomatlaşdırılmış platformalar və süni intellekt tətbiqləri təmir proseslərini daha sürətli, dəqiq və qənaətcil edir. Aşağıdakı yanaşmalar xüsusilə əhəmiyyətlidir:

ERP (Enterprise Resource Planning) və CMMS (Computerized Maintenance Management System) sistemləri texnoloji avadanlıqların idarə olunmasını və təmir proseslərinin rəqəmsallaşdırılmasını təmin edir.

- **ERP sistemləri** müəssisənin resurslarını, işçi qüvvəsini və avadanlıqları vahid platformada idarə etməyə imkan verir. Bu sistem vasitəsi ilə təmir üçün ehtiyat hissələrin sifarişi, iş planlarının hazırlanması və xərclərin izlənməsi asanlaşır.
- **CMMS sistemləri** avadanlığın texniki vəziyyətini izləmək, təmir işlərini planlaşdırmaq və baxış dövrlərini optimallaşdırmaq üçün nəzərdə tutulub. Sistem avtomatik olaraq təmir bildirişləri yaradır, nasazlıqları qeydə alır və təmir prosesinin səmərəliliyini artırır.

1) Avtomatlaşdırılmış texniki xidmət platformaları

Müasir müəssisələrdə texniki-təmir işləri artıq tam və ya qismən avtomatlaşdırılmış platformalar vasitəsi ilə həyata keçirilir. Bu platformalar:

- Avadanlıq vəziyyətini real vaxtda monitorinq edir,
- Potensial problemləri dərhal aşkar edir,
- Texniki heyətə lazımi əməliyyatları təklif edir.

Avtomatlaşdırılmış platformalar həm insan səhvlərini azaldır, həm də təmir proseslərinin sürətini və effektivliyini artırır. Nəticədə texnoloji avadanlıqların fasiləsiz işləmə müddəti uzanır və müəssisənin məhsuldarlığı yüksəlir.

2) AI və Machine Learning ilə proqnozlaşdırıcı təmir

Süni intellekt (AI) və Machine Learning texnologiyaları texniki-təmir proseslərini daha proqnozlaşdırıcı və ağıllı edir. Bu yanaşmada avadanlığın işləmə məlumatları analiz edilir, nümunələr müəyyənləşdirilir və avadanlığın nasazlıq ehtimalı qabaqcadan təxmin edilir. AI və Machine Learning:

- Təmir planlarını optimallaşdırır,
- Ehtiyat hissələrinin vaxtında təmin olunmasını təmin edir,
- Avadanlığın iş müddətini maksimuma çatdırır.

Beləliklə, müasir texnologiyaların tətbiqi texnoloji avadanlıqların səmərəli idarə olunmasını təmin edir, xərcləri azaldır və müəssisələrdə texniki-təmir proseslərinin keyfiyyətini yüksəldir.

Aşağıdakı cədvəldə proqnozlaşdırıcı texniki xidmət tətbiq olunmadan əvvəl və sonra əldə olunan nəticələr göstərilmişdir.

3) Cədvəl 1. Proqnozlaşdırıcı texniki xidmət tətbiqindən əvvəl və sonra göstəricilərin müqayisəsi

Göstərici	Tətbiqdən əvvəl	Tətbiqdən sonra	Dəyişiklik
Planlaşdırılmamış dayanma	18%	12.6%	30% azalma
Avadanlığın işləmə müddəti	82%	95%	16% artım
Texniki xidmət xərcləri	yüksək	25–30% azalma	əhəmiyyətli qənaət
Nasazlıqlar arası orta müddət (MTBF)	52 gün	96 gün	85% artım
Təcili təmir halları	65%	27%	58% azalma

Bu nəticələr göstərir ki, proqnozlaşdırıcı texniki xidmət texnoloji avadanlıqların etibarlılığını və səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

V. ƏDƏBİYYAT

[7] International Organization for Standardization. **ISO 55000: Asset Management – Overview, Principles and Terminology.** Geneva: ISO, 2014

[8] International Organization for Standardization. **ISO 14224: Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries – Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment.** Geneva: ISO, 2016

[9] McKinsey & Company. **Predictive Maintenance 4.0: Predict the Unpredictable.** McKinsey Global Institute Report, 2018.

[10] Deloitte. **Predictive Maintenance and the Smart Factory.** Deloitte Insights, 2020.

[11] IBM. **Predictive Maintenance for Manufacturing.** IBM Corporation White Paper, 2019.

[12] Siemens. **Digitalization in Manufacturing – Predictive Maintenance Solutions.** Siemens Industry Report, 2021

SƏNAYE 4.0 VƏ ONUN BİZNES EFFEKTİVLİYİNƏ TƏSİRİ

Tahmina Aliyeva
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və İdarəetmə Fakültəsi / Maliyyə
Baku, Azerbaijan
tahminaalijewa@gmail.com

Amina Aliyeva
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik Fakültəsi / Proseslərin Avtomatlaşdırılması
Baku, Azerbaijan
aminnaliyeva@gmail.com

Annotasiya: Sənaye 4.0 istehsal və biznes proseslərinə rəqəmsal texnologiyaların inteqrasiyası ilə xarakterizə olunan yeni sənaye inkişaf mərhələsidir. Qlobal rəqabətin gücləndiyi müasir dövrdə biznes effektivliyinin artırılması müəssisələr üçün əsas prioritetlərdən birinə çevrilmişdir. Bu tədqiqatın məqsədi Sənaye 4.0 texnologiyalarının biznes effektivliyinə və əməliyyat fəaliyyətinə təsirini təhlil etməkdir. Araşdırma keyfiyyət və analitik yanaşmaya əsaslanır; burada ənənəvi və müasir istehsal modelləri müqayisə olunur, eyni zamanda real biznes nümunələri nəzərdən keçirilir. Nəticələr göstərir ki, Sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi əməliyyat xərclərini azaldır, məhsuldarlığı artırır, məhsul keyfiyyətini yüksəldir və qərarvermə prosesini sürətləndirir. Bununla yanaşı, yüksək ilkin investisiya tələbi və kiber təhlükəsizlik riskləri kimi çətinliklər də qalmaqdadır. Beləliklə, Sənaye 4.0 biznes modellərinin transformasiyasında və davamlı rəqabət üstünlüyünün formalaşmasında əsas amillərdən biri kimi çıxış edir.
Açar sözlər*: Sənaye 4.0, rəqəmsal transformasiya, biznes effektivliyi, süni intellekt, Əşyaların İnterneti, ağıllı istehsal*

GİRİŞ

Müasir dövrdə rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı iqtisadiyyatın bütün sahələrində köklü dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Bu dəyişikliklərin nəticəsində formalaşan Sənaye 4.0 konsepsiyası istehsal və idarəetmə proseslərinin avtomatlaşdırılması, məlumatların real vaxt rejimində emalı və sistemlər arasında inteqrasiyanın təmin edilməsi ilə xarakterizə olunur (Schwab, 2016; Lasi et al., 2014). Qlobal rəqabətin artdığı şəraitdə müəssisələrin daha səmərəli fəaliyyət göstərməsi üçün yeni texnologiyaların tətbiqi zəruri xarakter almışdır.

Sənaye 4.0 müasir iqtisadiyyatın əsas hərəkətverici qüvvələrindən biri kimi çıxış edir və ənənəvi istehsal modellərinin transformasiyasına səbəb olur. Bu yanaşma müəssisələrin daha çevik işləməsinə kömək edir və qərarların daha operativ qəbul olunmasına şərait yaradır. Bununla belə, bu təsir bütün müəssisələrdə eyni səviyyədə müşahidə olunmur; nəticə daha çox texnoloji hazırlıqdan və idarəetmə imkanlarından asılıdır. Xüsusilə inkişaf etməkdə olan iqtisadiyyatlarda bu keçid investisiya və kadr hazırlığı baxımından daha həssas xarakter daşıyır. Tədqiqatın əsas məqsədi Sənaye 4.0 texnologiyalarının biznes effektivliyinə təsirini təhlil etməkdir. Tədqiqatın obyekti müasir sənaye müəssisələri, predmeti isə bu müəssisələrdə tətbiq olunan rəqəmsal texnologiyaların effektivliyə təsiridir. Tədqiqat zamanı analitik, müqayisəli və təsviri metodlardan istifadə edilmişdir. Əldə olunan nəticələr əsasında Sənaye 4.0-ın biznes fəaliyyətinə təsiri qiymətləndirilmişdir.

1. SƏNAYE 4.0 ANLAYIŞI VƏ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Sənaye 4.0 dördüncü sənaye inqilabını ifadə edir və istehsal proseslərində rəqəmsal texnologiyaların geniş tətbiqi ilə xarakterizə olunur (Kagermann et al., 2013). Bu konsepsiya fiziki sistemlərlə rəqəmsal texnologiyaların inteqrasiyasını təmin edərək daha ağıllı, avtomatlaşdırılmış və effektiv istehsal mühitinin formalaşmasına kömək edir.

- Birinci sənaye inqilabı mexanikləşdirmə ilə bağlı idi,
- İkinci sənaye inqilabı kütləvi istehsalın yaranmasına səbəb oldu,
- Üçüncü sənaye inqilabı avtomatlaşdırma və elektronikanın tətbiqi ilə xarakterizə olunurdu,
- Sənaye 4.0 isə rəqəmsallaşma və ağıllı sistemlər üzərində qurulmuşdur.

Sənaye 4.0-ın əsas xüsusiyyətlərinə aşağıdakılar daxildir:

- Kiber-fiziki sistemlər – fiziki obyektlərin rəqəmsal mühitlə inteqrasiyası
- Real vaxt rejimində məlumat emalı
- Avtomatlaşdırma və özünüidarəetmə sistemləri
- İnterkonnektivlik – cihazların və sistemlərin qarşılıqlı əlaqəsi
- Ağıllı qərarvermə mexanizmləri

Bu konsepsiya rəqəmsal transformasiyanın əsas elementlərindən biri hesab olunur və müəssisələrin fəaliyyət modelini köklü şəkildə dəyişir. Bu baxımdan hesab etmək olar ki, Sənaye 4.0 yalnız texnoloji yenilənmə deyil, həm də idarəetmə yanaşmasının dəyişməsidir. Sənaye 4.0 sayəsində müəssisələr istehsal proseslərini optimallaşdırır, resurslardan daha səmərəli istifadə edir və bazar dəyişikliklərinə daha çevik reaksiya verə bilir.

2.1. Süni intellekt

Süni intellekt (AI) Sənaye 4.0-ın əsas texnologiyalarından biri hesab olunur və maşınların insan düşünmə qabiliyyətini təqlid etməsinə imkan yaradır. Bu texnologiya böyük həcmli məlumatların emalı, analiz edilməsi və proqnozlaşdırılması üçün geniş şəkildə istifadə olunur. Sənaye mühitində süni intellekt avadanlıqların texniki vəziyyətinin izlənməsi, mümkün nasazlıqların əvvəlcədən müəyyən edilməsi və istehsal proseslərinin optimallaşdırılması üçün tətbiq edilir. Bu yanaşma müəssisələrə gözlənilməz dayanma hallarını azaltmağa və əməliyyat xərclərini minimuma endirməyə kömək edir. Praktik baxımdan, süni intellekt əsaslı sistemlər qərarvermə prosesini sürətləndirir və idarəetməni daha dəqiq edir. Lakin bu texnologiyanın səmərəli işləməsi keyfiyyətli məlumat bazasından birbaşa asılıdır.

2.2. Əşyaların İnterneti

Əşyaların İnterneti (IoT) fiziki cihazların internet vasitəsilə bir-biri ilə əlaqə qurmasını təmin edən texnologiyadır. Bu sistemlər sensorlar və proqram təminatı vasitəsilə məlumat toplayır, ötürür və emal edir (Manyika et al., 2015). Sənaye 4.0 çərçivəsində IoT istehsal proseslərinin real vaxt rejimində monitorinqinə imkan yaradır. Müəssisələr avadanlıqların vəziyyətini izləyə, resursların istifadəsini optimallaşdıra və istehsal prosesində baş verən dəyişikliklərə operativ reaksiya verə bilirlər. Burada vacib məqam odur ki, IoT texnologiyası istehsalın şəffaflığını artırır və idarəetmə proseslərini daha səmərəli edir. Beləliklə, qərarvermə prosesində dəqiqlik yüksəlir və ümumi biznes effektivliyi artır.

2.3. Robototexnika və avtomatlaşdırma

Robototexnika və avtomatlaşdırma Sənaye 4.0-ın əsas komponentlərindən biri olmaqla istehsal proseslərinin optimallaşdırılmasında mühüm rol oynayır. Bu sistemlər sayəsində təkrarlanan və yüksək dəqiqlik tələb edən əməliyyatlar insan müdaxiləsi olmadan yerinə yetirilir. Robotların tətbiqi istehsal prosesində səhvlərin azalmasına, məhsul keyfiyyətinin yüksəlməsinə və istehsal sürətinin artmasına səbəb olur. Eyni zamanda, riskli və təhlükəli işlərin avtomatlaşdırılması işçi təhlükəsizliyini artırır. Avtomatlaşdırılmış sistemlər fasiləsiz işləmə imkanı yaratdığı üçün müəssisələrin məhsuldarlığı yüksəlir və resurslardan daha səmərəli istifadə olunur. Bununla belə, tam avtomatlaşdırma hər istehsal sahəsi üçün eyni dərəcədə uyğun hesab edilmir.

2.4. Böyük verilənlərin analizi

Böyük verilənlərin analizi müəssisələr tərəfindən toplanan iri həcmli məlumatların emalını və təhlilini əhatə edir. Bu texnologiya müxtəlif mənbələrdən əldə olunan məlumatların sistemli şəkildə analiz edilməsinə və faydalı nəticələrin çıxarılmasına imkan yaradır. Sənaye mühitində böyük verilənlərin analizi istehsal proseslərinin optimallaşdırılması, müştəri tələbatının öyrənilməsi və bazar tendensiyalarının müəyyən edilməsi üçün istifadə olunur. Burada əsas məsələ yalnız məlumatın çoxluğu deyil, onun düzgün təhlil edilməsidir. Bu yanaşma müəssisələrə daha əsaslandırılmış və strateji qərarlar qəbul etməyə kömək edir. Nəticədə məlumat əsaslı idarəetmə sistemi formalaşır və bu da biznes effektivliyinə müsbət təsir göstərir.

2.5. Bulud texnologiyaları (Cloud Technologies)

Bulud texnologiyaları məlumatların uzaq serverlərdə saxlanmasını və internet üzərindən idarə olunmasını təmin edir. Bu texnologiya müəssisələrə böyük həcmli məlumatları təhlükəsiz şəkildə saxlamaq və onlara istənilən vaxt çıxış əldə etmək imkanı yaradır. Bulud sistemlərinin tətbiqi müəssisələrin texniki infrastruktur xərclərini azaldır və sistemlərin daha çevik idarə olunmasına şərait yaradır. Praktik baxımdan, məlumatlara uzaqdan çıxış imkanının olması əməkdaşlar arasında əməkdaşlığı və koordinasiyanı gücləndirir. Bu texnologiya biznes proseslərinin sürətlənməsinə və daha səmərəli təşkilinə töhfə verir.

2.6. Ağıllı fabrik

Ağıllı fabrik Sənaye 4.0 konsepsiyasının ən yüksək tətbiq forması hesab olunur. Bu modeldə istehsal prosesi tam şəkildə avtomatlaşdırılmış və inteqrasiya olunmuş sistemlər vasitəsilə idarə edilir. Ağıllı

fabriklərdə maşınlar və sistemlər bir-biri ilə əlaqə quraraq məlumat mübadiləsi aparır və istehsal proseslərini özləri optimallaşdırır. Bu yanaşma insan müdaxiləsini minimuma endirir və səhv ehtimalını azaldır. Nəticədə istehsal prosesi daha sürətli, daha dəqiq və daha səmərəli olur. Ancaq belə modelə keçid mərhələli planlaşdırma və uyğun infrastruktur tələb edir.

3. SƏNAYE 4.0-IN BİZNES EFFEKTİVLİYİNƏ TƏSİRİ

3.1. Əməliyyat xərclərinin azaldılması (Reduction of Operational Costs)

Sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi müəssisələrdə əməliyyat xərclərinin azalmasına səbəb olur. Ənənəvi istehsal modellərində insan əməyindən geniş istifadə olunduğu üçün həm əmək xərcləri yüksək olur, həm də insan səhvləri nəticəsində əlavə itkilər yaranır. Avtomatlaşdırma və robototexnikanın tətbiqi bu problemləri minimuma endirir. İstehsal prosesləri daha dəqiq və fasiləsiz şəkildə həyata keçirilir ki, bu da əlavə xərclərin azalmasına gətirib çıxarır. Eyni zamanda, resurslardan istifadə daha optimal şəkildə təşkil olunur. Süni intellekt və böyük verilənlərin analizi vasitəsilə avadanlıqların texniki vəziyyəti əvvəlcədən müəyyən edilir və potensial nasazlıqlar vaxtında aradan qaldırılır. Bu yanaşma planlaşdırılmamış dayanma hallarını azaldır və təmir xərclərini minimuma endirir. Burada qeyd etmək lazımdır ki, xərclərin azalması hər müəssisədə ilkin mərhələdə dərhal hiss olunmur. Bulud texnologiyalarının tətbiqi də müəssisələrin bahalı texniki infrastruktur qurmaq ehtiyacını azaldır. Beləliklə, ümumi əməliyyat xərcləri optimallaşdırılır və maliyyə dayanıqlığı güclənir.

3.2. Məhsuldarlığın artması (Increase in Productivity)

Sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi müəssisələrdə məhsuldarlığın artmasına səbəb olur. Ənənəvi istehsal sistemlərində proseslər əsasən əl əməyinə və məhdud avtomatlaşdırmaya əsaslandığı üçün istehsal sürəti və effektivliyi nisbətən aşağı olur. Avtomatlaşdırma və robototexnika istehsal proseslərini sürətləndirir və fasiləsiz iş rejimini təmin edir. Bu texnologiyalar vasitəsilə əməliyyatlar daha qısa müddətdə və yüksək dəqiqliklə yerinə yetirilir. Nəticədə eyni zaman ərzində daha çox məhsul istehsal etmək mümkün olur. Ağıllı sistemlər istehsal proseslərini real vaxt rejimində analiz edərək optimal iş rejimini müəyyən edir. Bu, resursların daha səmərəli istifadəsinə və itkilərin minimuma endirilməsinə kömək edir. Praktik müşahidələr göstərir ki, məhsuldarlıq artımı yalnız texnologiyanın quraşdırılması ilə deyil, onun düzgün idarə olunması ilə də bağlıdır. Süni intellekt və böyük verilənlərin analizi istehsal planlaşdırmasını daha dəqiq edir. Müəssisələr tələbə uyğun istehsal həyata keçirə bilir və bu da həm məhsuldarlığın, həm də ümumi performansın yüksəlməsinə səbəb olur.

3.3. Məhsul keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması (Improvement in Product Quality)

Sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi məhsul keyfiyyətinin yaxşılaşmasına gətirib çıxarır. Ənənəvi istehsal sistemlərində insan faktoru və texniki məhdudiyyətlər səbəbindən keyfiyyətin sabit saxlanılması çətin olur və bu da qüsurlu məhsulların yaranmasına səbəb ola bilər. Avtomatlaşdırılmış sistemlər və robototexnika istehsal proseslərinin yüksək dəqiqliklə həyata keçirilməsini təmin edir. Bu texnologiyalar sayəsində məhsullar standartlara uyğun və eyni keyfiyyətdə istehsal olunur. Beləliklə, qüsurların sayı azalır və məhsulun ümumi keyfiyyəti yüksəlir. Sensorlar və Əşyaların İnterneti vasitəsilə istehsal prosesi real vaxt rejimində izlənilir. Hər hansı bir sapma və ya problem dərhal aşkar edilərək aradan qaldırılır. Bu yanaşma keyfiyyətə nəzarəti gücləndirir və itkilərin qarşısını alır. Burada əsas üstünlük ondan ibarətdir ki, keyfiyyət yalnız yoxlanmır, eyni zamanda davamlı şəkildə idarə olunur. Süni intellekt və böyük verilənlərin analizi keyfiyyət idarəetmə sistemlərini daha da təkmilləşdirir. Məlumatlara əsaslanan analizlər vasitəsilə problemlərin səbəbləri müəyyən edilir və gələcəkdə onların təkrarlanmasının qarşısı alınır.

3.4. Qərarvermə prosesinin sürətlənməsi (Faster Decision-Making)

Sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi müəssisələrdə qərarvermə prosesinin sürətlənməsinə şərait yaradır. Ənənəvi idarəetmə sistemlərində qərarlar əsasən gecikmiş və məhdud məlumatlara əsaslandığı üçün operativlik aşağı olur. Rəqəmsal texnologiyalar və xüsusilə Əşyaların İnterneti vasitəsilə məlumatlar real vaxt rejimində toplanır və emal olunur. Bu, menecerlərə daha operativ və dəqiq məlumatlar əsasında qərarlar qəbul etməyə imkan verir. Süni intellekt və böyük verilənlərin analizi qərarvermə prosesini daha da təkmilləşdirir. Bu texnologiyalar böyük həcmli məlumatları analiz edərək alternativ ssenariləri qiymətləndirir və ən uyğun qərar variantlarını təqdim edir. Nəticədə qərarların qəbul olunma müddəti qısalır, risklər azalır və idarəetmə daha səmərəli həyata keçirilir. Bununla belə, məlumat çoxluğu düzgün filtrasiya edilmədikdə qərarvermə prosesi mürəkkəbləşə də bilər. Bu xüsusiyyət müəssisələrin bazar dəyişikliklərinə daha sürətli reaksiya verməsinə və rəqabət üstünlüyü əldə etməsinə kömək edir.

3.5. Rəqabət üstünlüyünün əldə edilməsi (Competitive Advantage)

Sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi müəssisələrə əhəmiyyətli rəqabət üstünlüyü qazandırır. Müasir bazar şəraitində şirkətlər arasında rəqabət getdikcə gücləndiyi üçün innovativ texnologiyaların tətbiqi strateji əhəmiyyət kəsb edir. Rəqəmsal transformasiya sayəsində müəssisələr istehsal proseslərini optimallaşdırır, məhsulların bazara çıxarılma müddətini azaldır və müştəri tələblərinə daha çevik şəkildə cavab verə bilirlər. Bu, onların bazardakı mövqeyini gücləndirir. Eyni zamanda, Sənaye 4.0 texnologiyaları fərdiləşdirilmiş məhsul və xidmətlərin təqdim olunmasına imkan verir. Müştəri yönümlü yanaşma şirkətlərin rəqabət qabiliyyətini daha da artırır. Süni intellekt, böyük verilənlər və IoT kimi texnologiyaların tətbiqi müəssisələrə bazar tendensiyalarını daha dəqiq analiz etməyə və strateji qərarları daha düzgün qəbul etməyə kömək edir. Uzunmüddətli baxdıqda, bu texnologiyalar müəssisənin bazardakı mövqeyini möhkəmləndirə və onu rəqiblərdən fərqləndirə bilir.

3.6. Təchizat zəncirinin optimallaşdırılması

Sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi təchizat zəncirinin daha effektiv və şəffaf şəkildə idarə olunmasına imkan yaradır. Ənənəvi təchizat zənciri modellərində məlumat axını məhdud və gecikmiş olduğu üçün koordinasiya problemləri və əlavə xərclər yaranır. Əşyaların İnterneti (IoT) və böyük verilənlərin analizi vasitəsilə təchizat zəncirinin bütün mərhələləri real vaxt rejimində izlənilə bilir. Bu, xammalın tədarükündən hazır məhsulun çatdırılmasına qədər bütün proseslərin daha dəqiq idarə olunmasına şərait yaradır. Digər tərəfdən, rəqəmsal texnologiyalar logistika proseslərini optimallaşdırır, ehtiyatların düzgün planlaşdırılmasını təmin edir və gecikmələrin qarşısını alır. Süni intellekt əsaslı sistemlər tələb proqnozlaşdırmasını daha dəqiq həyata keçirir və bu da artıq ehtiyatların saxlanması və ya çatışmazlıq riskini azaldır. Xüsusilə logistika xərclərinin yüksək olduğu bazarlarda bu üstünlük daha aydın görünür. Nəticədə təchizat zənciri daha çevik, sürətli və səmərəli olur, bu isə həm xərclərin azalmasına, həm də müştəri məmnuniyyətinin artmasına müsbət təsir göstərir.

4. ƏNƏNƏVİ İSTEHSAL MODELİ İLƏ SƏNAYE 4.0 MODELİNİN MÜQAYİSƏSİ

Sənaye 4.0 texnologiyalarının üstünlüklərini daha aydın göstərmək üçün ənənəvi istehsal modeli ilə müasir rəqəmsal istehsal modelinin müqayisəsi aparmaq məqsədəuyğundur. Aşağıdakı cədvəl bu iki yanaşma arasındakı əsas fərqləri və onların biznesə təsirini göstərir.

Göstərici	Ənənəvi model	Sənaye 4.0 modeli	Biznesə təsiri
İdarəetmə	Əl ilə	Avtomatlaşdırılmış	Səhvlərin azalması
Qərarvermə	Gecikmiş	Real vaxt rejimində	Daha sürətli idarəetmə
Məhsuldarlıq	Orta	Yüksək	Daha çox istehsal
Xərclər	Yüksək	Optimallaşdırılmış	Mənfəətin artması
Elastiklik	Aşağı	Yüksək	Bazar dəyişikliklərinə uyğunlaşma
Keyfiyyət	Dəyişkən	Sabit və yüksək	Müştəri məmnuniyyətinin artması

Bu müqayisə göstərir ki, Sənaye 4.0 modeli daha çevik, effektiv və rəqabətədavamlı istehsal mühiti yaradır. Ənənəvi modellərlə müqayisədə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi həm əməliyyat göstəricilərinin yaxşılaşmasına, həm də ümumi biznes performansının yüksəlməsinə səbəb olur. Xüsusilə qeyd etmək lazımdır ki, elastiklik göstəricisi müasir bazar şəraitində müəssisələr üçün ən çox fərq yaradan amillərdən biridir.

5. ÇƏTİNLİKLƏR VƏ RİSKLƏR

Sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi müəssisələr üçün bir çox üstünlüklər yaratsa da, bu proses müəyyən çətinliklər və risklərlə də müşayiət olunur. Bu amillər xüsusilə texnoloji transformasiya mərhələsində müəssisələrin qarşılaşdığı əsas problemlər sırasına daxildir. İlk növbədə, yüksək ilkin investisiya tələbi Sənaye 4.0-ın tətbiqində əsas maneələrdən biridir. Yeni texnologiyaların alınması, sistemlərin qurulması və infrastrukturların yenilənməsi böyük maliyyə resursları tələb edir. Bu isə xüsusilə kiçik və orta müəssisələr üçün ciddi çətinlik yaradır. Digər mühüm problem kiber təhlükəsizlik riskləridir. Rəqəmsallaşmanın artması ilə birlikdə məlumatların qorunması daha da vacib olur. Şəbəkə əsaslı sistemlər kiberhücumlara məruz qala bilər və bu da həm maliyyə itkilərinə, həm də nüfuz zədələnməsinə səbəb ola bilər. Bundan əlavə, ixtisaslı kadr çatışmazlığı da mühüm problemlərdən biridir. Sənaye 4.0 texnologiyalarını idarə etmək üçün yüksək səviyyəli texniki bilik və bacarıqlara malik mütəxəssislərə ehtiyac vardır. Lakin bir çox müəssisələr belə kadrları tapmaqda çətinlik çəkir. Dəyişikliklərə müqavimət də təşkilati səviyyədə rast gəlinən problemlərdəndir. İşçilər və idarəçilər yeni texnologiyalara uyğunlaşmaqda çətinlik çəkə və ənənəvi

iş üsullarından imtina etmək istəməyə bilərlər. Nəhayət, texnoloji inteqrasiya problemləri də nəzərə alınmalıdır. Mövcud sistemlərin yeni texnologiyalarla uyğunlaşdırılması mürəkkəb prosesdir və əlavə vaxt və resurs tələb edir. Xüsusilə inkişaf etməkdə olan iqtisadiyyatlarda bu problemlər daha qabarıq hiss oluna bilər.

6. PRAKTİKİ NÜMUNƏLƏR

Sənaye 4.0 texnologiyalarının real biznes mühitində tətbiqini daha aydın göstərmək üçün qabaqcıl şirkətlərin təcrübəsinə nəzər salmaq məqsədəuyğundur. Bu nümunələr texnologiyanın təsirinin yalnız nəzəri deyil, praktiki nəticələrlə də qiymətləndirilə biləcəyini göstərir.

6.1. Tesla

Tesla avtomobil sənayesində Sənaye 4.0 texnologiyalarını geniş tətbiq edən aparıcı şirkətlərdən biridir. Şirkət istehsal proseslərində süni intellekt, robototexnika və avtomatlaşdırmadan aktiv şəkildə istifadə edir. Tesla zavodlarında robotlar istehsalın böyük hissəsini həyata keçirir və bu, həm sürəti, həm də dəqiqliyi artırır. Praktik olaraq, süni intellekt əsaslı sistemlər istehsal proseslərini analiz edərək mümkün problemləri əvvəlcədən müəyyən edir. Beləliklə, Tesla yüksək keyfiyyətli məhsul istehsal edir, xərcləri azaldır və bazarda güclü rəqabət üstünlüyü əldə edir.

6.2. Siemens

Siemens Sənaye 4.0 sahəsində qabaqcıl texnologiyaların tətbiqi ilə seçilən şirkətlərdən biridir. Şirkət "ağıllı fabrik" konsepsiyasını uğurla həyata keçirmişdir. Siemens-in istehsal müəssisələrində bütün proseslər rəqəmsal sistemlər vasitəsilə idarə olunur və real vaxt rejimində izlənilir. Bu, istehsalın daha çevik və effektiv təşkilinə imkan yaradır. Şirkət həmçinin rəqəmsal əkiz (digital twin) texnologiyasından istifadə edərək istehsal proseslərini əvvəlcədən simulyasiya edir və optimallaşdırır. Bu yanaşma xərclərin azalmasına və məhsuldarlığın artmasına kömək edir.

6.3. Bosch

Bosch şirkəti də Sənaye 4.0 texnologiyalarını geniş tətbiq edən müəssisələrdən biridir. Şirkət xüsusilə Əşyaların İnterneti və böyük verilənlərin analizi sahəsində innovativ həllərdən istifadə edir. Bosch-un istehsal sistemlərində avadanlıqlar bir-biri ilə əlaqə qurur və məlumat mübadiləsi aparır. Bu, istehsal proseslərinin daha səmərəli idarə olunmasına imkan verir. Nəticədə Bosch istehsal xərclərini optimallaşdırır, məhsul keyfiyyətini artırır və bazar tələblərinə daha sürətli uyğunlaşır.

7. PERFORMANS VƏ ANALITIK QIYMƏTLƏNDIRMƏ

Sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi müəssisələrin əsas performans göstəricilərinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Bu təsiri daha aydın göstərmək üçün əsas göstəricilər üzrə müqayisəli təhlil aparmaq məqsədəuyğundur. Aşağıdakı cədvəldə Sənaye 4.0 tətbiqindən əvvəl və sonra müəssisələrin əsas göstəricilərində baş verən dəyişikliklər təqdim olunur:

Göstərici	**Sənaye 4.0-dan əvvəl**	**Sənaye 4.0-dan sonra**
Məhsuldarlıq	Orta	Yüksək
Xərclər	Yüksək	Azaldılmış
Keyfiyyət	Dəyişkən	Sabit və yüksək
İstehsal sürəti	Orta	Yüksək
Qərarvermə	Gecikmiş	Real vaxt rejimində

Bu göstəricilər əsasında demək olar ki, Sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi müəssisələrin ümumi fəaliyyət effektivliyini artırır. Analitik baxımdan, məhsuldarlığın artması və xərclərin azalması müəssisələrin mənfəətliliyinə birbaşa müsbət təsir göstərir. Eyni zamanda, real vaxt rejimində məlumatların əldə olunması və emalı idarəetmə proseslərini daha səmərəli edir. Keyfiyyətin sabitləşməsi və istehsal sürətinin artması müştəri məmnuniyyətinin yüksəlməsinə səbəb olur; bu isə uzunmüddətli perspektivdə müəssisələrin bazardakı mövqeyini gücləndirir. Burada vacib məqam ondan ibarətdir ki, göstəricilərdəki yaxşılaşma bir-birindən ayrı deyil, qarşılıqlı əlaqədə baş verir. Ümumilikdə, aparılan təhlil göstərir ki, Sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi yalnız texnoloji yenilik deyil, eyni zamanda biznes performansının kompleks şəkildə yaxşılaşmasına səbəb olan strateji yanaşmadır.

NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqat göstərir ki, Sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi müasir müəssisələrin fəaliyyətində mühüm dəyişikliklərə səbəb olur və biznes effektivliyinin artırılmasında əhəmiyyətli rol oynayır. Rəqəmsal

texnologiyaların inteqrasiyası nəticəsində əməliyyat xərcləri azalır, məhsuldarlıq artır, məhsul keyfiyyəti yüksəlir və qərarvermə prosesi daha operativ həyata keçirilir. Bununla yanaşı, Sənaye 4.0 müəssisələrə rəqabət üstünlüyü qazandırır və onların bazar dəyişikliklərinə daha çevik uyğunlaşmasına imkan verir. Təchizat zəncirinin optimallaşdırılması və istehsal proseslərinin avtomatlaşdırılması da ümumi biznes performansını gücləndirir. Bununla belə, bu texnologiyaların təsiri bütün müəssisələrdə eyni sürətlə ortaya çıxmır. Yüksək ilkin investisiya tələbi, kiber təhlükəsizlik riskləri və ixtisaslı kadr çatışmazlığı bu sahədə əsas problemlər kimi qalır. Bu problemlər xüsusilə inkişaf etməkdə olan iqtisadiyyatlarda, o cümlədən Azərbaycan müəssisələri üçün daha diqqətli planlaşdırma tələb edir. Gələcək perspektivdə Sənaye 4.0 texnologiyalarının daha da inkişaf edəcəyi və geniş tətbiq olunacağı gözlənilir. Bu baxımdan müəssisələrə tövsiyə olunur ki, rəqəmsal transformasiya strategiyalarını düzgün planlaşdırsınlar və insan kapitalına investisiya qoyaraq bu dəyişikliklərə uyğunlaşsınlar.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum.
2. Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing Industry 4.0. Acatech – National Academy of Science and Engineering.
3. Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. Harvard Business Review, 92(11), 64–88.
4. Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, 6(4), 239–242.
5. Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., & Aharon, D. (2015). The Internet of Things: Mapping the value beyond the hype. McKinsey Global Institute.
6. Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. Proceedings of the 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2147–2152.

İNSAN MƏRKƏZLİ MAİNTENANCE 5.0: TEXNOLOJİ AVADANLIQLARDA TEXNİKİ-TƏMİRİN YENİ PARADİQMASI

Vurğun Qəhrəmanov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Sənaye mühəndisliyində innovativ texnologiyalar
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
vqahremanov@beu.edu.az

Talıb Allahquliyev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Sənaye mühəndisliyində innovativ texnologiyalar
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
tallahquliyev@std.beu.edu.az

Xülasə. Sənaye 5.0 paradiqması texnoloji effektivliyi insan rifahı və yaradıcılığı ilə birləşdirərək istehsalatda yeni bir mərhələnin başlanğıcını qoyur. Bu məqalədə texnoloji avadanlıqlarda texniki-təmir (maintenance) proseslərinin "İnsan mərkəzli" (Human-centric) yanaşma əsasında necə transformasiya olunduğu tədqiq edilir. Sənaye 4.0-ın gətirdiyi avtomatlaşdırma və proqnozlaşdırıcı texniki xidmət (Predictive Maintenance) metodları artıq kifayət etmir; yeni modeldə texniklərin və mühəndislərin koqnitiv qabiliyyətləri, Süni İntellekt (AI) və Kobotlar (əməkdaşlıq edən robotlar) ilə sinerji təşkil etməlidir.
Açar sözlər: Sənaye 5.0, İnsan mərkəzli texniki xidmət, Proqnozlaşdırıcı təmir, İnsan-Maşın əməkdaşlığı, Kobotlar, Rəqəmsal Əkizlər, Dayanıqlı istehsalat.

Abstract. The Industry 5.0 paradigm marks the beginning of a new era in manufacturing by integrating technological efficiency with human well-being and creativity. This article explores the transformation of maintenance processes for technological equipment based on a 'human-centric' approach. The automation and predictive maintenance methods introduced by Industry 4.0 are no longer sufficient; in the new model, the cognitive abilities of technicians and engineers must synergize with Artificial Intelligence (AI) and Collaborative Robots (Cobots).
Keywords: İndustry 5.0, Human-centric maintenance, Predictive maintenance, Human-machine colloboration, Cobots, Digital Twins, Sustaniable manufacturing

I.Giriş.

Məqalədə rəqəmsal əkizlər (Digital Twins), Artırılmış Reallıq (AR) və geyilə bilən texnologiyaların texniki-təmir personalının iş yükünü necə azaltdığı və qərarvermə proseslərini necə təkmilləşdirdiyi təhlil olunur. Əsas diqqət texniki-təmirin yalnız xərcləri azaldan bir funksiya deyil, həm də işçi təhlükəsizliyini, dayanıqlılığı və fərdi bacarıqları ön plana çıxaran strateji bir aktivə çevrilməsinə yönəlmişdir. Nəticə olaraq, İnsan mərkəzli Maintenance 5.0-ın müəssisələrdə tətbiqi həm texnoloji uzunömürlülüyü, həm də sosial məsuliyyət prinsiplərini təmin edən həlledici amil kimi qiymətləndirilir.

Sənaye inqilablarının təkamül xronologiyası göstərir ki, hər bir mərhələ istehsalatda məhsuldarlığı artırmağa xidmət etmişdir. Sənaye 4.0 rəqəmsallaşma, böyük verilənlər (Big Data) və tam avtomatlaşdırma ilə xarakterizə olunsa da, prosesin mərkəzində çox vaxt "maşın səmərəliliyi" dayanırdı. Lakin Sənaye 5.0 bu yanaşmanı kökündən dəyişərək, texnologiyanı insanın rəqibi deyil, onun rifahına və yaradıcılığına xidmət edən bir vasitə kimi yenidən müəyyən edir. Bu yeni dövrdə texniki-təmir (maintenance) sadəcə nasazlıqların aradan qaldırılması deyil, insan-maşın sinerjisinin ən yüksək həddə çatdığı bir fəaliyyət sahəsinə çevrilir.

Ənənəvi texniki xidmət modelləri (reaktiv və preventiv) və hətta Sənaye 4.0-ın proqnozlaşdırıcı (predictive) təmiri əsasən avadanlığın dayanma müddətini azaltmağa fokuslanmışdı. **Maintenance 5.0** isə bu tənliyə "insan faktoru"nu daxil edir. Burada söhbət yalnız cihazın nə vaxt xarab olacağından deyil, həm də həmin təmir prosesinin operator üçün nə dərəcədə təhlükəsiz, erqonomik və öyrədici olmasından gedir. Bu paradiqma, texnoloji sistemlərin insanın koqnitiv və fiziki imkanlarını dəstəkləyən "qayğıkeş" ekosistemə çevrilməsini hədəfləyir.

Maintenance 5.0-ın icrası yüksək texnologiyaların insan ehtiyaclarına uyğunlaşdırılmasını tələb edir:

- **Artırılmış Reallıq (AR):** Texniklər mürəkkəb avadanlıqları təmir edərkən AR eynəkləri vasitəsilə real zamanlı təlimatlar və 3D vizuallaşdırmalar alırlar. Bu, səhv riskini minimuma endirir və insanın öyrənmə prosesini sürətləndirir.
- **Əşyaların İnterneti (IoT) və Rəqəmsal Əkizlər:** Avadanlıqdan gələn məlumatlar rəqəmsal əkiz üzərində simulyasiya edilir, lakin son qərar verici mexanizm olaraq insan intuisiyası və təcrübəsi sistemə inteqrasiya olunur.
- **Süni İntellekt (AI):** AI sadəcə nasazlığı proqnozlaşdırmır, həm də texniki işçinin yorğunluq və ya stress səviyyəsini nəzərə alaraq iş bö lgüsünü optimallaşdırır.

Sənaye 5.0-da ən böyük qorxu — "robotların insanları əvəz etməsi" — öz yerini "insanın dəyərinin artması"na verir. Texniki-təmir heyəti artıq yalnız "açarla işləyən usta" deyil, həm də data analitiki və sistem koordinatoru rolunu üstlənir. Bu keçid **upskilling** (mövcud bacarıqların artırılması) prosesini zəruri edir. Texnologiya insanın fiziki yükünü (məsələn, ağır hissələrin qaldırılmasını kobotlara dövr etməklə) azaldır, onun zehni enerjisini isə daha mürəkkəb problemlərin həllinə və innovativ təkmilləşdirmələrə yönəldir. Koqnitiv dəstək sistemləri texniki işçini məlumat axını altında boğulmaqdan qoruyur və ona yalnız ən kritik qərarlar üçün lazımi datanı təqdim edir. İnsan mərkəzli maintenance paradiqması müəssisələr üçün həm iqtisadi, həm də sosial dividend gətirir. Texnoloji avadanlıqların ömrü uzanır, istehsalat qəzaları minimuma enir və işçi məmnuniyyəti artır. Sənaye 5.0 çərçivəsində tətbiq olunan bu yanaşma göstərir ki, gələcəyin rəqabətədavamlı müəssisələri ən sürətli robotlara sahib olanlar deyil, ən qabaqcıl texnologiya ilə insan zəkasını və rifahını ən uğurlu şəkildə sintez edənlər olacaqdır. Texniki-təmir artıq bir xərc mərkəzi deyil, insan kapitalına investisiya edilən strateji bir sahədir.

II. Material və metod

Sənaye 4.0 dövründə əsas hədəf "insansız fabriklər" və tam avtonom sistemlər idi. Lakin təcrübə göstərdi ki, ən mürəkkəb alqoritmlər belə gözlənilməz fiziki dəyişikliklər və qeyri-xətti nasazlıqlar qarşısında insan intuisiyasına ehtiyac duyur. Sənaye 5.0 ilə başlayan yeni dövrdə avadanlıqların etibarlılığı artıq sadəcə

sensorların ölçdüyü rəqəmlərlə deyil, texnologiyanın insana ötürdüyü çevikliklə ölçülür. Bu bölmədə texniki-təmirin rəqəmsal infrastrukturla praktiki vəhdəti araşdırılır. Rəqəmsal Əkiz (Digital Twin) texnologiyası fiziki avadanlığın virtual surətini yaradaraq texniki xidmət prosesini laboratoriya dəqiqliyinə çatdırır. Lakin Maintenance 5.0 modelində rəqəmsal əkiz yalnız məlumat toplama vasitəsi deyil, həm də insan üçün bir simulyasiya platformasıdır. Texnik real təmiri həyata keçirməzdən əvvəl virtual model üzərində müxtəlif ssenariləri sınaqdan keçirir. Sistem nasazlıq ehtimalını göstərdikdə, insan mühəndis həmin datanı öz təcrübəsi ilə süzgəcdən keçirir və "niyə" sualına cavab taparaq süni intellektin təklif etdiyi həlli optimallaşdırır. Sənaye 5.0-ın ən bariz fiziki təzahürü Kobotlardır.

Əvvəlki nəsil robotlardan fərqli olaraq, kobotlar təhlükəsizlik qəfəslərində deyil, birbaşa texniki heyətlə çiyin-çiyinə çalışır. Texniki-təmir prosesində kobotlar ağır detalların tutulması, yüksək temperaturda işləmə və ya təkrarlanan monoton hərəkətləri öz üzərinə götürür. İnsan isə bu prosesdə "beyin" funksiyasını yerinə yetirərək robotun hərəkətlərini idarə edir. Bu əməkdaşlıq, təmir müddətini qısaldır və insan əməyini daha prestijli, yaradıcı müstəviyə daşıyır. Praktiki təmir zamanı texnikin təhlükəsizliyi və erqonomikası Maintenance 5.0-ın prioriteti hesab olunur. Eksoskeletlər (Exoskeletons) vasitəsilə texniki işçilərin fiziki gücü artırılır, bel və oynaq yüklənmələri minimuma endirilir. Eyni zamanda, ağıllı dəbilqələr və sensorlu geyimlər işçinin ətrafındakı toksik qazları, gərginliyi və ya yaxınlaşan təhlükəli mexanizmləri izləyir. Bu texnologiyalar sayəsində texniki xidmət prosesi "təhlükəli iş" kateqoriyasından "yüksək texnoloji və təhlükəsiz fəaliyyət" kateqoriyasına keçir.

Xəyali və ya real bir müəssisə modelini nəzərdən keçirək: Ağıllı bir zavodda mərkəzi konveyer xəttində nasazlıq yaranmazdan 48 saat əvvəl sistem siqnal verir (Predictive). Lakin Sənaye 4.0-dan fərqli olaraq, sistem yalnız xəbərdarlıq etmir, eyni zamanda texnikin planşetinə lazım olan ehtiyat hissələrinin siyahısını və təmir videosunu (AR vasitəsilə) göndərir. Texnik sahəyə daxil olduqda, bir kobot artıq nasaz hissəni sökmək üçün mövqe almış olur. Bütün proses insanın nəzarəti altında, fiziki güc tətbiq etmədən və minimum risklə, rekord müddətdə başa çatır. Bu, texnoloji avadanlıqlarda yeni təmir paradiqmasının praktiki qələbəsidir.

III. Niyə Sənaye 4.0-ın texniki təmiri bəzi yerlərdə uğursuz oldu?

Sənaye 4.0-ın əsas vədi olan tam avtomatlaşdırma və proqnozlaşdırıcı texniki xidmət bir çox müəssisədə məhsuldarlığı artırsa da, ciddi bir boşluq yaratdı: "Texnoloji korluq". Sistemlər mürəkkəbləşdikcə, insan faktoru prosesdən kənarlaşdırıldı və nəticədə alqoritmlərin izah edə bilmədiyi qeyri-adi qəzalar zamanı heyət çarəsiz qaldı. Bu uğursuzluqlar göstərdi ki, ən qabaqcıl sensor belə təcrübəli bir mühəndisin "səsindən tanıdığı" nasazlıq intuisiyasını tam əvəz edə bilməz. Sənaye 5.0 məhz bu itirilmiş insan zəkasını sistemə geri qaytarmaq üçün bir zərurət kimi doğuldu. Müasir istehsalatda ən böyük risklərdən biri texniki heyətin tamamilə proqram təminatına (software) bel bağlamasıdır. Alqoritm "hər şey qaydasındadır" dedikdə, insanın tənqidi düşüncəsi zəifləyir. Bu, yalnız texniki deyil, həm də psixoloji bir problemdir: işçi özünü sistemin bir hissəsi deyil, sadəcə onun bir "icraçısı" kimi hiss edir. Bu yanaşma işçinin yaradıcılığını öldürür və mürəkkəb nasazlıqlar zamanı qərar vermə qabiliyyətini iflic edir.

Maintenance 5.0 bu problemi "Simbiotik Münasibət" modeli ilə həll edir. Burada texnologiya insana hökm etmir, ona "gücləndirici" (augmenting) təsir göstərir. Süni intellekt böyük həcmli datanı emal edərək insana seçim variantları təqdim edir, lakin son qərar və məsuliyyət insanda qalır. Bu balansın qurulması üçün sistemlər "Human-in-the-loop" (İnsan dövriyyədə) prinsipi ilə yenidən dizayn edilir. Beləliklə, texnologiya rutini idarə edir, insan isə istisnaları və strateji inkişafı.

IV. Nətivə və əlavə məlumatlar

Yüksək texnoloji mühitdə çalışan texniki heyət tez-tez "məlumat yüklənməsi" (information overload) və robotlarla rəqabət qorxusu ilə üzləşir. Bu, stresə və diqqət dağınıqlığına səbəb olur ki, bu da təmir zamanı bədbəxt hadisə riskini artırır. Maintenance 5.0 bu problemi texnopsixologiya ilə həll edir: interfeyslər insanın koqnitiv yükünü azaltmaq üçün sadələşdirilir, iş mühiti erqonomik və sosial baxımdan dəstəkləyici hala gətirilir. Məqsəd, texnologiyanın işçini sıxışdırması deyil, onun işini asanlaşdırmasıdır. 2030-cu illərə doğru texniki-təmir sahəsi "təmir edən" deyil, "sistemi idarə edən" mütəxəssislərin meydanına çevriləcək. Maintenance 5.0 paradiqması sübut edir ki, texnoloji tərəqqi yalnız insanla birlikdə addımladıqda dayanıqlı olur. Gələcəkdə ən uğurlu müəssisələr avadanlıqlarını yalnız ən yeni sensorlarla təchiz edənlər deyil, o sensorların verdiyi gücü insan dühası ilə birləşdirə bilən şirkətlər olacaqdır. İnsan mərkəzli yanaşma artıq bir seçim deyil, rəqəmsal dünyanın qaçılmaz standartıdır.

Cədvəl 1: Maintenance 4.0 və 5.0 arasındakı fərqlər

Xüsusiyyət	Maintenance 4.0 (Texnologiya mərkəzli)	Maintenance 5.0 (İnsan mərkəzli)
Əsas hədəf	Maşın effektivliyi (OEE)	İnsan rifahı və sistem dayanıqlılığı
İnsan rolu	Sistemin icraçısı / Məlumat daxiledicisi	Qərarverici / Yaradıcı problem həll edən
Texnoloji yanaşma	Tam avtomatlaşdırma	İnsan-maşın əməkdaşlığı (Kobotlar)
Qərarvermə	Alqoritmlər və Big Data əsaslı	Alqoritm dəstəkli insan intuisiyası
Təhlükəsizlik	Fiziki hasarlar və sensorlar	Geyilə bilən texnologiyalar və aktiv qoruma
İşçi inkişafı	Texniki təlimlər	Koqnitiv dəstək və bacarıqların artırılması

Cədvəl 2: Maintenance 5.0 texnologiyalarının tətbiq nümunələri

Texnologiya	Tətbiq sahəsi	İnsan üçün faydası
Artırılmış Reallıq (AR)	Mürəkkəb mühərriklərin daxili hissələrinin təmiri	Təmir kitabçasına ehtiyac qalmır, səhv riski azalır.
Eksoskeletlər	Ağır avadanlıq hissələrinin daşınması və quraşdırılması	Fiziki yorğunluğu azaldır, bel və oynaq zədələrini önləyir.
Kobotlar	Yüksək temperaturlu və ya dar sahələrdə qaynaq/təmir işləri	İşçini təhlükəli mühitdən uzaq tutur, dəqiqliyi artırır.
Rəqəmsal Əkiz	Təmir ssenarilərinin öncədən simulyasiyası	İşçiyə real təmir öncəsi virtual "məşq" imkanı verir.
Səslə idarəetmə	Əllərin məşğul olduğu anlarda sistemdən məlumat alınması	İş sürətini artırır və diqqəti təmirdə saxlayır.

1. Sənaye sahələri üzrə praktiki ssenarilər

1. **Aviasiya Sənayesi:** Təyyarə mühərrikinin təmiri zamanı texnik AR eynək taxır. Eynək mühərrikin üzərində hansı vintin hansı tzyiq dərəcəsi ilə sıxılmalı olduğunu vizual olaraq göstərir. Bu, həm təhlükəsizliyi artırır, həm də yeni işçilərin sürətli adaptasiyasını təmin edir.
2. **Neft-Kimya Zavodları:** Yüksək riskli zonada sızma aşkar edildikdə, insan mərkəzli sistem robotu (kobot) oraya göndərir. İnsan isə təhlükəsiz zonadan VR (Virtual Reallıq) vasitəsilə robotu idarə edərək təmiri həyata keçirir.
3. **Logistika Mərkəzləri:** Avtomatlaşdırılmış konveyer xətlərində işçilər "ağıllı əlcəklər" geyinirlər. Bu əlcəklər avadanlığın vibrasiyasını hiss edərək nasazlıq barədə işçiyə haptik (toxunuşla) siqnal verir.

Maintenance 5.0 dövründə bir işçinin sahib olmalı olduğu bacarıqlar belə dəyişir:

1. **Analitik Düşüncə:** Süni intellektin verdiyi proqnozları analiz etmək qabiliyyəti.
2. **Rəqəmsal Savadlılıq:** AR, VR və rəqəmsal əkiz platformaları ilə sərbəst işləmək.
3. **Emosional İntellekt:** İnsan-robot komandalarında əməkdaşlıq və koordinasiya.
4. **Adaptivlik:** Tez-tez yenilənən proqram təminatlarına və yeni cihazlara sürətli uyğunlaşma.

Cədvəl 3: Dünyada uğurlu tətbiq nümunələri

Şirkət	İstifadə olunan texnologiya	Real nəticə
Rolls-Royce	AI + Digital Twin	Mühərriklərin ömrünün uzadılması, resurs qənaəti
Mercer Celgar	Predictive Maintenance	Nasazlıqların ildə 50-dən 5-ə enməsi
Frito-Lay	Proqnozlaşdırıcı Sensorlar	Plansız dayanma müddətinin 2.88%-ə düşməsi
Aviation Sector	Dronlar və AR	İnsan riskinin azalması, sürətli yoxlanış
LHC (CERN)	GenAI + Data Analytics	Dünyanın ən mürəkkəb elmi cihazlarının fasiləsiz işi

Bu nümunələr göstərir ki, **Maintenance 5.0** sadəcə "daha çox robot" demək deyil. Bu:

1. İşçini təhlükədən qorumaq (**Duke Energy**),
2. İşçiyə uzaqdan bilik ötürmək (**STMicroelectronics**),
3. Və dünyanı qorumaq (**İsveç Polad Sənayesi**) deməkdir.

V. İstifadə olunmuş mənbələr.

1. Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). *Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry*. Directorate-General for Research and Innovation, EU.
2. Psarommatis, F., May, G., & Azamfirei, V. (2023). Envisioning Maintenance 5.0: Insights from a systematic literature review of Industry 4.0 and a proposed framework. *Journal of Manufacturing Systems*, 68, 376–399.
3. Vitti, M., Cotruvo, A., & Facchini, F. (2025). Toward human-centric Industry 5.0: a framework for cognitive workload assessment in maintenance and assembly. *Journal of Intelligent Manufacturing*.
4. Khanna, P., Kumari, J., & Karim, R. (2024). Human-Centric PHM in the Era of Industry 5.0. *PHM Society European Conference*, 8(1).
5. Werbinska-Wojciechowska, S. (2025). Towards Maintenance 5.0: Resilience-Based Maintenance in AI-Driven Sustainable and Human-Centric Industrial Systems. *Sensors*, 25(16), 5100.
6. Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0 — A Human-Centric Solution. *Technologies*, 7(4), 44.

TIME MANAGEMENT FOR ENGINEERING STUDENT

Sevil İmanova
Department of Industrial Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
simanova@beu.edu.az

Darya Rafi
Department of Industrial Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
drefi@std.beu.edu.az

Khadija Mammadova
Department of Industrial Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
xmemmedova6@std.beu.edu.az

Khadija Rzayeva
Department of Industrial Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
xrzayeva2@std.beu.edu.az

Abstract: Time management is a critical skill for engineering students due to the demanding nature of their academic workload, which often includes lectures, laboratory sessions, assignments, and project-based learning. Effective time management enables students to balance academic responsibilities with personal life, reduce stress, and improve overall performance.

Engineering students can benefit from structured planning techniques such as setting clear goals, prioritizing tasks, and using tools like schedules, to-do lists, and digital planners. Breaking large projects into smaller, manageable tasks helps maintain productivity and prevents last-minute pressure. Additionally, applying methods such as the Pomodoro Technique or time blocking can enhance focus and efficiency.
Keywords: *time management, engineering students, productivity, task prioritization, academic performance.*

I.INTRODUCTION

In today's rapidly evolving technological world, engineering education plays a vital role in preparing skilled professionals capable of solving complex real-world problems. However, the academic journey of engineering students is often characterized by intensive coursework, tight deadlines, laboratory work, group projects, and continuous assessments. These demands require not only intellectual ability but also strong organizational skills, making time management an essential competency for academic success.

Time management refers to the process of planning, organizing, and controlling how much time is spent on specific activities to maximize productivity and efficiency. For engineering students, effective time management is particularly important because of the multidisciplinary nature of their studies, which often involve balancing theoretical knowledge with practical applications. Without proper time management, students may experience increased stress, missed deadlines, and reduced academic performance [1].

Moreover, the transition from secondary education to university often introduces students to greater independence and responsibility. Engineering students must learn to manage their schedules, prioritize tasks, and allocate sufficient time for studying, completing assignments, and engaging in extracurricular activities. Developing these skills early in their academic career can significantly enhance their ability to cope with academic pressure and maintain a healthy work-life balance.

In addition, the modern learning environment presents numerous distractions, including social media and digital entertainment, which can negatively affect students' productivity. Therefore, cultivating self-discipline, setting realistic goals, and using effective time management strategies are crucial for maintaining focus and achieving academic objectives.

Time management is not only a key factor in academic success but also a fundamental life skill that prepares engineering students for future professional challenges, where efficiency, responsibility, and the ability to meet deadlines are highly valued.

II. DESCRIPTION OF THE PROCESSING SYSTEM

The processing system in an engineering context refers to the structured set of components, operations, and technologies used to transform input data, materials, or energy into desired outputs. For engineering students, understanding the processing system is essential, as it forms the foundation of many engineering disciplines, including mechanical, electrical, computer, and industrial engineering [5].

A typical processing system consists of three main elements: input, processing unit, and output. The input represents raw materials, data, or signals that enter the system. These inputs can vary depending on the field—for example, in computer engineering, inputs may include digital data, while in mechanical engineering, they may involve physical materials or energy sources. The processing unit is the core of the system where transformation takes place. This stage involves various operations such as computation, analysis, conversion, or manufacturing processes. Finally, the output is the result produced after processing, which may be in the form of finished products, processed information, or controlled energy.

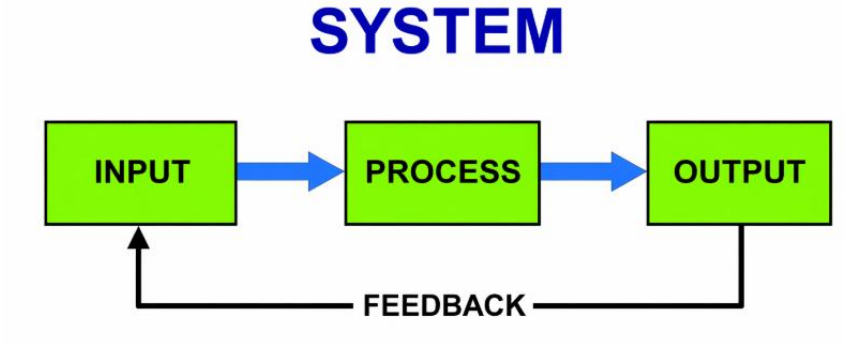
In modern engineering systems, processing is often supported by advanced technologies such as automation, artificial intelligence, and digital control systems. These technologies improve efficiency, accuracy, and reliability while reducing human error and operational costs. For example, in industrial systems, programmable logic controllers (PLCs) and supervisory control and data acquisition (SCADA) systems are widely used to monitor and control processing activities in real time.

Another important aspect of processing system is feedback. Feedback mechanisms allow the system to monitor its performance and make necessary adjustments to maintain optimal operation. This is especially important in control engineering, where maintaining stability and precision is critical. Feedback loops help ensure that the output meets the desired standards and specifications [6].

Furthermore, processing systems must be designed with efficiency and sustainability in mind. Engineers aim to optimize resource utilization, minimize waste, and reduce environmental impact. This involves careful planning, system modeling, and the application of optimization techniques.

In conclusion, the processing system is a fundamental concept in engineering that encompasses the transformation of inputs into valuable outputs through organized and controlled processes. A clear understanding of its structure and functionality enables engineering students to design, analyze, and improve systems effectively, preparing them for real-world engineering challenges.

Figure 2.1 – Basic Processing System Model with Feedback



This figure illustrates a fundamental engineering system model consisting of four main components: input, process, output, and feedback. The **input** represents the raw data, materials, or energy that enter the system. These inputs are then transformed in the **process** stage, where operations such as computation, conversion, or manufacturing take place. The result of this transformation is the **output**, which is the final product or processed information.

An important feature of this system is the **feedback loop**, which connects the output back to the input. Feedback is used to monitor system performance and make necessary adjustments to improve accuracy, efficiency, and stability. This closed-loop mechanism ensures that the system can adapt and maintain desired outcomes, which is especially critical in control systems and automated engineering processes.

A processing system operates as an organized mechanism in which each stage has a specific function and contributes to the overall performance of the system. The first stage, **input**, includes all resources that enter the system. These resources may be physical materials, digital information, energy, commands, or signals depending on the engineering field. For example, in a manufacturing system, raw materials serve as inputs, while in a computer-based system, data and user instructions act as inputs.

The second stage, **process**, is the core part of the system where transformation occurs. At this stage, the system applies certain operations to convert the input into a more useful or meaningful form. In mechanical engineering, this may involve cutting, shaping, assembling, or heat treatment. In electrical and computer engineering, the process may involve signal conversion, calculation, programming, or data analysis. The quality and efficiency of the process stage determine the effectiveness of the entire system.

The third stage, **output**, represents the final result produced by the system. Outputs may include finished products, processed data, mechanical motion, electrical signals, or other desired outcomes. The quality of the output depends directly on the quality of the input and the accuracy of the processing stage. Therefore, engineers must carefully design all stages to ensure reliable and efficient results.

The **feedback** component plays a very important role in system improvement and control. Feedback provides information about the output and sends it back to the system so that corrections can be made if necessary. This helps the system maintain stability, reduce errors, and achieve the required performance level. In automatic control systems, feedback is essential because it allows continuous monitoring and real-time adjustment[8].

Processing systems can be classified as **open-loop** or **closed-loop** systems. In an open-loop system, the output is not measured or returned to influence the input. Such systems are simpler but may be less accurate. In contrast, a closed-loop system uses feedback to compare actual output with the desired result and then corrects deviations. This makes closed-loop systems more reliable and widely used in modern engineering applications.

In practical engineering, processing systems are found in many areas such as industrial automation, robotics, computer networks, transportation systems, and energy management. For instance, in a smart factory, sensors collect input data, machines process the materials, products are generated as output, and control software uses feedback to optimize production. This demonstrates how processing systems support productivity, precision, and sustainability.

Thus, the processing system is not only a technical structure but also a logical framework that helps engineers understand how different components interact within a system. A strong understanding of this concept allows engineering students to analyze system behavior, improve performance, and design better technological solutions for real-world problems.

Mathematical Representation of a Processing System

In engineering, a processing system can be expressed mathematically to evaluate its performance, efficiency, and accuracy.

1. Input–Output Relationship

A basic processing system can be represented as:

$$Output = f(Input)$$

This means the output is a function of the input and the transformation process applied.

For example, in a simple system:

$$Y = kX$$

Where:

- Y– Output
- X– Input
- k– System coefficient (efficiency or gain)

2. System Efficiency

Efficiency is an important parameter in processing systems:

$$\eta = \frac{Useful\ Output}{Total\ Input} \times 100\%$$

Example:

If input energy = 100 units and useful output = 80 units:

$$\eta = \frac{80}{100} \times 100\% = 80\%$$

3. Processing Time Calculation

Total processing time can be calculated as:

$$T_{total} = T_{input} + T_{process} + T_{output}$$

Example:

- Input time = 2 sec
- Processing time = 5 sec
- Output time = 1 sec

$$T_{total} = 2 + 5 + 1 = 8\ sec$$

4. Throughput (System Productivity)

Throughput shows how much output is produced per unit time:

$$Throughput = \frac{Total\ Output}{Total\ Time}$$

Example:

If a system produces 400 units in 8 seconds:

$$Throughput = \frac{400}{8} = 50\ units/sec$$

5. Error and Feedback Control

In feedback systems:

$$Error = Desired\ Output - Actual\ Output$$

Example:

- Desired output = 100
- Actual output = 92

$$Error = 100 - 92 = 8$$

This error is used to correct the system through feedback.

6. Closed-Loop System Equation

A basic closed-loop system can be expressed as:

$$Output = \frac{G}{1 + GH} \times Input$$

Where:

- G– Forward gain
- H– Feedback factor

Conclusion (Short)

These formulas help engineering students analyze processing systems quantitatively. By using efficiency, throughput, time, and feedback equations, engineers can optimize system performance, reduce errors, and improve productivity.

Table 2.1 – Components of a Processing System

Component	Description	Example
Input	Resources entering the system (data, materials, energy)	Raw materials, digital data
Process	Transformation stage where operations are performed	Manufacturing, computation
Output	Final result produced by the system	Finished product, processed information
Feedback	Information returned to control and improve the system	Sensor data, performance reports

This table presents the main components of a processing system. Each component plays a specific role in transforming inputs into outputs. The feedback mechanism ensures system control and continuous improvement.

Table 2.2 – Types of Processing Systems

System Type	Description	Characteristics	Example
Open-loop System	No feedback is used	Simple, less accurate	Electric heater
Closed-loop System	Uses feedback for control	Accurate, self-correcting	Temperature control system
Manual System	Operated by humans	Flexible but slower	Hand assembly
Automated System	Controlled by machines/software	Fast, efficient, precise	Industrial robots

This table classifies processing systems based on their control mechanisms and operation methods. Closed-loop and automated systems are widely used in modern engineering due to higher efficiency and precision.

Table 2.3 – Performance Indicators of Processing Systems

Indicator	Formula	Description	Unit
Efficiency	η = Output / Input × 100%	Measures system effectiveness	%
Throughput	Output / Time	Measures productivity	units/sec
Processing Time	$T = T_1 + T_2 + T_3$	Total system time	seconds
Error	E = Desired − Actual	Measures deviation	units

This table shows key performance metrics used to evaluate processing systems. These indicators help engineers analyze efficiency, speed, and accuracy of system operations.

Table 2.4 – Application Areas of Processing Systems

Field	Input	Process	Output
Manufacturing	Raw materials	Assembly, shaping	Finished goods
Computer Systems	Data	Computation, algorithms	Information
Energy Systems	Fuel, energy	Conversion, transmission	Electricity, heat
Communication	Signals	Encoding, transmission	Received data

This table demonstrates how processing systems are applied across different engineering fields. Although the nature of inputs and outputs varies, the core system structure remains consistent.

Table 2.5 – Advantages of Processing Systems

Advantage	Description
Increased Efficiency	Reduces time and resource usage
Accuracy	Minimizes human errors
Automation	Enables continuous operation
Control	Allows monitoring and adjustment via feedback
Scalability	Can be expanded for larger operations

This table highlights the benefits of processing systems. These advantages make them essential in modern engineering and industrial applications.

III. PERFORMANCE IMPROVEMENT

Performance improvement in processing systems is a critical aspect of engineering, aimed at enhancing system efficiency, productivity, accuracy, and reliability. In modern engineering environments, improving system performance is essential to meet increasing demands, reduce operational costs, and ensure optimal utilization of resources.

One of the key approaches to performance improvement is optimization of system processes. This involves analyzing each stage of the system—input, processing, and output—to identify inefficiencies and eliminate unnecessary steps. Engineers often use mathematical models and simulation tools to optimize workflows and reduce processing time while maintaining high-quality output.

Another important factor is automation and digitalization. The integration of advanced technologies such as programmable logic controllers (PLCs), artificial intelligence (AI), and data analytics allows systems to operate faster and with greater precision. Automation reduces human intervention, minimizes errors, and ensures consistent performance, especially in industrial and manufacturing systems[9].

Time management and scheduling also play a vital role in improving system performance. Efficient allocation of time and resources ensures that tasks are completed within deadlines and system downtime is minimized. Techniques such as time blocking, workflow scheduling, and resource planning help in maintaining a smooth and continuous operation.

The use of feedback and control systems is essential for continuous performance improvement. By monitoring system outputs and comparing them with desired results, engineers can detect deviations and apply corrective actions. Closed-loop systems, in particular, provide real-time adjustments, which significantly enhance system stability and accuracy[10].

Maintenance and system reliability are also crucial elements. Regular maintenance, fault detection, and preventive measures help avoid system failures and prolong equipment lifespan. A well-maintained system operates more efficiently and reduces unexpected interruptions.

Furthermore, energy efficiency and sustainability have become important considerations in performance improvement. Engineers aim to design systems that consume less energy, produce minimal waste, and have a lower environmental impact. This not only improves system performance but also aligns with global sustainability goals.

In addition, human factors and skill development contribute significantly to performance improvement. Skilled operators and engineers can manage systems more effectively, identify problems quickly, and implement innovative solutions. Continuous training and knowledge development are therefore essential.

In conclusion, performance improvement in processing systems is a multidimensional process that involves technological advancement, process optimization, effective control, and human expertise. By applying these strategies, engineering systems can achieve higher efficiency, better reliability, and improved overall performance, preparing students and professionals for real-world engineering challenges.

IV. CONCLUSION

In conclusion, processing systems play a fundamental role in engineering by enabling the transformation of inputs into valuable outputs through structured and controlled operations. Understanding the basic components of a processing system—input, process, output, and feedback—provides a solid foundation for analyzing and designing efficient engineering solutions.

Throughout this study, it has been shown that the effectiveness of a processing system depends on several key factors, including system organization, performance indicators, and the integration of modern technologies. The use of mathematical models and performance metrics such as efficiency, throughput, and error allows engineers to evaluate system behavior and identify areas for improvement.

Furthermore, performance improvement strategies such as process optimization, automation, feedback control, and proper resource management significantly enhance system productivity and reliability. The application of these methods ensures that engineering systems can operate with greater accuracy, reduced costs, and minimal waste.

In today's rapidly advancing technological environment, the importance of efficient processing systems continues to grow. Engineering students must develop not only theoretical knowledge but also practical skills in system analysis, problem-solving, and time management to effectively work with such systems.

Overall, mastering the principles of processing systems and their performance improvement equips engineering students with essential competencies for their future careers, enabling them to design innovative, efficient, and sustainable solutions in various engineering fields.

References

1. Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2017). *Modern control systems* (13th ed.). Pearson.
2. Ogata, K. (2010). *Modern control engineering* (5th ed.). Prentice Hall.
3. Kuo, B. C., & Golnaraghi, F. (2017). *Automatic control systems* (10th ed.). McGraw-Hill.
4. Groover, M. P. (2020). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (5th ed.). Pearson.
5. Stevens, W. R. (2011). *Advanced engineering mathematics*. Wiley.
6. Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to statistical quality control* (8th ed.). Wiley.
7. Nahmias, S., & Olsen, T. L. (2015). *Production and operations analysis* (7th ed.). Waveland Press.
8. Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations management: Sustainability and supply chain management* (13th ed.). Pearson.
9. Slack, N., Brandon-Jones, A., & Burgess, N. (2018). *Operations management* (9th ed.). Pearson.
10. Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (7th ed.). Pearson.
11. Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2014). *Manufacturing engineering and technology* (7th ed.). Pearson.
12. Bolzani, C. A. (2012). *Industrial automation and process control*. Springer.
13. Seborg, D. E., Edgar, T. F., & Mellichamp, D. A. (2016). *Process dynamics and control* (3rd ed.). Wiley.
14. Lipták, B. G. (2013). *Instrument engineers' handbook: Process control*. CRC Press.
15. Groover, M. P. (2016). *Fundamentals of modern manufacturing* (6th ed.). Wiley.
16. Panneerselvam, R. (2012). *Production and operations management*. PHI Learning.
17. Sivanandam, S. N., & Deepa, S. N. (2008). *Introduction to genetic algorithms*. Springer.
18. Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.
19. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
20. Shankar, R. (2007). *Industrial engineering and management*. Tata McGraw-Hill.
21. ISO. (2015). *ISO 9001: Quality management systems—Requirements*. International Organization for Standardization.
22. ISO. (2018). *ISO 50001: Energy management systems—Requirements*. ISO.
23. World Bank. (2020). *Enhancing productivity in manufacturing sectors*. World Bank Publications.
24. OECD. (2019). *Productivity and innovation in the digital age*. OECD Publishing.
25. Porter, M. E. (2008). *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. Free Press.

OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESSES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Sevil İmanova
Department of Engineering
Baku Engineering University
Khirdalan, Azerbaijan
simanova@beu.edu.az

Nurana Rustamova
Department of Engineering
Baku Engineering University
Khirdalan, Azerbaijan
nrustemova1@std.beu.edu.az

Sabina Tagiyeva
Department of Engineering
Baku Engineering University
Khirdalan, Azerbaijan
stagiyeva2@std.beu.edu.az

Zeynab Asrafli
Department of Engineering
Baku Engineering University
Khirdalan, Azerbaijan
zeshrefli2025@std.beu.edu.az

Sahrinaz Aslanova
Department of Engineering
Baku Engineering University
Khirdalan, Azerbaijan
saslanova5@std.beu.edu.az

Abstract: The optimization of production processes is essential for enhancing efficiency and competitiveness in today's dynamic industrial environment. Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) are becoming increasingly utilized within manufacturing systems. The combination of advancements in AI algorithms and the availability of industrial data from the Internet of Things (IoT) allows for the application of innovative solutions to various practical problems in production. This paper presents a comprehensive framework for optimizing production processes using AI techniques, demonstrating its ability to provide reliable, efficient, and adaptive improvements. The framework addresses key areas including predictive maintenance, quality control, production scheduling, and process parameter optimization. To ensure optimal performance, different AI models are employed, and their effectiveness is evaluated using real-world industrial data.

Keywords*: artificial intelligence, machine learning, production optimization, predictive maintenance, smart manufacturing,*

I. INTRODUCTION

The optimization of production processes is a cornerstone of modern manufacturing, directly impacting cost, quality, and overall competitiveness. In the context of Industry 4.0 and the emerging Industry 5.0, the integration of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) offers transformative potential. Traditional approaches to process optimization, such as Lean management and Six Sigma, rely heavily on expert-driven evaluations and predefined improvement procedures [1]. While effective for structured and stable environments, they often lack the flexibility to adapt to rapid changes in production or to analyze large volumes of heterogeneous process data in real time.

AI-based methodologies provide a data-driven alternative, capable of learning complex patterns, making predictions, and autonomously optimizing processes [2]. This shift from reactive to proactive and predictive operations is a key enabler of smart manufacturing. AI can be applied across a wide range of production domains, including predictive maintenance, quality control, production scheduling, supply chain management, and energy optimization. By leveraging data from sensors, machines, and enterprise systems, AI models can uncover hidden inefficiencies and recommend optimal actions, thereby reducing waste, minimizing downtime, and improving product quality.

This paper presents a systematic framework for the application of AI to production process optimization [3]. The framework integrates several key modules, including data acquisition and preprocessing, AI model development and selection, and deployment for real-time decision support. The effectiveness of the proposed framework is validated through case studies and performance analysis, demonstrating significant improvements in Overall Equipment Effectiveness (OEE), reduction in unplanned downtime, and enhancement of product quality.

II. PREDICTIVE MAINTENANCE

Predictive maintenance (PdM) is one of the most impactful applications of AI in manufacturing. The goal is to forecast when equipment failure is likely to occur so that maintenance can be scheduled proactively, minimizing unplanned downtime and reducing maintenance costs. By analyzing data from sensors embedded in machinery, AI models can predict when components are likely to fail, allowing for timely maintenance.

For instance, a Random Forest Regressor was used to predict the Risk Priority Number (RPN) in a glass manufacturing plant, achieving a coefficient of determination (R2) of 0.999 and a Mean Absolute Error (MAE) of 2.18. In another case study, an Al-powered system using multi-sensor fusion detected early signs of mechanical degradation in a sinter fan, enabling intervention before failure and saving approximately $336,000 in prevented downtime. Similarly, a global mobility company leveraged Grundfos Machine Health to detect forty-six faults across twenty-five machines within ten months, resulting in savings exceeding $1.1 million. These examples demonstrate the substantial return on investment achievable through Al-driven predictive maintenance.

III. ML-SUMMARY

ML can be divided into three subtopics: supervised learning, unsupervised learning and reinforcement learning [3]. The findings of the article depicted in Fig. 1 present, that the majority of ML methods used are supervised methods. Moreover, Fig. 1 shows, that in recent years in a variety of architectures ANN are used to solve challenges in the manufacturing domain followed by tree algorithms [2]. ANN are models consisting of nodes, weights and layers and are intended to mimic a learning approach similar to the brain [1]. Whereas tree algorithms are architectures with branches that inherit information about an item, up to its leaves which contain the target of the regarded item [2]. Besides models from supervised learning, there are techniques from unsupervised learning such as singular value decomposition and principal component analysis that can be used to reduce the dimension of the data.

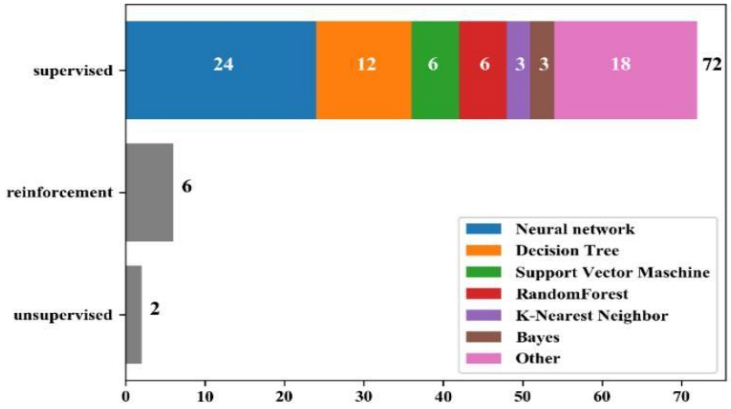


Fig.1 Used methods for applications of the structured review

Difficulties in modelling manufacturing processes are manifold: the great number of different machining operations, multidimensional, nonlinear, stochastic nature of machining, partially understood relations between parameters, lack of reliable data, etc. A number of reasons back the required models: the design, optimization, control and simulation of processes and the design of equipment. Artificial neural networks (ANNs) are general, multivariable, nonlinear estimators. This soft computing technique can offer viable solutions especially for problems where abilities for real-time functioning, uncertainty handling, sensor integration, and learning are essential features.

IV. HYBRID MODELLING AND OPTIMISATION OF PROCESESS AND PROCESS CHAINS

The sequence of production operations can be modelled by a chain of operations connected by their input-output parameters. In the following space a block-oriented software
named ‘ProcessManager’ will be introduced for optimizing operations and/or production chains according to criteria handled by the usual weighting technique [4]. It can be considered as an extension of the modelling and search techniques introduced for single processes. ProcessManager incorporates (Fig. 2):

- Definition of the elements of the process chain.
- Determination of the process models in a hybrid way, by integrating analytical equations, expert knowledge and example-based learning.
- Connecting the single models into a process chain by coupling input-output model parameters not limited to models of successive processes in the chain.
- Definition of eligible intervals or limits for the process parameters and monitoring indices.
- Definition of a cost function to be optimized, etc.

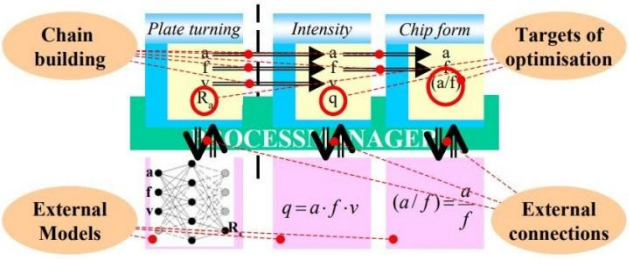


Fig.2 Hybrid modelling and optimisation by ProcessManager

V. PERFORMANCE IMPROVEMENT AND STABILITY

The speed and scalability of AI-driven optimization systems are critical for real-world industrial deployment. The volume of data generated by modern factories can be immense, requiring efficient processing pipelines. Two primary approaches are used to enhance performance and scalability:

1. Parallel and Distributed Computing: AI model training and inference can be distributed across multiple workstations or a cluster of servers [2]. This allows for the processing of large datasets and the training of complex deep learning models in a reasonable timeframe.
2. Edge Computing: Instead of sending all sensor data to a central cloud server for processing, AI models can be deployed on edge devices located close to the machines [2]. This reduces latency, decreases bandwidth requirements, and enhances data security. Edge AI enables real-time, closed-loop control for applications like quality inspection and predictive maintenance.

Furthermore, the computational efficiency of the AI models themselves is a key consideration. Techniques such as model quantization and pruning can reduce the size and inference time of neural networks, making them suitable for deployment on resource-constrained edge hardware [2].

VI. INDUSTRIAL APPLICATION

Simulation techniques can be advantageously used in the design of new production plants. However, their application is usually extremely time-consuming. Some preliminary results of an iterative procedure for the design of manufacturing systems (resource requirements) employing ANNs in conjunction with simulation were presented in [6]. The aim of the ANN was to learn the inverse of the simulation function. Given desired performance measure levels (e.g. mean job tardiness, mean job flowtime, mean resource utilization and the completion time of all tasks), the network should output appropriate values for the system parameters (e.g. the number of resources for each work center of a job shop). The approach was regarded as a valuable tool for the manufacturing system design problem, guiding the highly iterative design process and hence reducing the required number of simulations by a simple and automatic training procedure [6].

Now, it will be shown how the modelling and optimization approach and the developed framework described in the previous sections can be used for the optimization of whole production plants where the simulation function cannot be inverted, therefore, a search process is required. The concept is illustrated in Fig. 3.

According to this concept, the production plant is represented as a chain of processes where the most important part (parts) is (are) simulated by appropriate (in most cases discrete event) simulation packages. In the case of plant optimization, most of the parameters are fixed and - satisfying some constraints - the values of other parameters are to be determined in order to reach some performance measures. Naturally, some constraints have to be satisfied at the same time.

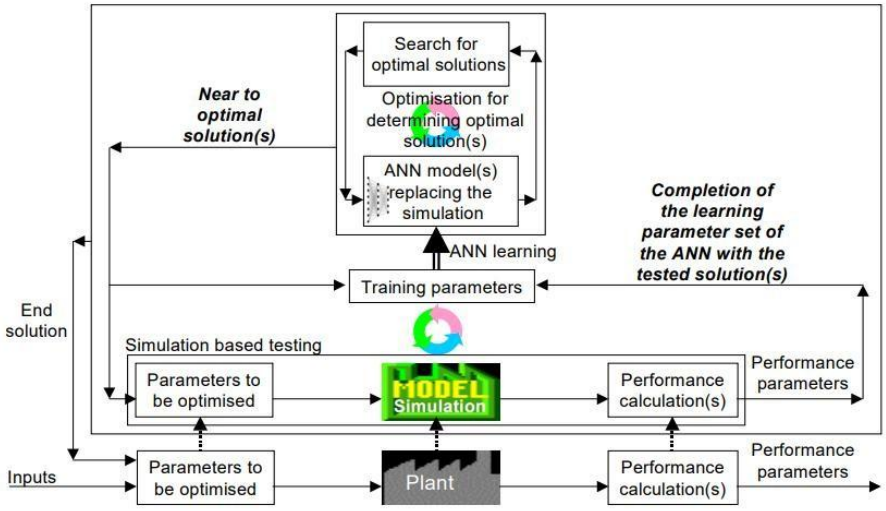


Fig.3 Concept of AI, ML optimization of production

VII. CONCLUSION

This paper has presented a comprehensive framework for the optimization of production processes using Artificial Intelligence. The framework addresses the entire lifecycle, from data acquisition and preprocessing to AI model development, deployment, and integration [2]. The application of AI techniques, including supervised and unsupervised learning, reinforcement learning, and deep learning, has been shown to deliver significant improvements across multiple manufacturing domains. Key applications include predictive maintenance, which reduces unplanned downtime and saves costs; quality control, which minimizes defect rates; dynamic production scheduling, which optimizes resource utilization; and process parameter optimization, which enhances efficiency and product quality [5].

The system's performance and scalability can be further enhanced through parallel computing and edge deployment [2]. The empirical results presented in this paper demonstrate that AI-driven solutions are not only viable but also essential for modern manufacturing enterprises seeking to achieve the goals of Industry 4.0 and beyond. By enabling data-driven, proactive, and adaptive operations, AI empowers manufacturers to achieve new levels of efficiency, quality, and competitiveness in an increasingly dynamic global market.

REFERENCES

[1] S. P. Leo Kumar, "State of The Art-Intense Review on Artificial Intelligence Systems Application in Process Planning and Manufacturing," Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 65, pp. 294-329, 2017.

[2] T. Wuest, D. Weimer, C. Irgens, and K.-D. Thoben, "Machine learning in manufacturing: advantages, challenges, and applications," Production & Manufacturing Research, vol. 4, no. 1, pp. 23-45, 2016.

[3] L. Monostori, A. Markus, H. van Brussel, and E. Westkämpfer, "Machine Learning Approaches to Manufacturing," CIRP Annals, vol. 45, no. 2, pp. 675-712, 1996.

[4] Chryssolouris, G., Lee, M., Pierce, J., Domroese, M., (1990), "Use of neural networks for the design of manufacturing systems", Manufacturing Review, Vol. 3, No. 3, 57-63.

[5] Simon Fahle, Christopher Prinz, Bernd Kuhlenkötter,Systematic review on machine learning (ML) methods for manufacturing processes – Identifying artificial intelligence (AI) methods for field application,Procedia CIRP,Volume 93,2020.

[6] B. Bajic, I. Cosic, M. Lazarevic, N. Sremcev, and A. Rikalovic, "Machine Learning Techniques for Smart Manufacturing: Applications and Challenges in Industry 4.0," in Proc. 9th Int. Sci. and Expert Conf. TEAM 2018, 2018.

THE ROLE OF INDUSTRIAL ENGINEERING IN REDUCING TIME WASTE IN PRODUCTION

Sevil İmanova
Department of Engineering
Baku Engineering University
Khirdalan,*Azerbaijan*
simanova@beu.edu.az

Yusif Alizade
Department of Engineering
Baku Engineering University
Khirdalan,*Azerbaijan*
yelizade2025@std.beu.edu.az

Aliakbar Hajiyev
Department of Engineering
Baku Engineering University
Khirdalan,*Azerbaijan*
ehaciyev10@std.beu.edu.az

Hasan Mammadli
Department of Engineering
Baku Engineering University
Khirdalan, Azerbaijan
hmemmedli2025@std.edu.az

Abstract: Time waste in production environments is one of the most persistent challenges in manufacturing, and industrial engineering offers a structured evidence-based approach to addressing it. Drawing on operations research, work design, and production control, the field equips practitioners with tools to systematically identify where time is lost and for the reason why. Methods such as time and motion study, queuing theory and discrete event simulation allow engineers to map process behavior with precision, while lean principles, including just-in-time production and standardized work-provide the operational logic for eliminating activities that consume resources without adding value.

Keywords: Industrial engineering; production lead time; lean manufacturing; work measurement; value-added analysis; cycle time reduction; process optimization

I. INTRODUCTION

In global manufacturing, time is one of the most valuable resources and one of the most consistently wasted. Time waste, understood broadly as any expenditure of time that fails to contribute directly to customer value, has been recognized as a fundamental cost driver since the early twentieth century [11]. Yet despite considerable advances in production technology over the decades, surveys of manufacturing firms continue to show that a substantial share of shop-floor time is consumed by waiting, unnecessary transportation, excessive changeovers and other activities that add no real value to the final product.

Industrial engineering emerged, in large part, as a response to these very inefficiencies. Drawing on principles from engineering, mathematics, and the behavioral sciences, industrial engineers design, analyze, and continuously refine integrated systems encompassing people, materials, information, equipment, and energy [4]. At the core of this work lies a sustained preoccupation with time, its careful measurement, systematic decomposition and relentless optimization.

II. THEOCRITICAL FOUNDATION

The intellectual roots of time-waste reduction in production lead back to F.W Taylor's Principles of Scientific Management [11], in which he made the case for rigorous measurement and standardization of work tasks. Taylor's time study methodology was the first systematic attempt to draw a clear line between productive work and the idle time, delays, and avoidable interruptions that quietly eroded it. Working alongside this tradition, Frank and Lillian Gilbreth took a complementary path through motion study, breaking physical tasks down into their smallest constituent movements in order to identify and eliminate redundant effort.

Lean manufacturing - the Western codification of principles [12] extended Ohno's foundational framework into a comprehensive and widely applicable production philosophy. Central to lean thinking is the concept of the value stream: the complete sequence of activities required to transform raw material into a product delivered to the end customer, alongside the imperative to identify and eliminate all forms of waste embedded within that sequence [6]. It is industrial engineering that furnishes the analytical rigor through which these principles are translated from theoretical constructs into operational practice.

III. METHODOLOGIES FOR TIME-WASTE REDUCTION

A range of well-established IE methodologies contributes directly to the identification and elimination of time waste in production systems. The following sub-sections examine the most significant among them.

3.1Time and Motion Study

Time study, as formalized by Taylor [11], involves the direct observation and timing of work elements to establish standard times for operations. When combined with motion study techniques, it enables industrial engineers to identify delay-prone steps, quantify idle time, and develop optimized standard operating procedures. Contemporary practice employs stopwatch time study, predetermined motion-time systems (PMTS) such as MTM (Methods-Time Measurement), and video-based analysis tools to conduct these

evaluations with high precision [1]. Standardized work, derived from these analyses, forms the baseline against which subsequent improvements are measured.

3.2 Value Stream Mapping (VSM)

Value stream mapping is a lean diagnostic tool that furnishes a visual representation of both material and information flows across the entirety of a production system [9]. By systematically capturing process-level data: cycle times, changeover times, equipment uptime percentages, batch sizes, and inventory levels at each stage, VSM enables practitioners to calculate the ratio of total value-added time to total lead time. In batch-production environments, this ratio frequently falls as low as one to five percent, a figure that renders visible the considerable magnitude of time waste otherwise concealed within the system. The future-state map, constructed by an interdisciplinary team through the deliberate application of lean principles, subsequently serves as the blueprint for systemic, organization-wide improvement.

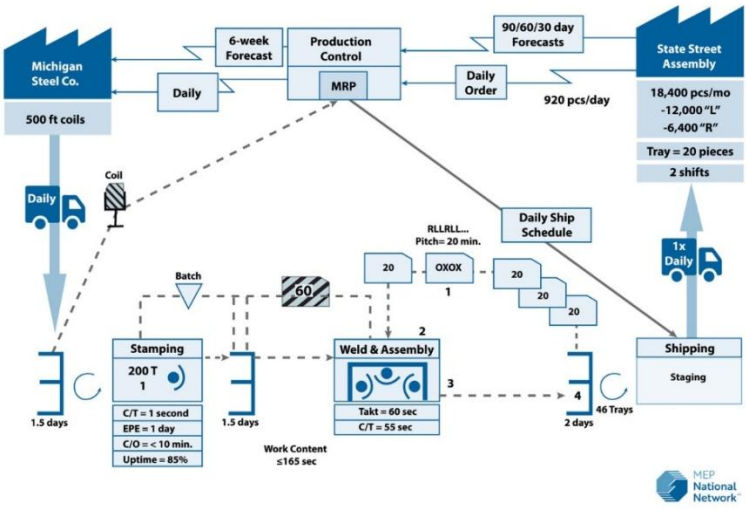


Fig.1 Example for a Value Stream Map

3.3 Total Productive Maintenance (TPM) and Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Unplanned equipment downtime and speed losses constitute major sources of time waste on the shop floor. Total productive maintenance, operationalized through the OEE metric, provides a framework for quantifying and attacking these losses. OEE is calculated as the product of availability, performance efficiency, and quality rate; world-class OEE is generally considered to be 85% or above [8]. Industrial engineers use OEE data to prioritize maintenance investments, design autonomous maintenance programs, and implement predictive maintenance strategies, thereby recovering productive time that would otherwise be lost to breakdowns and minor stoppages.

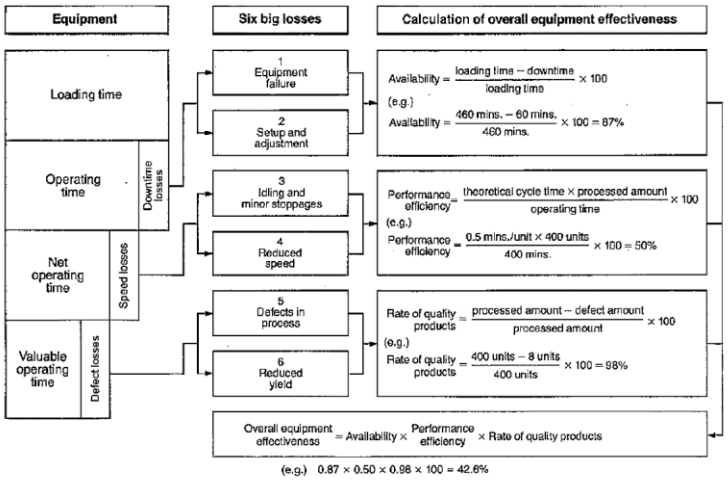
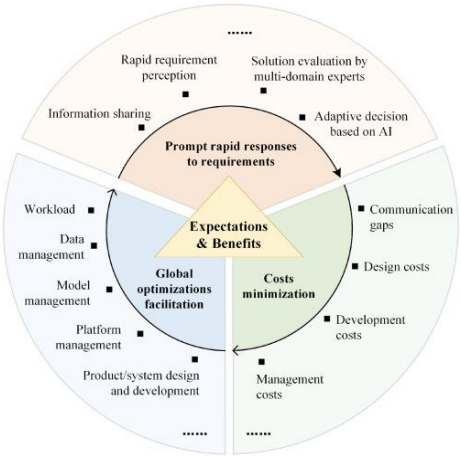


Fig.2 Overall Equipment Effectiveness and Goal graph.



3.4 Simulation and Digital Engineering Tools

Advances in computational power have enabled industrial engineers to construct discrete-event simulation models of production systems, facilitating the analysis of bottlenecks, buffer sizes, and scheduling policies without disrupting live operations [5]. Simulation allows engineers to experiment with alternative layouts, staffing configurations and process sequences, identifying time-waste reduction opportunities that would be difficult or impossible to detect through direct observation alone. The integration of simulation with Industry 4.0 technologies, including real-time sensor data and digital twin platforms, is extending these capabilities further.

IV. ON PRACTICE

The evidence reviewed in this paper points toward several practical recommendations for manufacturing organizations seeking to harness industrial engineering in the systematic reduction of time waste. Most fundamentally, organizations should commit to the rigorous measurement of time across the value stream before any improvement initiative is undertaken. In the absence of reliable baseline data, it becomes impossible to meaningfully prioritize opportunities or to assess the true effectiveness of subsequent interventions - VSM and time study together offer complementary data collection frameworks well suited to this foundational purpose.

TPM and OEE programs warrant particular priority in environments characterized by high product variety or elevated machine utilization, where setup times and unplanned downtime exert the greatest pressure on throughput and delivery performance. Such programs should be led by industrial engineers working in genuine collaboration with maintenance personnel and machine operators, practitioners who carry contextual knowledge that no analytical framework alone can fully replicate, and whose involvement is therefore indispensable to effective root-cause analysis.

Perhaps most importantly, the cultural and organizational dimensions of time-waste reduction must not be treated as secondary concerns. Industrial engineers require preparation not only in technical methods, but also in change management, facilitation, and organizational communication. Without these competencies, even technically sound improvement programs risk stalling at the level of procedure, failing to achieve the genuine workforce engagement and sustained behavioral change upon which lasting improvement ultimately depends.

V. CONCLUSION

This paper has demonstrated that industrial engineering plays a central and indispensable role in the reduction of time waste in production systems. Through methodologies ranging from time and motion study and value stream mapping to SMED, TPM, and simulation, industrial engineers provide organizations with a disciplined, evidence-based approach to identifying and eliminating the non-value-added activities that inflate lead times, reduce throughput, and erode competitive position.

REFERENCES

[1] Barnes, R. M. (1980). Motion and time study: Design and measurement of work. John Wiley & Sons.

[2] The lean toolbox: The essential guide to lean transformation Bicheno J., & Holweg M., 2016.

[3] Lean manufacturing and firm performance: The incremental contribution of lean management accounting practices. Journal of Operations Management, Fullerton, R. Kennedy, F. Widener, 32(7–8), p 414–428. 2014
[4] Institute of Industrial and Systems Engineers. What is industrial and systems engineering? https://www.iise.org/ , 2022.
[5] Simulation modeling and analysis (5th ed.). Law, A. M., 2015.
[6] Womack, J. P., & Jones, D. T. Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation, 2003.
[7] Effectiveness of SMED methodology in reducing setup time: A case study of pharmaceutical packaging. Mehta, R. V. R., & Shah, B. International Journal of Lean Six Sigma, 9(1), 78–95., 2018.
[8] Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM: Total productive maintenance. Productivity Press.
[9] Rother, M., & Shook, J. (1998). Learning to see: Value stream mapping to create value.
[10] Shah, R., & Ward, P. T. Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance. Journal of Operations Management, 21(2), 129–149., 2003
[11] Taylor, F. W. (1911). The principles of scientific management. Harper & Brothers.
[12] Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. The machine that changed the world. ,1990.

SƏNAYE 4.0 ŞƏRAİTİNDƏ AĞILLI İSTEHSALAT MÜHİTLƏRİNDƏ 5G TEXNOLOGİYASININ TƏTBİQİ

İlqar Xurşudov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik fakultəsi, Sənaye mühəndisliyi kafedrasının baş müəllimi
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
ixursudov@beu.edu.az

Elvin Həsənov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik fakultəsi, Texnalogiyalar və əməliyatların idarəedilməsi
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
heselvin92@gmail.com

Xülasə. Məqalədə Sənaye 4.0 çərçivəsində ağıllı istehsalat mühitlərində 5G texnologiyasının tətbiqi məsələləri araşdırılır. Ultra aşağı gecikmə, yüksək etibarlılıq və geniş bağlantı imkanlarının sənaye proseslərinin avtomatlaşdırılması və real vaxtda idarə olunmasındakı rolu təhlil edilir. Tədqiqatda 5G texnologiyasının kiber-fiziki sistemlər, Əşyaların Sənaye İnterneti (IIoT) və kənar hesablama ilə inteqrasiyası qiymətləndirilir. Eyni zamanda, iqtisadi səmərəlilik, infrastruktur tələbləri və tətbiq zamanı qarşıya çıxan problemlər araşdırılaraq müasir istehsalatın rəqəmsal transformasiyası üçün strateji yanaşmalar təqdim edilir.
Açar sözlər: 5G, Ağıllı istehsalat, Sənaye 4.0, IIoT, Kiber-fiziki sistemlər
Abstract. This article explores the application of 5G technology in smart manufacturing environments within the framework of Industry 4.0. It analyzes how ultra-low latency, high reliability, and massive connectivity enable real-time control, automation, and data-driven decision-making in industrial systems. The study evaluates the integration of 5G with cyber-physical systems, Industrial Internet of Things (IIoT), and edge computing. Furthermore, economic and operational benefits, infrastructure requirements, and implementation challenges are discussed, providing strategic insights for digital transformation in modern manufacturing.
Keywords: 5G, Smart Manufacturing, Industry 4.0, IIoT, Cyber-Physical Systems, Edge Computing
Резюме. В статье рассматриваются вопросы применения технологии 5G в интеллектуальных производственных средах в рамках концепции Индустрии 4.0. Анализируется влияние сверхнизкой задержки, высокой надежности и массового подключения устройств на процессы автоматизации и управления производством в реальном времени. В исследовании оценивается интеграция 5G с

кибер-физическими системами, промышленным интернетом вещей (IIoT) и периферийными вычислениями. Также рассматриваются экономические преимущества, требования к инфраструктуре и основные проблемы внедрения, что позволяет сформировать стратегические подходы к цифровой трансформации промышленности.

Ключевые слова: 5G, интеллектуальное производство, Индустрия 4.0, IIoT, кибер-физические системы

Giriş: Müasir sənaye sistemləri sürətlə rəqəmsallaşaraq daha çevik, avtomatlaşdırılmış və məlumat əsaslı idarəetmə modellərinə keçid edir. Sənaye 4.0 konsepsiyası bu transformasiyanın əsasını təşkil edir və istehsalat proseslərinin optimallaşdırılmasını təmin edir [3,5].

Ənənəvi rabitə texnologiyaları, xüsusilə 4G və simli şəbəkələr, real vaxt rejimində idarəetmə və geniş miqyaslı sensor şəbəkələrinin effektiv fəaliyyətini tam təmin etmir. Bu baxımdan, 5G texnologiyası sənaye mühitində yeni imkanlar yaradır və istehsalat sistemlərinin rəqəmsal transformasiyasında əsas rol oynayır [1,4] .

Bu tədqiqatın məqsədi ağıllı istehsalat mühitlərində 5G texnologiyasının tətbiqinin texniki və iqtisadi üstünlüklərini sistemli şəkildə təhlil etməkdir.

Bu tədqiqatın elmi yeniliyi 5G texnologiyasının yalnız texniki aspektlərdə deyil, həm də iqtisadi və idarəetmə baxımından kompleks şəkildə qiymətləndirilməsindən ibarətdir.

Metodologiya

Bu tədqiqat analitik və müqayisəli yanaşma əsasında aparılmışdır. Mövzu üzrə beynəlxalq elmi mənbələr, sənaye hesabatları və real tətbiq nümunələri təhlil edilmişdir [1–5]. Tədqiqat zamanı əldə olunan nəticələr ümumiləşdirilərək sistemli şəkildə təqdim edilmiş və 5G texnologiyasının istehsalat mühitində tətbiqinin effektivliyi qiymətləndirilmişdir.

Araşdırma çərçivəsində 5G və 4G texnologiyaları arasında texniki müqayisə aparılmış, gecikmə, etibarlılıq və bağlantı imkanları qiymətləndirilmişdir [1,2,4].

Eyni zamanda, 5G texnologiyasının IIoT və kiber-fiziki sistemlərlə inteqrasiyasının istehsalat səmərəliliyinə təsiri analiz edilmişdir [2,4].

Ağıllı istehsalat (Smart Manufacturing) kiber-fiziki sistemlərin, avtomatlaşdırılmış idarəetmə mexanizmlərinin və IIoT texnologiyalarının inteqrasiyası ilə formalaşır. Bu sistemlərdə məlumatların real vaxtda toplanması və emalı əsas rol oynayır.

5G texnologiyası aşağıdakı üstünlükləri ilə seçilir [1,2,4] :

- **Ultra aşağı gecikmə (1–10 ms)** – robotların sinxron işləməsini təmin edir;
- **Yüksək etibarlılıq** – istehsal prosesində fasilələrin qarşısını alır;
- **Kütləvi bağlantı (mMTC)** – minlərlə cihazın eyni anda şəbəkəyə qoşulmasına imkan verir.

Bu xüsusiyyətlər istehsalat proseslərinin daha çevik şəkildə avtomatlaşdırılmasına və optimallaşdırılmasına imkan yaradır. Müasir sənaye müəssisələrində 5G texnologiyasının tətbiqi real nəticələrlə də təsdiqlənir. Bu cür tətbiqlərdən aydın olur ki, ağıllı zavod konsepsiyası çərçivəsində tətbiq olunan sistemlərdə sensorlar və kiber-fiziki komponentlər vasitəsilə real vaxt rejimində məlumat mübadiləsi həyata keçirilir. Bu yanaşma istehsal proseslərinin dəqiqliyini artırır, avadanlıqların dayanma müddətini azaldır və ümumi məhsuldarlığın yüksəlməsinə səbəb olur. Bu baxımdan, 5G texnologiyası yalnız rabitə vasitəsi deyil, həm də istehsalatın optimallaşdırılmasında əsas texnoloji element kimi çıxış edir [1,5]. Ənənəvi rabitə texnologiyaları ilə müqayisədə 5G daha aşağı gecikmə (1-10 ms), daha yüksək etibarlılıq və daha geniş bağlantı imkanları təqdim edir. Belə ki, 4G şəbəkələrində gecikmə 30-50 ms təşkil etdiyi halda, 5G texnologiyası real vaxt rejimində idarəetmə üçün daha əlverişli şərait yaradır. Bu xüsusiyyət xüsusilə avtomatlaşdırılmış istehsalat sistemlərində effektivliyin artırılması baxımından mühüm üstünlük kimi qiymətləndirilir. Bu fərqlər göstərir ki, 5G texnologiyası sənaye mühitində real vaxt rejimində idarəetmə və avtomatlaşdırma baxımından daha əlverişli imkanlar yaradır [1,4].

5G texnologiyasının əsas komponentləri aşağıdakı kimidir:

1. URLLC (Ultra-Reliable Low-Latency Communication - Ultra etibarlı və aşağı gecikməli rabitə)

Bu texnologiya sənaye robotlarının real vaxtda idarə olunmasına şərait yaradır. Məsələn, robot manipulyatorların koordinasiyalı işləməsi yalnız minimal gecikmə ilə mümkündür [1,2].

2. mMTC (Massive Machine Type Communication - Kütləvi maşın tipli rabitə)

İstehsalat sahəsində yerləşən sensorlar, aktuatorlar və digər cihazlar arasında fasiləsiz əlaqə yaradır [2,4].

3. MEC (Multi-Access Edge Computing - Çoxgirişli kənar hesablama)

Məlumatların buluddan deyil, lokal səviyyədə emal olunmasını təmin edir. Bu isə gecikməni azaldır və sistemin effektivliyini artırır [1,4].

İnfrastruktur və inteqrasiya məsələləri

5G texnologiyasının tətbiqi yalnız rabitə səviyyəsində deyil, həm də istehsalat infrastrukturunun modernləşdirilməsini tələb edir. Bu inteqrasiya yanaşması istehsalat sistemlərinin çevikliyini artırmaqla yanaşı, real vaxt qərarvermə imkanlarını da genişləndirir [1,3].

Əsas istiqamətlər:

- **Şəbəkə dilimlənməsi (Network Slicing)** – müxtəlif tətbiqlər üçün fərqli şəbəkə resurslarının ayrılması;
- **Ağıllı zavod arxitekturası** – avtomatlaşdırılmış istehsal xətləri;
- **Sensor və IoT ekosistemi** – real vaxtlı monitorinq.

Bu komponentlərin inteqrasiyası istehsalatın çevikliyini və məhsuldarlığını artırır [2,4].

5G texnologiyasının tətbiqi ilkin investisiya tələb etsə də, uzunmüddətli perspektivdə aşağıdakı üstünlüklər təmin olunur:

- Əməliyyat xərclərinin azalması;
- Avadanlıqların iş müddətinin uzadılması;
- Enerji səmərəliliyinin artması;
- Nasazlıqların proqnozlaşdırılması (predictive maintenance).

ROI (Return on Investment) analizinə əsasən, 5G texnologiyasına keçid 3-5 il ərzində özünü doğruldur [4,5]. 5G texnologiyasının tətbiqi istehsalat səmərəliliyinə birbaşa təsir göstərir. Gecikmənin azalması istehsal proseslərinin sürətlənməsinə, yüksək etibarlılıq sistemin fasiləsiz işləməsinə, geniş bağlantı isə çoxsaylı cihazların koordinasiyasına imkan yaradır. Bu amillərin birgə təsiri nəticəsində məhsuldarlıq artır, əməliyyat xərcləri isə azalır [4,5]. Beynəlxalq tədqiqatlara əsasən, 5G texnologiyasının tətbiqi istehsalat mühitlərində əməliyyat xərclərinin 15-25% azalmasına və məhsuldarlığın 20-30% artmasına səbəb ola bilər [4].

Azərbaycan sənaye sektorunda rəqəmsallaşma istiqamətində mühüm addımlar atır. Xüsusilə sənaye parkları və texnoparklar 5G texnologiyasının tətbiqi üçün əlverişli mühit yaradır. Ölkənin enerji resursları və rəqəmsal inkişaf strategiyası ağıllı istehsalatın inkişafına zəmin yaradır [3,5]. Bu baxımdan, 5G texnologiyasının tətbiqi milli iqtisadiyyatın rəqabət qabiliyyətini artıracaq əsas amillərdən biridir. Bu texnologiyanın tətbiqi xüsusilə sənaye parklarında, logistika mərkəzlərində və neft-qaz sektorunda avtomatlaşdırma səviyyəsinin artırılmasına imkan verə bilər.

Əsas problemlər:

- Yüksək ilkin investisiya;
- Kibertəhlükəsizlik riskləri;
- Texniki kadr çatışmazlığı.

Bundan əlavə, 5G texnologiyasının tətbiqi zamanı spektr resurslarının bölüşdürülməsi, xüsusi şəbəkələrin qurulması xərcləri və kənar hesablama sistemlərində kibertəhlükəsizlik məsələləri də mühüm problemlər sırasına daxildir [1,4] .

Həll yolları aşağıdakı kimidir:

- Dövlət dəstəyi və subsidiyalar;
- Təlim və ixtisasartırma proqramları;
- Təhlükəsizlik protokollarının gücləndirilməsi [3,5] .

Nəticə

Ağıllı istehsalat mühitlərində 5G texnologiyasının tətbiqi sənaye sektorunda yeni inkişaf mərhələsi yaradır. Bu texnologiya yalnız istehsalın avtomatlaşdırılması deyil, həm də qərarvermə proseslərinin optimallaşdırılması baxımından böyük əhəmiyyət kəsb edir. 5G texnologiyasının geniş tətbiqi nəticəsində istehsalat sistemləri daha çevik, təhlükəsiz və səmərəli olacaqdır. Bu isə gələcəkdə daha inkişaf etmiş "ağıllı zavodların" formalaşmasına və sənaye sektorunun tam rəqəmsallaşmasına gətirib çıxaracaqdır [3,5]. Eyni zamanda, 5G texnologiyasının inkişafı gələcəkdə süni intellekt və digər rəqəmsal texnologiyalarla inteqrasiya olunaraq sənaye mühitində daha yüksək avtomatlaşdırma və optimallaşdırma səviyyəsinin formalaşmasına şərait yaradacaqdır. Aparılan təhlillər göstərir ki, 5G texnologiyasının tətbiqi istehsalat mühitlərində səmərəliliyin artırılması, xərclərin azaldılması və qərarvermə proseslərinin optimallaşdırılması baxımından yüksək potensiala malikdir. Bu baxımdan, 5G texnologiyası yalnız texnoloji yenilik deyil, həm də sənaye sektorunun davamlı inkişafını təmin edən strateji alət kimi qiymətləndirilə bilər [1,4,5].

Ədəbiyyat siyahısı
1. **Ericsson.** (2024). *5G for Smart Manufacturing: Industry Transformation Report*.
2. **Zhang, Y.** (2021). 5G-enabled Smart Manufacturing Systems.
3. **European Commission** (2023). Industry 4.0 Strategy Report.
4. **Cisco** (2024). 5G and Industrial IoT White Paper.
5. **Deloitte** (2022). Smart Factory Transformation.

LOGİSTİKA ZƏNCİRİNDƏ "YAŞIL" EFFEKTİVLİYİN ARTIRILMASINDA SÜNİ İNTELLEKT VƏ BİG DATA TEXNOLOGIYALARININ ROLU

Şəfiqə Əkbərova
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik fakultəsi, Texnologiyalar və əməliyyatların idarəedilməsi
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
akberofa.s@gmail.com

XÜLASƏ
Məqalədə yaşıl effektivliyin artırılması və karbon izinin azaldılması məqsədilə logistikada Süni intellekt və Böyük verilənlər texnologiyalarının tətbiqi araşdırılır. Süni intellekt əsaslı marşrut optimallaşdırılması və proqnozlaşdırıcı analitikanın təhlili vasitəsilə tədqiqat rəqəmsal transformasiyanın yanacaq qənaətinə və CO2 emissiyasının azalmasına necə səbəb olduğunu nümayiş etdirir. İş emissiyaların azaldılmasının riyazi modelləşdirilməsi vasitəsilə bu texnologiyaların dayanıqlı tədarük zənciri idarəçiliyi üçün iqtisadi və ekoloji dəyərini əsaslandırır.
Açar sözlər: Yaşıl logistika, Süni İntellekt, Big Data, Karbon izi, Tədarük zənciri optimallaşdırılması.

ABSTRACT
The article explores the application of Artificial Intelligence and Big Data technologies in logistics to enhance green efficiency and reduce carbon footprints. By analyzing AI-driven route optimization and predictive analytics, the research demonstrates how digital transformation leads to significant fuel savings and reduced CO2 emissions. The study emphasizes the economic and environmental value of these technologies, providing a framework for sustainable supply chain management through mathematical modeling of emission reductions.
Keywords: Green Logistics, Artificial Intelligence, Big Data, Carbon Footprint, Supply Chain Optimization.

РЕЗЮМЕ
В статье рассматривается применение технологий Искусственный Интеллект и Больших данных в логистике для повышения зеленой эффективности и сокращения углеродного следа. Путем анализа оптимизации маршрутов на основе Искусственный Интеллект и прогнозной аналитики исследование демонстрирует, как цифровая трансформация ведет к значительной экономии топлива и снижению выбросов CO2. В работе подчеркивается экономическая и экологическая ценность этих технологий для устойчивого управления цепочками поставок.
Ключевые слова: зеленая логистика, искусственный интеллект, большие данные, углеродный след, оптимизация цепочек поставок.

Giriş
Müasir dünya iqtisadiyyatının onurğa sütunu sayılan logistika sektoru, eyni zamanda qlobal ekoloji problemlərin əsas mənbələrindən biri kimi çıxış edir. Statistik göstəricilər təsdiq edir ki, nəqliyyat və logistika əməliyyatları qlobal karbon emissiyasının (CO_2) təxminən 14%-nə cavabdehdir. "Yaşıl logistika" konsepsiyası bu mənfi təsirləri minimallaşdırmaq məqsədilə ortaya çıxsa da, mürəkkəb tədarük zəncirlərində yalnız insan resursu ilə yüksək effektivliyə nail olmaq artıq mümkün deyil.

Dördüncü Sənaye İnqilabının (Sənaye 4.0) gətirdiyi Süni İntellekt (Sİ) və Böyük Verilənlər (Big Data) texnologiyaları logistikada "yaşıl transformasiya" üçün yeni üfüqlər açır. Bu texnologiyalar məlumatın sadəcə toplanması deyil, onun intellektual analizi vasitəsilə resurslara qənaət edilməsinə, yanacaq sərfiyyatının azaldılmasına və əməliyyatların şəffaflığına xidmət edir (Quliyev, 2024). Məqalənin aktuallığı, rəqəmsal alətlərin ekoloji davamlılıqla sintezini təmin edən metodoloji çərçivənin hazırlanması zərurətindən irəli gəlir.

Logistikada Böyük verilənlər: "Görünməyən Aktivin" Gücü

Müasir dövrdə məlumat (data) yalnız rəqəmlər toplusu deyil, logistika sahəsində strateji əhəmiyyətə malik mühüm resurs kimi qiymətləndirilir. Bu baxımdan, böyük verilənlər "görünməyən aktiv" kimi çıxış edir və qərar qəbuletmə proseslərində əsas rol oynayır. Təchizat zəncirinə bütöv bir sistem kimi yanaşdıqda, böyük verilənlər bu sistemin müxtəlif mərhələlərindən toplanan məlumat axınlarını əks etdirir. İstehsal prosesindən başlayaraq məhsulun son istehlakçıya çatdırılmasına qədər olan bütün mərhələlərdə davamlı şəkildə böyük həcmdə informasiya formalaşır. Bu isə məlumatların mənbələri və onların effektiv istifadəsi məsələsini aktuallaşdırır.

Logistikanın "Gözü və Qulağı"

Logistikada qərarlar artıq təxminlərə deyil, real faktlara əsaslanır. Bu faktlar əsasən üç böyük kanaldan gəlir:

Telematik məlumatlar: Müasir yük maşınları artıq sadəcə dəmir yığını deyil, təkərli kompüterlərdir. Onlar bizə real vaxtda avtomobilin sürətini, mühərrikin nə dərəcədə yükləndiyini və dəqiq harada olduğunu deyir. Bu, bizə yanacağa qənaət etmək və maşınların boş yerə işləməsinin qarşısını almaq üçün lazımdır.

Xarici faktorlar : Yalnız öz işini bilmək kifayət deyil. Hava proqnozu necədir? Limanlarda tıxac varmı? Yollarda təmir işləri gedirmi? Bu xarici məlumatlar bizə marşrutu vaxtında dəyişib ləngimələrdən qaçmağa kömək edir.

İstehlakçı davranışı: İnsanlar nə vaxt daha çox sifariş verir? Hansı mövsümdə hansı məhsullara tələbat artır? Müştərilər malları niyə geri qaytarır? Bu sualların cavabı anbar ehtiyatlarını düzgün planlamağa imkan verir.

Süni İntellekt: Yaşıl və Ağıllı Logistika

Məlumatın çox olması hələ hər şey demək deyil, əsas məsələ o məlumatı "oxuya" bilməkdir. Burada dövrəyə Süni İntellekt (Sİ) və Maşın Öyrənməsi girir. Süni İntellektin əsas missiyası insan xətalarını sıfıra endirmək və prosesləri avtomatlaşdırmaqdır.

Ekoloji Fayda və "Karbon İzi"

Logistikada ən böyük problem "boşuna qaçışlar" və dublikat daşımalardır. Bəzən eyni istiqamətə iki fərqli yarımboş maşın gedir ki, bu da ikiqat yanacaq sərfi və havaya ikiqat tüstü deməkdir.

Süni intellekt alqoritmləri bu məlumatları saniyələr içində analiz edərək marşrutları optimallaşdırır. Ən qısa və ən az yanacaq tələb edən yolu seçir.

Tədarük zəncirinin vacibliyini (Visibility) artırır: Biz malın harada olduğunu dəqiq bildiyimiz üçün lüzumsuz daşımaların qarşısını alırıq.

Şəffaflıq yaradır: Proses nə qədər şəffaf olsa, resurslardan (yanacaq, zaman, işçi qüvvəsi) bir o qədər qənaətlə istifadə olunur.

Süni intellekt alqoritmlərinin ekoloji təsirləri

Süni intellekt logistikada qərar qəbul etmə prosesini avtomatlaşdıraraq "insan xətası" faktorunu aradan qaldırır. Xüsusilə Maşın Öyrənməsi (Machine Learning) alqoritmləri aşağıdakı istiqamətlərdə yaşıl effektivliyi təmin edir:

1. Proqnozlaşdırıcı Analitika (Predictive Analytics)

Ənənəvi logistikada məhsullar "tələb yarandıqdan sonra" daşınır. Süni intellekt isə gələcək tələbi əvvəlcədən təxmin edərək (Demand Forecasting), məhsulların anbarlara strateji paylanmasını təmin edir. Bu, uzaq məsafəli təcili çatdırılmaların sayını azaldır (McKinnon, 2018). Daha az məsafə, daha az yanacaq və daha təmiz ətraf mühit deməkdir.

2. Dinamik Marşrut Optimallaşdırılması

Logistikada ən böyük ekoloji yük "boş qaçışlar" (empty miles) və tıxaclarda motorun boş işləməsidir. Süni intellekt əsaslı marşrutlaşdırma sistemləri milyonlarla kombinasiyanı saniyələr ərzində analiz edərək ən qısa və ən az yanacaq tələb edən trayektoriyanı müəyyən edir.

"Ağıllı Anbar" Texnologiya və Təbiətin Dostluğu

Logistikada ekoloji təmizlik təkcə yollarda deyil, həm də malların saxlanıldığı divarlar arasında - anbarlarda başlayır. "Ağıllı anbar" dediyimiz anlayış, **IoT (Əşyaların İnterneti)** sensorları və Böyük verilənlər sayəsində anbarı sadə bir saxlama sahəsindən canlı, düşünən bir sistemə çevirir.

1. Robotların "Ağıllı" Hərəkəti

Anbar daxilində malları daşıyan avtomatlaşdırılmış robotlar və ya yükləyicilər gün ərzində minlərlə dövrə vurur. Əgər bu hərəkətlər plansız olarsa, həm zaman itkisi yaranır, həm də batareyalar (və ya yanacaq) boşuna sərf olunur.

Bu zaman IoT sensorları robotlar üçün ən qısa və kəsişməyən trayektoriyaları hesablayır. Bu, sanki "anbar daxili naviqasiya" sistemidir. Nəticədə texnika daha az məsafə qət edir, bu da birbaşa enerji qənaəti deməkdir.

2. Məhsulların "nəfəs alması" ideal saxlama şəraiti

Bəzi məhsullar (məsələn, qida və ya dərmanlar) temperatur və rütubətə qarşı çox həssasdır. Şərait bir az pozulan kimi məhsul xarab olur və israfçılıq yaranır (Jedermann et al., 2014).

Bu zaman anbarın hər küncünə yerləşdirilən Əşyaların İnterneti sensorları havanın keyfiyyətini saniyəbəsaniyə ölçür. Süni İntellekt (Sİ) isə bu məlumatları analiz edərək soyutma və ya isitmə sistemini tam ehtiyac olan səviyyədə saxlayır. Bu həm məhsulun xarab olub atılmasının qarşısını alır, həm də elektrik enerjisindən səmərəli istifadəni təmin edir.

3. Enerji İnqilabı: Ağıllı İşıqlandırma və Soyutma 30% Qənaət:

Ənənəvi anbarlarda bütün sahə eyni dərəcədə işıqlandırılır və soyudulur. Ağıllı sistemlər isə yalnız işçilərin və ya robotların aktiv olduğu zonalarda işıqları yandırır, digər sahələri "yuxu rejiminə" keçirir. Tədqiqatlar (məsələn, DNV GL və Energy Star hesabatları) göstərir ki, ağıllı işıqlandırma və iqlim kontrolu sistemləri anbarlarda enerji xərclərini orta hesabla 30% azaldır (DNV GL, 2020). DHL və Cisco kimi qlobal nəhənglər isə bu texnologiyaların ümumi logistika ekosistemində effektivliyi kəskin artırdığını vurğulayırlar (Macaulay et al., 2015).

Azərbaycanın logistik potensialı və rəqəmsallaşma perspektivləri

Azərbaycan "Şərq-Qərb" və "Şimal-Cənub" nəqliyyat dəhlizlərinin kəsişməsində yerləşərək mühüm tranzit qovşağıdır. Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanında tətbiq edilən "Yaşıl Liman" (Green Port) statusu məhz rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi ilə sıx bağlıdır (Port of Baku, 2021). Liman daxili əməliyyatların Süni intellekt ilə idarə olunması gəmilərin limanda gözləmə müddətini azaldır ki, bu da Xəzər dənizinin ekoloji ekosisteminə müsbət təsir göstərir. Gələcəkdə bu sistemlərin dəmir yolu və avtomobil nəqliyyatı ilə vahid rəqəmsal platformada birləşməsi (Digital Twin) Azərbaycanın yaşıl tranzit imicini gücləndirəcəkdir (Fuller et al., 2020).

Texnologiyanın üstünlüklərinə baxmayaraq, tətbiq prosesində müəyyən çətinliklər mövcuddur:

- **Yüksək ilkin investisiya:** Süni intellekt və Böyük verilənlər infrastrukturunun qurulması bahalıdır.
- **Məlumat təhlükəsizliyi:** Böyük həcmdə məlumatın saxlanması kibertəhlükəsizlik riskləri yaradır.
- **Kadr çatışmazlığı:** Həm logistika, həm də data analitikası sahəsində biliklərə malik mütəxəssislərin azlığı.

Nəticə və təkliflər

Apardığım təhlillər göstərir ki, müasir logistika artıq sadəcə malların bir nöqtədən digər nöqtəyə daşınması deyil. Bu gün logistika həm də ətraf mühiti qorumaq, yəni "yaşıl" olmaq məsuliyyətini daşıyır. Bu yolda ən böyük köməkçilərimiz isə şübhəsiz ki, Süni İntellekt və Böyük verilənlər texnologiyalarıdır. Hesab edirəm ki, rəqəmsallaşma təkcə şirkətlərin qazancını artırmır, həm də havaya atılan karbon mütənasibini azaldaraq gələcək nəsillərə daha təmiz bir təbiət buraxmaq imkanı yaradır.

1. "Məlumat əsaslı idarəetmə" (Data-driven management) mədəniyyəti qurulmalıdır.

Şirkətlər artıq qərarlarını "mənə elə gəlir ki..." prinsipi ilə deyil, əllərindəki dəqiq rəqəmlərə (data) əsasən verməlidirlər. Bu o deməkdir ki, bir sürücünün hansı yolla gedəcəyini və ya anbarın nə vaxt soyudulacağını sistem özü ən səmərəli şəkildə hesablamalıdır. Məqsədimiz hər bir saniyəni və hər bir litr yanacağı boşa verməməkdir.

2. Dövlət "yaşıl rəqəmsal" layihələrə dəstək verməlidir.

Texnologiyanın tətbiqi başlanğıcda baha başa gələn bir prosesdir. Hesab edirəm ki, öz işini rəqəmsallaşdıran və bu yolla təbiətə dəyən zərəri (karbon izini) azaldan logistika şirkətlərinə dövlət tərəfindən müəyyən vergi güzəştləri və ya xüsusi imtiyazlar tətbiq edilsə daha yaxşı olardı. Bu, sektorun daha sürətlə yenilənməsinə təkan verərdi.

3. Təhsildə yeni ixtisaslar: “Yaşıl Tədarük Zənciri”
Universitetlərdə kadr hazırlığına yanaşma dəyişməlidir. Təkcə logistikanı bilən mütəxəssis deyil, həm də bu işin ekoloji tərəfini və rəqəmsal texnologiyaları dərindən anlayan mütəxəssislərə ehtiyacımız var. “Yaşıl Tədarük Zənciri” dedikdə, malın hələ istehsal olunmamışdan tutmuş, təkrar emalına qədər olan hər addımın təbiətə dost planlaşdırılmasını nəzərdə tuturam.
Yekun olaraq qeyd etmək istərdim ki, rəqəmsal çevrilmə sadəcə bir texnoloji yenilik deyil, bu həm də sabahın daha təmiz dünyası üçün atılan ən vacib addımdır. Biz texnologiyadan nə qədər ağıllı istifadə etsək, təbiətə də bir o qədər az yük olarıq.

Ədəbiyyat siyahısı

1. **McKinnon, A.** (2018). *Decarbonizing Logistics: Distributing Goods without Burnishing the Planet*. Kogan Page Publishers, pp. 102-160.
2. **Wang, Y., & Li, X.** (2021). "Big Data Analytics in Green Supply Chain Management: A Review and Case Study". *Journal of Cleaner Production*, Vol. 280, Part 1, pp. 124-135.
3. **Ivanov, D.** (2020). "Predictive Analytics and Artificial Intelligence in Digital Supply Chain Management". *International Journal of Production Research*, Vol. 58(21), pp. 6532-6550.
4. **Sarkis, J., & Zhu, Q.** (2022). "The Role of Digital Technology in the Circular Economy and Green Supply Chain Management". *Journal of Supply Chain Management*, Vol. 58(3), pp. 10-25.
5. **Christopher, M.** (2022). *Logistics & Supply Chain Management*. Pearson UK. 6th Edition, pp. 210-225.
6. **IATA Report.** (2024). *Digital Transformation and Carbon Neutrality in Air Cargo Operations*. pp. 42-55.
7. **Dauvergne, P.** (2020). *AI in the Wild: Sustainability in the Age of Artificial Intelligence*. MIT Press, pp. 88-102.
8. **Macaulay, J., Buckalew, L., & Chung, G. (2015).** *Internet of Things in Logistics: A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistics industry.* DHL Trend Research.
9. Əliyev, R. (2023). Logistika sistemlərində resurs səmərəliliyi və yaşıl texnologiyalar. Bakı: İqtisadiyyat Universiteti Nəşriyyatı.
10. Dekker, R., Bloemhof, J., & Mallidis, I. (2012). Operations research for green logistics. European Journal of Operational Research, 219(3), 671–679.
11. Jedermann, R., Nicometo, M., Uysal, I., & Lang, W. (2014). Reducing food losses. Computers and Electronics in Agriculture, 98, 293–302.
12. Port of Baku. (2021). Annual report.
13. Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital twin: Enabling technologies. IEEE Access, 8, 108952–108971.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE - DRIVEN LEAN CONSTRUCTION: INTEGRATING INDUSTRIAL ENGINEERING PRINCIPLES INTO MODERN CONSTRUCTION MANAGEMENT

Elvin Asgarov
Baku Engineering University,
Hasan Aliyev str., 120. AZ0101
Khirdalan, Absheron, Azerbaijan
elvinasgarov12@gmail.com

Khazar Najimbayli
Baku Engineering University,
Hasan Aliyev str., 120. AZ0101
Khirdalan, Absheron, Azerbaijan
xanacimbayli@beu.edu.az

Abstarct: The construction industry continues to face persistent challenges such as cost overruns, project delays, low productivity, and high dependency on human decision-making. This study explores the integration of Industrial Engineering methodologies-specifically Lean Construction and Six Sigma-with advanced digital technologies including Building Information Modeling (BIM) and Artificial Intelligence (AI). While BIM provides a data-rich digital environment for project visualization and coordination, AI enables predictive analytics and data-driven decision-making. The proposed integrated framework, referred to as the Smart Construction System, combines BIM as a data platform, AI as an analytical engine, and Lean Six Sigma as optimization methodologies. A case-based analysis demonstrates that such integration can significantly improve cost efficiency, reduce project duration, enhance quality, and minimize human dependency. The findings suggest that the future of construction lies in the convergence of data, automation, and engineering optimization principles.

Keywords: AI, Industrial Engineering, Construction, Six Sigma, Lean Management.

1. INTRODUCTION

The construction industry is widely acknowledged as one of the biggest and most resource-intensive sectors in the world. It contributes significantly to economic growth while also dealing with enduring issues like high levels of material waste, low productivity, project delays, and cost overruns. Construction projects still mostly rely on conventional management techniques and human-centered decision-making procedures, which frequently restrict efficiency and scalability despite technological developments [1].

Industrial engineering, on the other hand, uses data-driven approaches to optimize complicated systems, increase productivity, decrease waste, and improve efficiency. In the manufacturing sector, ideas like Six Sigma and Lean Management have been effectively used, resulting in significant gains in operational performance, cost management, and quality. Nevertheless, their acceptance in the building industry has been uneven and somewhat slow [2]. The absence of integration between data creation and decision-making processes is one of the main drawbacks of traditional construction management. Even though design tools, site activities, and resource planning systems provide enormous amounts of data for contemporary construction projects, this data is frequently underutilized. As a result, rather of using analytical insights, many crucial decisions are still made purely on experience and intuition [3].

This gap has been partially filled by the development of Building Information Modeling (BIM), which makes it possible to create digital representations of actual structures. During the design and construction stages, BIM makes it easier to coordinate, visualize, and identify conflicts. However, the predictive and prescriptive capabilities needed for proactive decision-making are not provided by BIM alone [4].

A revolutionary chance to close this gap is provided by artificial intelligence (AI), especially through machine learning and predictive analytics. Large dataset analysis, pattern recognition, risk prediction, and real-time decision assistance are all possible with AI systems. AI may greatly improve construction project performance when combined with BIM and directed by Industrial Engineering concepts like Lean and Six Sigma [5].

While Six Sigma seeks to lower variability and faults, Lean Construction concentrates on minimizing waste and maximizing value. A more flexible, effective, and intelligent construction management system is made possible by the integration of these approaches with AI technologies. This combination strategy allows for better safety, quality, and sustainability results in addition to cost and time optimization [6].

In order to provide a thorough framework for intelligent construction management, this study investigates the integration of artificial intelligence with industrial engineering approaches, particularly Lean and Six Sigma, as well as digital tools like BIM. The goal of the article is to show how an integrated approach can

improve project performance, lessen reliance on human intuition, and facilitate data-driven decision-making in the construction sector.

2. Lean Construction and Six Sigma in Construction: A Research-Based Perspective

Researchers and practitioners are investigating advanced management techniques drawn from industrial engineering due to the growing complexity of construction projects. Among these, Lean Construction and Six Sigma have been extensively researched as successful strategies to deal with inefficiencies associated with delays, cost overruns, and quality problems in building projects. When applied to construction settings, these techniques, which were first created in the manufacturing industry, have shown great promise [7].

2.1. Lean Construction

1. Lean Construction is a production-based management approach that focuses on maximizing value while minimizing waste throughout the project lifecycle. According to Radhika and Sukumar (2017), Lean Construction aims to reduce waste in terms of materials, time, and labor while enhancing overall value delivery in construction projects [8].

2. In construction, waste is not limited to physical materials but also includes non-value-adding activities such as waiting time, rework, inefficient workflows, and poor coordination between stakeholders. Lean principles emphasize continuous improvement and system-wide optimization rather than isolated task efficiency.

3. Recent case study research by Gartoumi et al. (2023) shows that implementing Lean Construction in large-scale projects can significantly improve quality performance and reduce defects. The study highlights Lean practices, when combined with structured improvement frameworks, help identify root causes of inefficiencies and enable corrective actions during project execution [9].

4. Furthermore, Lean Construction promotes collaborative planning and reliable workflow management. Techniques such as value stream mapping and process flow optimization are used to visualize inefficiencies and redesign processes for improved performance.

2.2. Six Sigma in Construction

5. Six Sigma is a data-driven methodology focused on reducing process variability and minimizing defects through statistical analysis and structured problem-solving techniques. A comprehensive review by Siddiqui et al. (2016) highlights that Six Sigma has evolved into a flexible and adaptive management strategy applicable across various industries, including construction [10].

6. The application of Six Sigma in construction is particularly relevant due to the high level of variability inherent in construction processes, such as fluctuating labor performance, inconsistent material quality, and external uncertainties (e.g., weather conditions). These variations often result in defects, rework, and delays.

7. Six Sigma addresses these challenges through its DMAIC framework (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), which provides a systematic approach to identifying root causes and implementing process improvements. Research indicates that the adoption of Six Sigma in construction projects leads to improved quality control, reduced rework, and enhanced process stability [10].

8. Moreover, Six Sigma enables construction managers to shift from intuition-based decision-making to data-driven analysis, thereby improving the predictability of project outcomes.

2.3. Lean Six Sigma Integration in Construction

9. While Lean focuses on waste reduction and workflow efficiency, Six Sigma emphasizes variation reduction and quality improvement. Their integration, commonly referred to as Lean Six Sigma (LSS), has been identified as a powerful approach for optimizing construction processes.

10. According to Linde and Philippov (2020), the global construction industry continues to struggle with issues such as increasing costs, poor material quality, and lack of coordination. The study suggests that Lean Six Sigma provides a structured methodology to address these challenges by combining process efficiency with quality control [11].

11. Similarly, Mourya et al. (2020) emphasize that Lean Six Sigma enables construction projects to be completed within budget and time constraints by systematically reducing waste and process variability. The study also highlights that LSS improves scheduling efficiency and overall project performance [12].

12. In practical applications, Lean Six Sigma tools such as Value Stream Mapping (VSM) and DMAIC have been used to optimize construction workflows, reduce cycle times, and improve communication between project stakeholders. Abdelwanis et al. (2020) further demonstrate that LSS implementation in

construction operations leads to improved planning, better resource utilization, and reduced process inefficiencies [13].

13. Additionally, case-based research shows that integrating Lean and Six Sigma methodologies in construction projects enhances both operational efficiency and quality outcomes by addressing inefficiencies from multiple dimensions simultaneously [14].

3. Integration of BIM and Artificial Intelligence with Lean Six Sigma in Construction

Advanced tools like Building Information Modeling (BIM) and Artificial Intelligence (AI) have been introduced by the construction industry's rapid digitalization. These tools are increasingly being linked with Industrial Engineering approaches to increase project performance. While BIM offers a digital representation of physical assets that is rich in data, AI's predictive and analytical skills allow for the extraction of actionable insights from this data. These technologies create a complete foundation for intelligent construction management when paired with Lean Construction and Six Sigma principles [15].

3.1. BIM and AI as Enablers of Data-Driven Construction

The design, management, and coordination of construction projects have all changed as a result of Building Information Modeling (BIM). By combining geometric (3D) modeling with project-related data, BIM facilitates better stakeholder coordination, collision detection, and visualization. BIM dramatically lowers design conflicts and rework, which are primary causes of project delays and cost overruns, according to studies [16].

BIM by itself, however, is still mostly descriptive; it offers data but does not automatically produce forecasts or judgments. Artificial intelligence is incorporated to overcome this constraint.

Construction systems can assess past and current data, identify trends, and forecast future results thanks to artificial intelligence, especially machine learning algorithms. Cost estimation, schedule forecasting, risk analysis, and resource optimization are among the AI uses in construction, according to recent research [17].

Predictive analytics algorithms, for example, can detect possible schedule delays or cost overruns early on, enabling project managers to take preventative action. As a result, proactive decision-making replaces reactive problem-solving in construction management.

3.2. Proposed Integrated Model: Smart Construction System

To fully leverage the benefits of these technologies, this study proposes an integrated model combining BIM, AI, Lean Construction, and Six Sigma into a unified system:

AI + BIM + Lean + Six Sigma = Smart Construction System

In this model:

- BIM serves as the primary data platform, offering structured and up-to-date project information.
- AI analyzes this data to produce forecasts, identify hazards, and aid in decision-making.
- Lean Construction guarantees waste reduction and process optimization.
- Six Sigma employs data-driven control to lower variability and improve quality.

A closed-loop system is produced by this integration where:

• Data is continuously gathered (BIM)
• AI generates insights.
• Lean processes are optimized.
• Six Sigma controls quality.

A system like this improves both efficiency and adaptability, enabling building projects to react quickly to changes and uncertainties.

3.3. Case Study: Application in a Mid-Rise Building Project

To illustrate the practical implications of the proposed model, a hypothetical case study of a 20-story residential building project is considered.

Initial Scenario (Traditional Approach)

- Frequent design clashes leading to rework
- Delays due to poor scheduling coordination
- Budget overruns caused by inefficient material usage
- High dependency on manual decision-making

Integrated Approach Implementation

Budget Optimization

The project team detects any cost overruns early on by using AI-based predictive models and BIM-integrated cost databases. To predict budget deviations, machine learning systems examine past project data.

- Estimated outcome:
  - 10–15% reduction in unnecessary material usage
  - Improved cost control through real-time monitoring

Digital and AI-driven methods can save building costs by up to 15%, according to research by McKinsey & Company [18].

Time Optimization

Workflow dependencies are examined and any delays are anticipated using AI-based scheduling technologies. The technology increases schedule dependability when used with Lean concepts like Just-in-Time delivery and workflow balancing.

- Estimated outcome:
  - 15–20% reduction in project duration
  - Early detection of bottlenecks

Research substantiates that AI-assisted scheduling markedly improves the precision of project timelines [19].

Reduction of Human Dependency

AI-driven decision support systems and automation tools make it less necessary to plan by hand and make decisions based on personal opinion.

- Applications:
  - Automated scheduling adjustments
  - AI-assisted site monitoring
  - Decision support dashboards

This lets engineers focus on big-picture decisions instead of solving everyday problems.

Safety and Risk Management

AI models that learn from past accidents can find dangerous situations and risky activities. Integrating with BIM lets you see the risky areas of the project.Estimated outcome:

- Reduction in workplace accidents
- Improved safety planning

The World Economic Forum says that digital technologies can greatly improve safety outcomes on construction projects [19].

3.4 Discussion

The case study shows that combining BIM and AI with Lean Six Sigma principles makes a very smart and efficient system for managing construction. The proposed model uses data and analytics to improve decision-making, which is different from traditional methods that rely heavily on experience.

There are several advantages to this integrated approach:

- Enhanced cost effectiveness
- A shorter project length
- Improved consistency and quality
- Enhanced risk management and safety

More significantly, it changes engineers' roles from being reactive problem solvers to proactive system managers backed by insight from data.

4. CONCLUSION

This study emphasizes how combining Lean Construction and Six Sigma techniques with BIM and AI can revolutionize the construction industry. The results show that the increasing complexity and performance requirements of contemporary projects cannot be met by conventional construction management techniques, which mostly rely on human expertise and reactive decision-making.

The proposed Smart Construction System demonstrates that combining data-driven technologies with established Industrial Engineering principles can significantly enhance project outcomes. BIM enables structured data generation and visualization, while AI provides predictive and analytical capabilities. Lean Construction reduces waste and improves workflow efficiency, and Six Sigma ensures process stability and quality control. Together, these components create a synergistic system that optimizes cost, time, quality, and safety simultaneously.

The case-based analysis suggests that this integrated approach can lead to measurable improvements, including reduced material waste, shorter project durations, and more reliable decision-making processes. Moreover, the role of engineers evolves from manual problem-solving toward managing intelligent, data-supported systems.

In conclusion, the effective integration of digital technologies and engineering processes will be crucial to the construction industry's future. In an increasingly competitive climate, organizations that implement such hybrid techniques will be better positioned to accomplish sustainable, efficient, and high-performance project delivery.

References

[1] McKinsey & Company – Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity, 2017.
[2] Introduction to Industrial Engineering and Management Science – Hillier & Lieberman.
[3] World Economic Forum – Shaping the Future of Construction, 2016.
[4] Autodesk - BIM Handbook & Reports.
[5] Deloitte – AI in Construction Industry Reports.
[6] Lean Construction: A Practical Guide – Mossman.
[7] Bataineh, S. (2019). Lean Construction and Six Sigma Operations in Construction and Real Estate.
[8] Radhika, R., & Sukumar, S. (2017). An Overview of the Concept of Lean Construction and the Barriers in Its Implementation.
[9] Gartoumi, K. I., et al. (2023). Implementing Lean Construction to Improve Quality and Megaproject Construction: A Case Study.
[10] Siddiqui, S. Q., et al. (2016). Six Sigma in Construction: A Review of Critical Success Factors.
[11] Linde, I., & Philippov, D. (2020). Applying Lean Six Sigma in Construction: World Practice Experience.
[12] Mourya, S., et al. (2020). Application of Lean Six Sigma in the Construction Industry.
[13] Abdelwanis, N. S., et al. (2020). Implementation of Lean Six Sigma Approaches in Construction Operations.
[14] Oguz, C., et al. (2012). Implementing Lean Six Sigma: A Case Study in Concrete Panel Production.
[15] Sacks, R., et al. (2018). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling.
[16] Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks.
[17] Pan, Y., Zhang, L. (2021). Artificial Intelligence in Construction Engineering and Management.
[18] McKinsey & Company – The Next Normal in Construction, 2020.
[19] World Economic Forum – Shaping the Future of Construction, 2016.

SƏNAYE MÜƏSSİSƏLƏRİNDƏ XƏRCLƏRİN OPTİMALLAŞDIRILMASI VƏ KEYFİYYƏTİN ARTIRILMASINDA "LEAN SİX SİGMA" METODOLOGİYASININ ROLU

Nicat Kərimov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik fakultəsi, Logistika və Nəqliyyat kafedrasının dosenti
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
nkarimov@beu.edu.az

Sevinc Əliyeva
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik fakultəsi, Sənaye mühəndisliyi
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
seliyeva37@std.beu.edu.az

Xülasə. Bu məqalə biznes performansını yüksəltmək üçün istifadə olunan Six Sigma və Lean Six Sigma (LSS) metodologiyalarını, onların tətbiq mexanizmlərini və şirkətlərin maliyyə göstəricilərinə təsirini araşdırır. Tədqiqat çərçivəsində DMAIC (Təyinetmə, Ölçmə, Təhlil, Təkmilləşdirmə və Nəzarət) modelinin mərhələləri və bu modelin proseslərdəki dəyişkənliyi azaltmaqdakı rolu təhlil edilir. Eyni zamanda, yalnız Lean və ya yalnız Six Sigma tətbiqinin çatışmazlıqları müqayisəli şəkildə təqdim olunur. Məqalədə hidravlik şlanq və qablaşdırma şirkətlərinin nümunələri əsasında Lean Six Sigma-nın keyfiyyət xərclərini azaltmaq, israfı aradan qaldırmaq və rəqabət üstünlüyü qazanmaqdakı effektivliyi əsaslandırılır.
Açar Sözlər. Six sigma, Lean Six Sigma, DMAIC metodologiyası, Keyfiyyət idarəetməsi, Keyfiyyət xərcləri, Prosesin təkmilləşdirilməsi, Səmərəlilik
Abstract. This article explores the Six Sigma and Lean Six Sigma (LSS) methodologies used to enhance business performance, their implementation mechanisms, and their impact on companies' financial indicators. Within the scope of the study, the stages of the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) model and its role in reducing process variation are analyzed. At the same time, the limitations of applying only Lean or only Six Sigma are presented in a comparative manner. Based on the examples of a hydraulic hose company and a packaging manufacturer, the article substantiates the effectiveness of Lean Six Sigma in reducing quality costs, eliminating waste, and gaining a competitive advantage.
Keyword. Six Sigma, Lean Six Sigma, DMAIC methodology, Quality management, Quality costs, Process improvement, Efficiency
Аннотация. В данной статье рассматриваются методологии Six Sigma и Lean Six Sigma (LSS), используемые для повышения эффективности бизнеса, механизмы их внедрения и влияние на финансовые показатели компаний. В рамках исследования анализируются этапы модели DMAIC (Определение, Измерение, Анализ, Совершенствование и Контроль) и роль этой модели в снижении вариативности процессов. В то же время проводится сравнительный анализ недостатков применения только подходов Lean или только Six Sigma. На примере компаний по производству гидравлических шлангов и упаковки обосновывается эффективность Lean Six Sigma в снижении затрат на качество, устранении потерь и достижении конкурентных преимуществ.
Ключевые слова: Six Sigma, Lean Six Sigma, методология DMAIC, управление качеством, затраты на качество, улучшение процессов, эффективность

Giriş

Müasir biznes mühitində firmalar yalnız mənfəəti artırmağa deyil, həm də bazardakı dəyərlərini yüksəltməyə və müştəri məmnuniyyətini təmin etməyə çalışırlar. Firmalar bu məqsədə çatmaq üçün bir neçə strategiyadan istifadə edirlər.[5] Bu məqsədlərə çatmaq üçün ən effektiv strategiyalardan biri 1970-ci illərdə Motorola tərəfindən əsası qoyulan Six Sigma yanaşmasıdır. Six Sigma, hər milyon imkan üçün qüsur sayını 3.4 səviyyəsinə endirməyi hədəfləyən, statistik verilənlərə əsaslanan sistemli bir metodologiyadır.[2]

Lakin təcrübə göstərir ki, yalnız qüsurların azaldılmasına fokuslanmaq (Six Sigma) və ya yalnız israfların aradan qaldırılması (Lean) şirkətlər üçün uzunmüddətli və sürətli transformasiya üçün kifayət etmir. Bu səbəbdən, hər iki yanaşmanın güclü tərəflərini birləşdirən Lean Six Sigma modeli keyfiyyət idarəetməsində yeni bir standart halına gəlmişdir. Bu məqalənin əsas məqsədi, DMAIC (Define Measure Analyze Improve Control) strukturundan istifadə edərək proseslərdəki dəyişkənliyin və israfın azaldılmasının şirkətlərin xərclərinə necə müsbət təsir göstərdiyini və optimal keyfiyyət səviyyəsinə necə nail olunduğunu izah etməkdir.[3]

Təhlil və Analiz

Six Sigma yanaşması

Six Sigma səhvləri minimuma endirməklə biznes performansını yaxşılaşdırmağa yönəlmiş sistemli bir yanaşmadır. Bu metod keçmiş keyfiyyət idarəetmə təcrübələrinə əsaslanır və biznes proseslərini mümkün qədər mükəmməl səviyyəyə çatdırmağı hədəfləyir.[2]

Sigma simvolu (σ) prosesdəki dəyişkənliyi ölçmək üçün istifadə olunur. Əvvəllər bir çox proseslər 3–4 sigma səviyyəsində işləyirdi ki, bu da nisbətən çox sayda səhv demək idi. Six Sigma-nın əsas məqsədi isə hər milyon imkan üçün yalnız 3.4 qüsur səviyyəsinə nail olmaqdır. Bu yanaşma artan müştəri gözləntilərini qarşılamaq və yüksək keyfiyyət təmin etmək üçün tətbiq olunur.[2]

Bu metodologiyada "Black Belt" adlandırılan xüsusi təlim keçmiş əməkdaşlar mühüm rol oynayır. Onlar Define-Measure-Analyze-Improve-Control (DMAIC) çərçivəsindən istifadə edərək proseslərin davamlı şəkildə təkmilləşdirilməsini təmin edirlər.[2]

Six Sigma-nın mənşəyi 1970-ci illərə, Motorola şirkətinin keyfiyyət problemləri ilə üzləşdiyi dövrə gedib çıxır. Şirkət bu yanaşmanı tətbiq etdikdən sonra qüsurların sayını ciddi şəkildə azaltdı, mənfəətini artırdı və 1988-ci ildə Malcolm Baldrige National Quality Award mükafatını qazandı.[2]

Ümumilikdə Six Sigma yalnız keyfiyyətin ölçülməsi deyil, həm də müştəri dəyərinin artırılması və əməliyyat səmərəliliyinin yüksəldilməsi üçün istifadə olunan geniş idarəetmə yanaşmasıdır. Eyni zamanda, bu metod keyfiyyətsizliyin yaratdığı xərcləri azaltmağa kömək edir, çünki bu xərclər şirkətin gəlirliliyinə mənfi təsir göstərir. Daha yüksək sigma səviyyəsində fəaliyyət göstərən şirkətlər problemlərin aradan qaldırılmasına daha az resurs sərf edir və bu da onların ümumi mənfəətliliyini artırır.[2]

Yalnız Lean yanaşması

Lean metodları proseslərdə israfın (waste) aradan qaldırılması və proses sürətinin artırılması baxımından çox effektivdir. Lakin yalnız Lean tətbiq edən təşkilatlar, proseslərin sadələşdirilməsi ilə əldə olunan müsbət nəticələri uzunmüddətli saxlamaqda çətinlik çəkə bilər. Eyni zamanda, bu yanaşma çox vaxt maliyyə nəticələri və strateji məqsədlərə uyğun davamlı daxili iş vərdişlərinin formalaşmasını tam təmin etmir.[1]

Lean-ın əsas məqsədlərindən biri proses sürətini artırmaq və gücü (capacity) yaxşılaşdırmaqdır. Lakin prosesdəki dəyişkənlik (variation) həm sürətə, həm də tələb olunan gücə mənfi təsir göstərə bilər. Lean yanaşması aşağı dəyişkənlik prinsipinə əsaslansa da, bu dəyişkənliyi dərin analiz etmək üçün kifayət qədər güclü statistik və analitik imkanlara malik deyil. Six Sigma isə proseslərdəki naməlum dəyişkənliyin kök səbəblərini müəyyən edib aradan qaldırmaq üçün daha effektiv yanaşma hesab olunur.[1]

Yalnız Six Sigma yanaşması

Six Sigma-nın güclü kök səbəb analizi alətləri və strukturlaşdırılmış yanaşması şirkətlərə dəyişkənliyi aradan qaldırmaq və biznes üzrə prioritet təkmilləşdirmələri həyata keçirmək imkanı verir. Lakin yalnız Six Sigma tətbiq edildikdə, şirkətlər faktlara əsaslanan, müştəri yönümlü statistik qərarvermə və kök səbəblərin müəyyənləşdirilməsindən faydalansalar da, daha aşağı xərcli və transformasiyaedici proseslər qurmaqda çətinlik çəkirlər.[1]

Six Sigma-da (qüsurların aradan qaldırılması istisna olmaqla) israfın aradan qaldırılması və sürətin artırılması üçün açıq bir yanaşma yoxdur. Saf Six Sigma modeli, nəticələrin sürətləndirilməsinə və layihələrin daha tez tamamlanmasına kömək edən Kaizen kimi sürətli təkmilləşdirmə tədbirlərindən də məhrum ola bilər. Bir sorğunun nəticələrinə görə, Six Sigma mütəxəssislərinin təxminən 40%-i öz layihələrini uğursuz və ya tamamlanmamış hesab etmişdir (iSixSigma jurnalının sorğusu, noyabr/dekabr 2008, cild 4, nömrə 4) [1]

Bu şirkətlərin əksəriyyəti Six Sigma təlimlərinin yüksək ilkin xərclərini kompensasiya edəcək qədər tez geri dönüş əldə etməkdə də çətinlik çəkir. Lean yanaşmasının səmərəliliyi və sürətli təkmilləşdirmə üsulları olmadan, Six Sigma gecikmiş nəticələr və optimal olmayan həllərlə üzləşə bilər.[1]

DMAIC (Define Measure Analyze Improve Control) prosesi

DMAIC (Define Measure Analyze Improve Control) modeli Six Sigma yanaşmasının əsas strukturunu təşkil edir və təşkilatlara sistemli şəkildə problem həll etməyə imkan verir. Six Sigma üzrə sertifikasiya alan mütəxəssislər üçün bu model "yuxarıdan aşağıya" (top-down) və hərtərəfli yanaşma təqdim edir. Bu yanaşma problemlərin kök səbəblərini müəyyən etməyə və onlara uyğun effektiv həllərin tətbiq edilməsinə şərait yaradır.[3]

DMAIC-in (Define Measure Analyze Improve Control) əsas üstünlüklərindən biri onun müxtəlif sahələrdə və şirkətlərdə tətbiq oluna bilməsidir. Məhz bu çeviklik və sistematiklik onun populyarlığını artırır və geniş istifadə olunmasına səbəb olur.[3]

Eyni zamanda DMAIC (Define Measure Analyze Improve Control), Six Sigma (altı sigma) və Lean Six Sigma (yalın altı sigma) layihələrində mühüm rol oynayır. Düzgün tətbiq edildikdə bu model daha etibarlı strategiyaların qurulmasına, proseslərin səmərəliliyinin artırılmasına və davamlı inkişafın təmin edilməsinə kömək edir. [3]

DMAIC(Define Measure Analyze Improve Control) və Six Sigma əlaqəsi

Six Sigma çərçivəsində DMAIC (Define Measure Analyze Improve Control) modeli layihələrin qurulması və problemlərin həlli üçün əsas struktur kimi çıxış edir. Bu model Six Sigma-nın əsas prinsiplərini tətbiq edərək proseslərin daha effektiv və sistemli şəkildə idarə olunmasına imkan verir. Six Sigma-nın əsas məqsədi proses və ya funksiyanın səmərəliliyini artırmaqdır və bu məqsədə çatmaq üçün DMAIC ən uyğun yanaşmalardan biri hesab olunur.[3]

Baxmayaraq ki, Six Sigma yalnız DMAIC-dən (Define Measure Analyze Improve Control) ibarət deyil və çoxsaylı alətlər, məlumat analizi və statistik metodlardan istifadə edir (bunlar adətən təlim və sertifikasiya proqramlarında öyrədilir), praktikada Six Sigma layihələrinin böyük hissəsi məhz DMAIC modeli üzərində qurulur.[3]

Bu çərçivədə DMAIC (Define Measure Analyze Improve Control) metodologiyası (McClusky tərəfindən 2000-ci ildə yenidən işlənmiş formada) praktiklər tərəfindən geniş şəkildə istifadə olunur.[4]

Define (Təyinetmə):

DMAIC modelinin "Define" mərhələsi ən vacib mərhələlərdən biridir, çünki bu mərhələdə problem aydın və dəqiq şəkildə müəyyən edilir. Problem ("Y") ölçülə bilən olmalı və təşkilatın ümumi məqsədləri ilə uyğunluq təşkil etməlidir. Problem düzgün şəkildə formalaşdırıldıqdan sonra prosesi təsir edən əsas amillər üzərində iş aparılır. Bu yanaşma effektiv problem bəyanatının hazırlanmasına və məqsədə birbaşa təsir edən dəyişənlərin müəyyən edilməsinə şərait yaradır.[3]

Measure (Ölçmə):

Bu mərhələdə problem ("Y") daha konkret və ölçülə bilən nəticəyə çevrilir. Eyni zamanda əsas giriş dəyişənləri (inputlar) onların "Y"-yə təsir dərəcəsinə görə seçilir və filtrdən keçirilir. Nəticədə həm ölçülə bilən "Y", həm də problemi birbaşa təsir edən əsas amillər müəyyən edilir. Bu mərhələ əməliyyat tərifl ərinin hazırlanması, ölçmə planının qurulması, məlumatların toplanması və onların təhlil edilməsi ilə həyata keçirilir. Burada səbəb-nəticə matrisi (Cause and Effect Matrix) və Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) kimi alətlərdən istifadə olunur.[3]

Analyze (Təhlil):

"Analyze" mərhələsində proses sadələşdirilir və düzəldilməsi tələb olunan səhvlər müəyyən edilir. Bu mərhələ mövcud performans ilə gözlənilən performans arasındakı fərqin anlaşılmasına kömək edir. Ən vacib xüsusiyyətlərindən biri problemin kök səbəblərinə qədər dərin təhlil aparmağa imkan verməsidir. Bu yanaşma prosesin daxilində gizlənmiş və çox vaxt diqqətdən kənarda qalan problemləri üzə çıxarır.[3]

Nəticədə layihə daha aydın və sadə formaya salınır, eyni zamanda əldə edilə bilən məqsədlər dəqiq şəkildə müəyyənləşdirilir.[3]

Improve (Təkmilləşdirmə):

DMAIC modelinin "Improve" mərhələsi, adından da göründüyü kimi, prosesin təkmilləşdirilməsinə yönəlmişdir və ən çətin mərhələlərdən biri hesab olunur. "Analyze" mərhələsində müəyyən edilən kök səbəblər bu mərhələdə aradan qaldırılmağa başlanır. Bu mərhələdə əsas məqsəd yalnız mövcud problemlərin həlli deyil, həm də yaradıcı və innovativ həll yollarının hazırlanmasıdır. Çünki bir prosesdə edilən dəyişiklik digər funksiyalara da təsir göstərə bilər. Bu səbəbdən dəyişikliklərin sistemli şəkildə planlaşdırılması, proses axınının (process map) düzgün qurulması və bütün sistem üzrə uyğunluğun təmin edilməsi xüsusi əhəmiyyət daşıyır.[3]

Control (Nəzarət):

"Control" mərhələsinin uğuru birbaşa əvvəlki dörd mərhələnin nə dərəcədə düzgün icra olunmasından asılıdır. Bu mərhələ əsasən əvvəlki addımlarda həyata keçirilmiş dəyişikliklərin davamlılığını təmin etməyə yönəlir. Əgər əldə olunan nəticələr qənaətbəxşdirsə, əsas məqsəd prosesin sabit qalmasını və nəzarət altında saxlanılmasını təmin etməkdir. Bunun üçün proses nəzarət planı hazırlanır, ehtiyac olduqda təlim və öyrədici tədbirlər həyata keçirilir, həmçinin prosesin standartlaşdırılması aparılır. Beləliklə, əsas məqsəd

kritik dəyişənlərin (key variables) həmişə qəbul edilə bilən dəyişmə sərhədləri daxilində saxlanılmasıdır ki, proses sabit və proqnozlaşdırıla bilən şəkildə fəaliyyət göstərsin.[3]

Keyfiyyət yanaşması

Optimal keyfiyyət xərclərinə nail olmaq iki fərqli yanaşma ilə qiymətləndirilə bilər. Birincisi investisiya baxımından yanaşmadır: keyfiyyətin yaxşılaşdırılmasına yönələn sərmayələr ("yaxşı keyfiyyət xərcləri") keyfiyyətsizlikdən yaranan xərclərin azalmasına səbəb olur. İkincisi isə xərclərlə arzu olunan, demək olar ki, mükəmməl keyfiyyət səviyyəsi arasında optimal tarazlığın yaradılmasıdır. Six Sigma proqramının tətbiqi bu iki məqsədə çatmağa kömək edir.[4]

Lean Six Sigma-dan xərclərin azaldılması üçün istifadə edilməsi

Bir hidravlik şlanq şirkəti (Tier 1 təchizatçı) əvvəlcə ciddi maliyyə problemləri yaşayırdı və mənfəətlilik göstəricisi mənfi 2% idi. Şirkətdə sifarişlərin yerinə yetirilmə müddəti 14 gün idi, halbuki sənaye ortalaması 7 gün idi. Eyni zamanda, keyfiyyət problemləri də mövcud idi və müştərilərə tez-tez qüsurlu məhsullar göndərilirdi.[1]

Rəhbərlik əvvəlcə bu problemlərin sürət və xərclərlə əlaqəsini düzgün qiymətləndirmirdi. Lakin Lean Six Sigma yanaşması tətbiq edildikdən sonra şirkət proseslərdəki israfı azaltmağa, keyfiyyəti artırmağa və əməliyyat sürətini yüksəltməyə fokuslandı. İlk mərhələdə bəzi mürəkkəb müştərilərdən imtina edilərək daha sadə və yüksək həcmli istehsala keçid edildi. Bu, şirkətə diqqəti əsas problemlərə yönəltməyə imkan verdi.[1]

Nəticədə keyfiyyət səviyyəsi 3 sigma səviyyəsindən 6 sigma səviyyəsinə yüksəldi və qüsurlar əhəmiyyətli dərəcədə azaldı. Daha sonra Lean alətləri (5S, iş hüceyrələri, proses axınının optimallaşdırılması, sazlama vaxtının azaldılması və "pull" sistemi) tətbiq edilərək istehsal prosesləri daha sürətli və səmərəli hala gətirildi.[1]

Bu yanaşma göstərdi ki, ilkin mərhələdə həyata keçirilən təkmilləşdirmələr əsasən keyfiyyətsizlik xərclərinin və birbaşa əmək xərclərinin azalmasına səbəb olur və təsir nisbətən mərhələli olur. Lakin prosesdə mühüm dönüş nöqtəsi o zaman baş verir ki, istehsal dövrü (cycle time) ilkin səviyyənin təxminən **25%-dən aşağısına** endirilir. Bu mərhələdən sonra xərclərin azalması sürətlənir və daha güclü, struktur xarakterli təsir yaranır.[1]

Beləliklə, Lean Six Sigma yanaşması yalnız xərcləri azaltmaqla kifayətlənmir, həm də mürəkkəbliyi azaldır, keyfiyyəti yaxşılaşdırır və proses sürətini artırır. Bu üç element birlikdə tətbiq edildikdə şirkət həm əməliyyat səmərəliliyində, həm də rəqabət üstünlüyündə əhəmiyyətli irəliləyiş əldə edir.[1]

Aşağıdakı cədvəldə göstərilib

Əməliyyat marjaları	5,4%-dən 13,8%-ə yüksəldi
Kapital dövriyyəsi	2.8%-dən 3.7%-ə yüksəld
İnvestisiya kapitalının gəlirliliyi	10%-dən 33%-ə yüksəldi
Müəssisə dəyəri (bazar kapitallaşması)	225% yaxşılaşdı
EBITDA (Faizlər, vergilər, amortizasiya və köhnəlmə çıxılmadan əvvəlki mənfəət)	300% yaxşılaşdı
İqtisadi mənfəət	2% dən 21% ə yüksəldi
Yarımçıq istehsal ehtiyatlarının dövriyyə əmsalı	İllik dövriyyə göstəricisi 23-dən 67-yə yüksəldi.
Müştəri sifarişinin icra müddəti	14 gündən 2 günə

Lean Six Sigma-da İsrafın Azaldılması ilə Məhsuldarlığın Artırılması

İstehlak malları üçün qablaşdırma və konteyner istehsal edən bir şirkət müəyyən prosesin məhsuldarlığını (yield) 1.5% artırmağa çalışırdı. Şirkət əvvəlcə materialın formalaşdırılması mərhələsinə fokuslandı, çünki burada ölçülərin dəqiqliyi vacib idi. Böyük investisiyalara baxmayaraq, ümumi məhsuldarlıqda yalnız 0.25%-dən az artım əldə olundu. Konteynerlər istehsal edildikdən sonra qablaşdırma mərhələsində tez-tez müştəri sifarişləri dəyişirdi. Bu səbəbdən məhsullar yenidən çeşidlənir və qablaşdırılırdı, nəticədə əlavə mürəkkəblik və məhsul zədələnməsi yaranırdı.[1]

Lean Six Sigma baxımından formalaşdırma mərhələsi "dəyər yaradan" prosesdir, lakin qablaşdırma, yenidən çeşidləmə və təkrar qablaşdırma "dəyər yaratmayan" fəaliyyətlərdir və israf hesab olunur. Şirkət əsasən dəyər yaradan mərhələyə fokuslansa da, əsl problemlər israf olan hissələrdə idi. Bu vəziyyət

göstərdi ki, yalnız kiçik proses təkmilləşdirmələri ümumi nəticəyə az təsir edir. Daha böyük nəticə israfın azaldılmasından əldə olunur. Buna görə şirkət diqqətini prosesdəki israfın aradan qaldırılmasına yönəltdi. Lean Six Sigma alətlərinin (proses xəritələndirməsi, pull sistemi və hüceyrəvi axın) tətbiqi nəticəsində təxminən 3% məhsuldarlıq artımı əldə edildi və xərclər əhəmiyyətli dərəcədə azaldı.[1]
Ümumilikdə bu təcrübə göstərir ki, Lean Six Sigma-da əsas məqsəd yalnız dəyər yaradan hissəni yaxşılaşdırmaq deyil, bütün prosesdə israfı aradan qaldırmaqdır. Çünki israf birbaşa xərcləri yaradır və onun azaldılması ən böyük qənaət mənbəyidir.[1]

Nəticə

Araşdırma göstərir ki, Lean Six Sigma yanaşması müəssisələr üçün həm keyfiyyətin yüksəldilməsi, həm də xərclərin azaldılması baxımından effektiv və kompleks bir idarəetmə alətidir. Təkbaşına Lean və ya Six Sigma metodlarının tətbiqi müəyyən məhdudiyyətlərlə müşayiət olunsa da, bu iki yanaşmanın inteqrasiyası proseslərin həm sürətini, həm də sabitliyini təmin edərək daha optimal nəticələrin əldə olunmasına şərait yaradır. DMAIC metodologiyası bu yanaşmanın praktiki tətbiqində mühüm rol oynayaraq problemlərin sistemli şəkildə müəyyənləşdirilməsinə, ölçülməsinə, təhlilinə və aradan qaldırılmasına imkan verir. Bu strukturlaşdırılmış yanaşma sayəsində təşkilatlar yalnız mövcud problemləri həll etmir, eyni zamanda proseslərin davamlı təkmilləşdirilməsini və nəzarət altında saxlanılmasını təmin edir.
Məqalədə təqdim olunan praktiki nümunələr göstərir ki, Lean Six Sigma tətbiqi nəticəsində keyfiyyət səviyyəsinin əhəmiyyətli dərəcədə yüksəlməsi, qüsurların azalması, istehsal dövrünün qısalması və əməliyyat səmərəliliyinin artması mümkündür. Eyni zamanda, proseslərdə israfın aradan qaldırılması və dəyər yaratmayan fəaliyyətlərin minimuma endirilməsi xərclərin azalmasına və maliyyə göstəricilərinin yaxşılaşmasına birbaşa təsir göstərir. Xüsusilə vurğulamaq lazımdır ki, yalnız ayrı-ayrı proseslərin təkmilləşdirilməsi deyil, bütün proses zəncirində israfın aradan qaldırılması daha böyük və davamlı nəticələr verir. Bu isə Lean Six Sigma yanaşmasının əsas üstünlüklərindən biri kimi çıxış edir və onu digər keyfiyyət idarəetmə metodlarından fərqləndirir.
Nəticə etibarilə, Lean Six Sigma yalnız qısamüddətli əməliyyat təkmilləşdirmələri üçün deyil, həm də uzunmüddətli strateji inkişaf və rəqabət üstünlüyünün təmin edilməsi üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu yanaşmanın düzgün tətbiqi müəssisələrə daha yüksək məhsuldarlıq, daha aşağı xərclər və daha stabil proseslər əldə etməyə imkan verir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. The Lean Six Sigma Guide to Doing More with Less Cut Costs, Reduce Waste, and Lower Your Overhead MARKO.GEORGE
2. The Six Sigma Handbook Pyzdek October 26, 2000
3. https://www.6sigma.us/dmaic-process/ DMAIC: Approach to Continuous Improvement
4. Profit enhancement for SMEs using Lean Six Sigma – Materials Today Proceedings, 2022
5. **https://psychosocial.com/index.php/ijpr/article/view/1827?utm_source=chatgpt.com**

MÜASİR İSTEHSAL MÜHİTİNDƏ OEE GÖSTƏRİCİSİNİN ÖLÇÜLMƏSİ VƏ TƏHLİLİ

Fəxri Yunuslu
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik, Sənaye mühəndisliyində innovativ texnologiyalar
Xırdalan, Azərbaycan
fyunuslu@std.beu.edu.az

Xülasə: Müasir istehsal müəssisələrində rəqabət qabiliyyətini qorumaq üçün avadanlıqların səmərəliliyinin davamlı olaraq ölçülməsi və təhlil edilməsi vacib sayılır. Bu məqalədə avadanlığın ümumi səmərəliliyinin (OEE – Overall Equipment Effectiveness) ölçülməsi metodologiyası, hesablama prinsipləri və müasir istehsal mühitindəki tətbiq sahələri araşdırılır. Məqalədə OEE-nin üç əsas komponenti olan Mövcudluq

(Availability), Performans (Performance) və Keyfiyyət (Quality) göstəriciləri izah edilir, praktiki hesablama nümunələri verilir, altı əsas itkinin növü araşdırılır və hibrid üsulun – klassik hesablama metodları ilə süni intellektin birgə tətbiqinin – OEE-nin artırılmasındakı rolu müzakirə edilir. Tədqiqat nəticəsində OEE-nin optimallaşdırılması üçün konkret tövsiyələr verilir.

Abstract: In modern manufacturing enterprises, continuously measuring and analyzing equipment efficiency is essential to maintaining competitiveness. This article investigates the methodology for measuring Overall Equipment Effectiveness (OEE), its calculation principles, and its application areas in modern production environments. The three key OEE components – Availability, Performance, and Quality – are explained with practical calculation examples, the six major loss categories are examined, and the role of the hybrid approach (combining classical methods with artificial intelligence) in improving OEE is discussed. Concrete recommendations for OEE optimization are provided as a result of the research.

Açar sözlər: OEE, avadanlıq səmərəliliyi, mövcudluq, performans, keyfiyyət, hibrid üsul, qənaətcil istehsal

Keywords: OEE, equipment effectiveness, availability, performance, quality, hybrid method, lean manufacturing

I. GİRİŞ

Müasir sənaye müəssisələrində istehsal avadanlıqlarından səmərəli istifadə rəqabət üstünlüyünün qorunmasında həlledici rol oynayır. Avadanlıqların dayanma vaxtının azaldılması, performansının artırılması və keyfiyyət itkilərinin minimuma endirilməsi hər bir istehsal müəssisəsinin əsas hədəflərindən biridir. Bu baxımdan O EE (Overall Equipment Effectiveness – Avadanlığın Ümumi Səmərəliliyi) göstəricisi müasir istehsalatda avadanlıqların faktiki fəaliyyət vəziyyətini ölçmək üçün ən geniş tətbiq olunan metrikalardan birinə çevrilmişdir.

OEE konsepsiyası ilk dəfə Yaponiyada Toyota İstehsal Sisteminin bir hissəsi kimi Seiichi Nakajima tərəfindən 1960-cı illərdə işlənib hazırlanmışdır. Bu göstərici avadanlığın nə dərəcədə səmərəli istifadə olunduğunu üç fərqli aspektdən – mövcudluq, performans və keyfiyyət – kompleks şəkildə qiymətləndirir. Dünya standartlarına görə OEE-nin 85%-dən yuxarı olması "Dünya Səviyyəli İstehsal" (World Class Manufacturing) kimi qəbul edilir [1].

İstehsal proseslərindən yaranan məlumatların statistik təhlili göstərir ki, orta istehsal müəssisəsinin OEE göstəricisi 60% civarında olur, yəni avadanlıqların potensialının 40%-i istifadə olunmadan itirilir. Bu itkinin əsas mənbəyi kimi dayanma vaxtları, sürət azalmaları və keyfiyyətsiz məhsullar göstərilir [2]. Bu məqalənin məqsədi OEE metodologiyasını izah etmək, hesablama prinsiplərini praktiki nümunələrlə əsaslandırmaq, altı əsas itkini müzakirə etmək və hibrid üsulun – klassik analitik metodlarla süni intellektin birgə tətbiqinin – OEE-nin artırılmasındakı əhəmiyyətini araşdırmaqdır.

II. OEE-NİN TƏRKİBİ VƏ HESABLAMA PRİNSİPLƏRİ

OEE üç əsas komponentin hasilindən ibarət kompleks bir göstəricidir. Bu komponentlər müstəqil olaraq da qiymətləndirilib, lakin əsl mənzərəni yalnız birgə hasil əks etdirir:

OEE = Mövcudluq (A) × Performans (P) × Keyfiyyət (Q)

Məsələn, A = 90%, P = 95%, Q = 99.9% olduqda: OEE = 0.90 × 0.95 × 0.999 ≈ 85.4%. Bu nəticə dünya standartına uyğundur. Aşağıda üç komponentin hər biri ayrıca izah edilir.

A. Mövcudluq (Availability)

Mövcudluq göstəricisi avadanlığın planlaşdırılmış işləmə vaxtı ərzindəki faktiki çalışma nisbətini ifadə edir. Mövcudluğu azaldan amillərə avadanlığın qəfil sıradan çıxması, planlaşdırılmış texniki-baxım fasilələri, quraşdırma (setup) müddətləri və tənzimləmə (adjustment) vaxtı daxildir [3].

A = (Planlaşdırılmış İşləmə Vaxtı – Dayanma Vaxtı) / Planlaşdırılmış İşləmə Vaxtı × 100%

Misal: Avadanlıq gündə 8 saat × 3 növbə = 24 saat planlaşdırılmış işləmə vaxtına malikdirsə və bu müddət ərzində 3.5 saat dayanma qeydə alınıbsa, A = (24 – 3.5) / 24 × 100% = 85.4% olur.

B. Performans (Performance)

Performans göstəricisi avadanlığın faktiki işləmə sürətini nəzərə alır. Qısa dayanmalar, operatorun gözlənilməz fasilələri və avadanlığın köhnəlməsi ilə əlaqədar sürət azalması bu göstəricini aşağı salır.

P = (Faktiki Çıxış × İdeal Dövr Vaxtı) / Faktiki İşləmə Vaxtı × 100%

C. Keyfiyyət (Quality)

Keyfiyyət göstəricisi istehsal olunan məhsullar içərisindən keyfiyyət standartlarına cavab verənlərin faizini əks etdirir. Qüsurlu məhsullar, yenidən işlənməli hissələr (rework) və başlama zamanı yaranan tullantılar (startup scrap) bu göstəricini aşağı salır.

Q = (Ümumi İstehsal – Qüsurlu Məhsul) / Ümumi İstehsal × 100%

III. PRAKTİKİ HESABLAMA NÜMUNƏSİ

Metal boru istehsalı müəssisəsindəki iki boru kəsmə avadanlığı (BKA-1 və BKA-2) üçün OEE hesablaması aparılmışdır. BKA-1 yeni avadanlıq, BKA-2 isə 8 illik köhnə avadanlıqdır. Fabrik həftədə 7 gün, üç 8 saatlıq növbə ilə işləyir; planlaşdırılmış aylıq iş vaxtı 180 saatdır. Aşağıdakı cədvəldə avadanlıqların aylıq göstəriciləri verilmişdir:

Göstərici	BKA-1 (Yeni)	BKA-2 (Köhnə)	Hədəf (%)
Planlaşdırılmış iş vaxtı (saat)	180	180	–
Dayanma vaxtı (saat)	22	40	< 18
Mövcudluq – A (%)	87.8	77.8	≥ 90
Performans – P (%)	91.0	80.0	≥ 95
Keyfiyyət – Q (%)	96.5	91.0	≥ 99
OEE (%)	**77.1**	**56.6**	**≥ 85**

Cədvəl 1. BKA-1 və BKA-2 avadanlıqlarının aylıq OEE göstəriciləri

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, BKA-1-in OEE göstəricisi 77.1%, BKA-2-ninki isə 56.6%-dir. Hər iki avadanlıq dünya standartı olan 85%-dən aşağıdır. BKA-2-nin xüsusilə aşağı OEE göstəricisinin başlıca səbəbi avadanlığın 8 illik köhnəliyi ilə əlaqədardır: mövcudluq, performans və keyfiyyət – üç komponent də eyni zamanda zəifdir. Bu nəticə həmin avadanlığın texniki-baxım strategiyasının dərhal yenidən nəzərdən keçirilməsini, önləyici təmir planının gücləndirilməsini və ya avadanlığın yenilənməsinin dəyərləndirirlməsini tələb edir.

BKA-1 üçün isə əsas problem performans göstəricisindədir (91.0%). Bu, qısa dayanmaların, sürət itkilərinin və ya quraşdırma müddətlərinin uzun olmasından irəli gəlir. Performansı artırmaq üçün SMED (Tək Dəqiqəlik Qəlib Dəyişikliyi) metodunun tətbiqi tövsiyə olunur.

IV. OEE-NİN DÜNYA STANDARTLARI VƏ ALTI ƏSAS İTKİ

Seiichi Nakajima tərəfindən müəyyən edilmiş "Dünya Səviyyəli OEE" standartına görə A ≥ 90%, P ≥ 95%, Q ≥ 99.9% olduqda ümumi OEE ≈ 85% olur [1]. Bu standart istehsalçılar üçün ümumi bir hədəf nöqtəsi kimi qəbul edilmişdir. ISO 22400-2:2014 standartı isə istehsal əməliyyatlarının idarə edilməsində OEE-ni rəsmi bir KPI (Əsas Performans Göstəricisi) kimi müəyyən etmişdir [6].

OEE-ni aşağı salan altı əsas itkinin növü mövcuddur. Bu itkilər üç komponent üzrə qruplaşdırılır:

Mövcudluğa təsir edən itkilər: (1) Avadanlığın qəfil sıradan çıxması – nasazlıq, elektrik kəsilməsi kimi planlaşdırılmamış dayanmalar; (2) Quraşdırma və tənzimləmə vaxtı – bir məhsuldan digərinə keçid zamanı itirilən vaxt.

Performansa təsir edən itkilər: (3) Qısa dayanmalar və boş gəzmə – sensorun dayanması, materialın sıxılması kimi 10 dəqiqədən qısa fasilələr; (4) Azaldılmış sürət – avadanlığın dizayn sürətindən aşağı işləməsi.

Keyfiyyətə təsir edən itkilər: (5) Başlama (startup) zamanı qüsurlar – avadanlıq yeni işə başlayanda yaranan qüsurlu məhsullar; (6) İstehsal zamanı qüsurlar – normal istehsal zamanı yaranan keyfiyyətsiz məhsullar [4].

V. OEE-NİN ARTIRILMASINDA HİBRİD ÜSULUN TƏTBİQİ

Müasir istehsal mühitlərində OEE-nin artırılması üçün sadəcə klassik metodların tətbiqi ilə kifayətlənmək artıq yetərli sayılmır. Süni intellektin (Sİ) müstəqil tətbiqi isə müəssisələr üçün müəyyən risklər yaradır: yüksək tətbiq xərci, işçilərin proqrama uyğunlaşma müddəti, məlumat keyfiyyəti problemi və kibertəhlükəsizlik riskləri bunların başlıcalarıdır. Bu səbəbdən hibrid üsulun – yəni klassik analitik metodlarla süni intellektin birgə tətbiqinin – istifadəsi daha məqsədəuyğun hesab edilir [2].

Hibrid üsulda klassik OEE hesablamaları avadanlığın işləmə məlumatları üzərindən aparılır; paralel olaraq süni intellekt alqoritmləri həmin məlumatları real vaxt rejimində izləyir, anormallıqları aşkarlayır və texniki-baxım ehtiyacını qabaqcadan müəyyən edir (proqnozlaşdırıcı texniki-baxım). Bu birgə yanaşma həm klassik metodların şəffaflığını, həm də süni intellektin proqnozlaşdırma gücünü eyni zamanda istifadəyə imkan verir.

Hibrid üsulun tətbiq mərhələləri aşağıdakı ardıcıllıqla həyata keçirilir:

- Birinci mərhələdə mövcud avadanlıq məlumatları toplanır, klassik OEE hesablamaları aparılır və itkinin mənbəyi müəyyən edilir.
- İkinci mərhələdə süni intellekt modeli həmin tarixçə (historical) məlumatlar əsasında öyrədilir.
- Üçüncü mərhələdə hər iki üsul paralel işlədilir, nəticələr müqayisə edilir və modelin dəqiqliyi yoxlanılır.
- Son mərhələdə süni intellektin etibarlılığı sübut edildikdən sonra avtomatlaşdırılmış real vaxt izləməsinə tam keçid edilir.

Siemens Senseye, MakinaRocks Runway Platform və PlanetTogether kimi süni intellekt əsaslı proqramlar bu hibrid yanaşmanı dəstəkləyən aparıcı alətlər sırasındadır. Siemens-in apardığı sənaye tədqiqatına görə proqnozlaşdırıcı texniki-baxımın tətbiqi planlaşdırılmamış dayanma vaxtını 78%-ə qədər azalda bilir [5].

VI. OEE VƏ QƏNAƏTCİL İSTEHSAL SİSTEMİ

OEE göstəricisi Qənaətcil İstehsal (Lean Manufacturing) sisteminin mərkəzindəki metrikalardan biridir. Toyota İstehsal Sisteminin əsasını təşkil edən Ümumi Məhsuldar Texniki-Baxım (TPM – Total Productive Maintenance) proqramı məhz OEE-nin artırılmasını hədəfləyir. TPM proqramında operatorlar, texniki heyət və müdiriyyət birgə şəkildə avadanlıqların dayanma vaxtını azaltmaq, performansı artırmaq və sıfır qüsurlara nail olmaq üçün çalışır [7].

Qənaətcil İstehsalatda OEE-ni artırmaq üçün tətbiq olunan əsas vasitələrə aşağıdakılar daxildir:

- Önləyici Texniki-Baxım (PM) planlarının müntəzəm olaraq tərtib edilməsi və icra edilməsi.
- 8S metodunun tətbiqi ilə avadanlıq ətrafı mühitin səliqəli saxlanması.
- SMED (Single-Minute Exchange of Die) vasitəsilə quraşdırma müddətlərinin azaldılması.
- Poka-Yoke metodları ilə qüsurların qarşısının alınması.
- Kanban sistemi vasitəsilə inventarın optimallaşdırılması.

OEE-nin müntəzəm olaraq izlənməsi müəssisəyə KPI (Key Performance Indicator) çərçivəsində dayanma itkilərini, performans zəifliklərini və keyfiyyət problemlərini erkən aşkar etmək imkanı verir. Beləliklə, OEE həm texniki, həm də idarəetmə aləti kimi ikili funksiya daşıyır.

VII. NƏTİCƏ

Bu məqalədə aparılan tədqiqat nəticəsində aşağıdakı əsas nəticələrə gəlinmişdir:

- OEE üç komponentin – Mövcudluq, Performans və Keyfiyyət – hasili kimi hesablanır və avadanlığın hərtərəfli, çoxölçülü qiymətləndirilməsini təmin edir.
- Dünya standartı olan 85%-lik OEE hədəfinə çatmaq üçün üç komponentin hamısında ardıcıl optimallaşdırma tədbirləri həyata keçirilməlidir; tək komponentin gücləndirilməsi kifayət etmir.
- Altı əsas itkinin müəyyən edilməsi avadanlıqda problemin dəqiq mənbəyini tapır və düzgün müdaxilə tədbirinin seçilməsinə imkan verir.
- Hibrid üsul – klassik OEE metodları ilə süni intellektin birgə tətbiqi – həm riskləri minimuma endirir, həm də proqnozlaşdırma dəqiqliyini artırır.
- OEE-nin davamlı izlənməsi müəssisələrə resurs itkilərini azaltmaq, avadanlığın texniki-iqtisadi ömrünü uzatmaq və müştəri tələbatını vaxtında ödəmək imkanı verir.

ƏDƏBİYYAT

[1] S. Nakajima, Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. Cambridge: Productivity Press, 1988, pp. 21–38.

[2] V. Kərimov, Texnoloji Proseslərin Optimallaşdırılması. Dərs Vəsaiti, Bakı Mühəndislik Universiteti, 2026, pp. 45–67, 78–95.

[3] V. Kərimov, Qənaətcil Sənaye İstehsalı. Dərs Vəsaiti, Bakı Mühəndislik Universiteti, 2025, pp. 112–118.

[4] R. C. Hansen, Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production/Maintenance Tool for Increased Profits. New York: Industrial Press, 2001, pp. 150–222.

[5] Siemens AG, Digitalization in Manufacturing – Predictive Maintenance Solutions. Siemens Industry Report, 2021, pp. 34–41.

[6] ISO 22400-2:2014, Automation Systems and Integration – Key Performance Indicators (KPIs) for Manufacturing Operations Management – Part 2: Definitions and Descriptions. Geneva: ISO, 2014.

[7] T. Wireman, Total Productive Maintenance, 2nd ed. New York: Industrial Press, 2004, pp. 88–110.

[8] J. Womack and D. Jones, Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York: Simon & Schuster, 1996, pp. 15–44.

İSTEHSALAT TİPLİ İNVESTİSİYA LAYİHƏLƏRİNİN TEXNİKİ ANALİZİNDƏ TEXNOLOGİYA SEÇİMİ MEYARLARININ MÜASİR ÇƏRÇİVƏSİ: İNKİŞAF ETMƏKDƏ OLAN ÖLKƏLƏR KONTEKSTİNDƏ

Pərvin Məmmədli
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik fakültəsi, Sənaye mühəndisliyi kafedrası
pmemmedli3@std.beu.edu.az
Xırdalan, Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalə inkişaf etməkdə olan ölkələr, xüsusilə Azərbaycan kontekstində istehsalat tipli investisiya layihələrinin texniki analizində texnologiya seçimi meyarlarının müasir çərçivəsini araşdırır. Tədqiqatda texnologiya seçim prosesinin əsas komponentləri - texniki uyğunluq, iqtisadi səmərəlilik, yerli imkanlarla inteqrasiya və davamlı inkişaf tələbləri - sistematik şəkildə təhlil edilir. Çoxmeyarlı qərar qəbuletmə yanaşmaları, o cümlədən AHP (Analitik İyerarxiya Prosesi) və çəkili bal metodları nəzərdən keçirilir. Azərbaycanın sənaye sektorundan müqayisəli hallar əsasında mövcud çərçivələrin güclü və zəif tərəfləri müəyyənləşdirilir. Beynəlxalq təcrübə ilə müqayisəli təhlil aparılmış, nəticədə inkişaf etməkdə olan ölkələrin xüsusiyyətlərini nəzərə alan inteqrativ bir texnologiya seçim modeli təklif olunur.
Açar sözlər: texnologiya seçimi, investisiya layihəsi, texniki analiz, çoxmeyarlı qərar qəbuletmə, inkişaf etməkdə olan ölkələr, Azərbaycan, AHP metodu, sənaye investisiyası
Abstract: This paper investigates the modern framework of technology selection criteria in the technical analysis of manufacturing-type investment projects, with a particular focus on developing countries and Azerbaijan. The study systematically examines the key components of the technology selection process - technical compatibility, economic efficiency, integration with local capabilities, and sustainable development requirements. Multi-criteria decision-making (MCDM) approaches, including the Analytic Hierarchy Process (AHP) and weighted scoring methods, are reviewed and compared. Based on comparative cases from Azerbaijan's industrial sector and international experience, the strengths and weaknesses of existing frameworks are identified. An integrative technology selection model that accounts for the specific characteristics of developing economies is proposed as the main contribution of this research.
Keywords: technology selection, investment project, technical analysis, multi-criteria decision making, developing countries, Azerbaijan, AHP method, industrial investment

Giriş

Qlobal iqtisadi rəqabətin kəskinləşdiyi müasir dövrdə istehsalat tipli investisiya layihələrinin uğuru böyük ölçüdə düzgün texnologiya seçimindən asılıdır. İstehsal proseslərinin getdikcə mürəkkəbləşməsi, texnoloji dəyişikliklərin sürətlənməsi və beynəlxalq bazarlarda rəqabətin artması şəraitində layihə menecerləri və investorlar üçün optimal texnologiyanın müəyyənləşdirilməsi getdikcə daha kritik əhəmiyyət kəsb edir [1].

İnkişaf etməkdə olan ölkələr üçün bu seçim daha da mürəkkəb xarakter daşıyır, çünki onlar həm qlobal texnoloji standartlara cavab verməli, həm də yerli iqtisadi, infrastruktur və insan kapitalı məhdudiyyətlərini nəzərə almalıdırlar. Belə ölkələrdə texnologiya seçim prosesi çox zaman məhdud maliyyə resursları, texniki kadr çatışmazlığı, zəif təşkilati çərçivə və texnologiya bazarına çıxışın məhdudluğu ilə əlaqədar əlavə çətinliklərlə üzləşir [2].

Azərbaycan hazırda bu proseslərin praktiki tətbiqi baxımından əhəmiyyətli bir transformasiya dövrünü yaşayır: ölkə bir tərəfdən enerji sektorundan əldə olunan kapitalı qeyri-neft sektoruna yönəltmə siyasəti həyata keçirir, digər tərəfdən isə sənaye müəssisələrinin texnoloji modernləşməsi prosesini sürətləndirir. 2022-2026-cı illər üzrə Milli İqtisadiyyat Perspektivi çərçivəsində istehsalat sektorunun inkişafı prioritet kimi müəyyən edilmiş, bu da texnologiya seçim meyarlarının sistemli şəkildə öyrənilməsini zəruri etmişdir [3].

Texnologiya seçimi yalnız texniki bir qərar deyil, eyni zamanda strateji, maliyyə və sosial ölçüləri olan kompleks bir prosesdir. Ənənəvi yanaşmalar çox zaman yalnız kapital xərcləri və texniki parametrləri əsas götürür, lakin müasir tədqiqatlar göstərir ki, bu meyarlar tək başına kifayət etmir. Xüsusilə inkişaf etməkdə olan ölkələrdə texnologiya transferi, yerli əlavə dəyərin yaradılması, ekoloji tələblər və uzunmüddətli davamlılıq kimi amillər getdikcə daha əhəmiyyətli rol oynamağa başlamışdır [4].

Bu məqalənin əsas məqsədi istehsalat tipli investisiya layihələrinin texniki analizində texnologiya seçimi üçün müasir çərçivənin əsas komponentlərini müəyyənləşdirmək, mövcud metodoloji yanaşmaları müqayisəli şəkildə təhlil etmək və inkişaf etməkdə olan ölkələrin, xüsusilə Azərbaycanın xüsusiyyətlərini nəzərə alan inteqrativ bir model təklif etməkdir. Tədqiqat ədəbiyyat icmalı, müqayisəli təhlil və konseptual model qurma metodlarına əsaslanır.

Ədəbiyyat icmalı

Texnologiya seçimi ilə bağlı akademik ədəbiyyat bir neçə əsas istiqamətdə inkişaf etmişdir. Klassik yanaşmalar çərçivəsində Tidd və Bessant texnologiya seçimini innovasiya idarəetməsinin mərkəzi elementi kimi dəyərləndirmiş, meyarların texniki, iqtisadi və strateji qruplar üzrə sınıflandırılmasını təklif etmişlər. Onların modelinə görə, texnologiya seçimi prosesi dörd mərhələdən - axtarış, seçim, tətbiq və öyrənmədən ibarətdir [5].

Çoxmeyarlı qərar qəbuletmə (MCDM) sahəsində Saaty tərəfindən işlənib hazırlanmış analitik iyerarxiya prosesi (AHP) metodu texnologiya seçim proseslərinin strukturlaşdırılmasında geniş tətbiq tapmışdır [6]. AHP metodunun üstünlüyü onun həm kəmiyyət, həm keyfiyyət meyarlarını vahid çərçivədə birləşdirə bilməsindədir. Hwang və Yoon isə TOPSIS metodunu təklif etmişlər ki, bu metod alternativləri ideal həllə yaxınlıq prinsipi əsasında sıralayır. Hər iki metodun müqayisəli tətbiqi göstərir ki, mürəkkəb sənaye qərarlarında kombinə edilmiş yanaşmalar daha etibarlı nəticələr verir [7].

İnkişaf etməkdə olan ölkələr kontekstində UNIDO texnologiya seçimi üçün xüsusi metodoloji rəhbərlik hazırlamış, yerli imkanların inkişafı, texnologiya transferi şərtləri və infrastruktur uyğunluğunu əsas meyarlar kimi müəyyənləşdirmişdir [8]. Lall isə inkişaf etməkdə olan ölkələrdə texnoloji imkan yaratma prosesini tədqiq etmiş, yerli məzmun tələblərinin texnologiya seçiminə təsirini vurğulamışdır [9].

Keçid iqtisadiyyatları üzrə aparılan tədqiqatlar, xüsusilə Mərkəzi və Şərqi Avropa ölkələri ilə Mərkəzi Asiya kontekstində göstərir ki, bu ölkələrdə texnologiya seçim prosesini əngəlləyən başlıca amillər: institusional qeyri-sabitlik, kapital bazarlarının inkişaf etməmişliyi və texnoloji infrastrukturun zəifliyi ilə bağlıdır [10]. Azərbaycan iqtisadiyyatında investisiya layihələrinin texniki-iqtisadi əsaslandırılması sahəsindəki araşdırmalar isə hələ kifayət qədər sistemli şəkildə aparılmamışdır ki, bu da mövzunun aktuallığını artırır [11].

Beynəlxalq müqayisəli təhlillər göstərir ki, Cənubi Koreya, Tayvan və Sinqapur kimi uğurlu sənayeləşmə nümunələri texnologiya seçimini dövlət strategiyasının ayrılmaz hissəsi kimi dəyərləndirmiş, yerli texnoloji imkanların mərhələli şəkildə inkişafını hədəfləmişlər. Bu ölkələrin təcrübəsi Azərbaycan üçün mühüm istinad nöqtəsi ola bilər [12].

Texnologiya seçimi meyarlarının müasir çərçivəsi

Aparılan tədqiqat əsasında texnologiya seçimi meyarları dörd əsas qrupda sistemləşdirilmişdir. Bu qruplaşdırma həm beynəlxalq standartları, həm də inkişaf etməkdə olan ölkələrin xüsusi şərtlərini nəzərə alır.

Texniki meyarlar qrupuna istehsal gücü və çevikliyi, texnoloji etibarlılıq və sübut olunmuş tətbiq tarixi, yerli texniki xidmət imkanları ilə uyğunluq, mövcud infrastrukturla inteqrasiya və texnologiyanın modulluğu daxildir. Texniki etibarlılıq meyarı xüsusilə əhəmiyyətlidir, belə ki inkişaf etməkdə olan ölkələrdə texniki xidmət infrastrukturu məhdud olduğundan sınaqdan keçirilmiş texnologiyalara üstünlük verilir. Azərbaycan sənaye müəssisələri üzrə aparılan sorğular göstərir ki, texniki xidmət və ehtiyat hissə əldə etmək imkanı investisiya qərarlarında həlledici rol oynayır [3].

Maliyyə-iqtisadi meyarlar qrupuna kapital xərcləri (CAPEX), əməliyyat xərcləri (OPEX), geri ödəmə müddəti, xalis cari dəyər (NPV), daxili gəlirlilik norması (IRR) və məhsuldarlıq səviyyəsi daxildir. Azərbaycan nümunəsindəki analizlər göstərir ki, inkişaf etməkdə olan ölkələrdə yerli maliyyə bazarının məhdudluğu səbəbindən kapital xərclərinin minimumlaşdırılması prioritet meyar kimi çıxış edir. Beynəlxalq maliyyə institutlarının (AİB, EBRD) layihə qiymətləndirmə metodologiyası isə NPV-yə daha böyük ağırlıq verir [8].

Strateji və təşkilati meyarlara texnologiya transferi imkanları, yerli məzmun tələblərinə uyğunluq, tənzimləyici mühitlə harmoniya, texnologiya təchizatçısının etibarlılığı və uzunmüddətli texnoloji asılılıq riski aiddir. Bu qrup xüsusilə inkişaf etməkdə olan ölkələr üçün əhəmiyyətlidir: yerli texnoloji imkanların yaradılması (technological capability building) perspektiv baxımından xüsusi diqqət tələb edir. Müqayisəli olaraq, Braziliya və Hindistan kimi ölkələrin yerli məzmun tələbləri üzrə siyasəti bu meyarın praktiki tətbiqi üçün mühüm nümunədir [9].

Davamlılıq meyarları qrupuna ekoloji təsirin qiymətləndirilməsi, enerji səmərəliliyi, karbon izi, su istehlakı həcmi və sosial-iqtisadi təsir (məşğulluq yaratma potensialı) daxildir. "Azərbaycan 2030: Sosial-İqtisadi İnkişaf Strategiyası" çərçivəsində yaşıl iqtisadiyyata keçid hədəfləndiğindən bu meyarların rolu getdikcə artmaqdadır. Avropa İttifaqının Yaşıl Müqaviləsi ilə inteqrasiya perspektivi baxımından da ekoloji meyarlar Azərbaycan sənayesi üçün artan əhəmiyyət daşıyır [13].

Müasir texnologiya seçimi prosesində nəzərə alınmalı olan digər mühüm aspekt, seçilən texnologiyanın yerli müəssisənin "mənimsəmə qabiliyyəti" (absorptive capacity) ilə mütənasibliyidir. Cohen və Levinthal tərəfindən irəli sürülən bu konsepsiya göstərir ki, xarici texnologiyanın uğurlu transferi yalnız onun texniki göstəriciləri deyil, həm də yerli kadrların bu texnologiyanı anlama, tətbiq etmə və inkişaf etdirmə potensialından asılıdır. Xüsusilə Azərbaycanın qeyri-neft sektoru üçün texnologiya seçilərkən, "Sənaye 4.0" platformasına keçid imkanları, yəni Əşyaların İnterneti (IoT) və bulud texnologiyaları ilə inteqrasiya potensialı strateji üstünlük kimi qiymətləndirilməlidir. Bu, investisiya layihəsinin yalnız cari istehsal tələblərini deyil, həm də gələcək rəqəmsal transformasiya hədəflərini dəstəkləməsini təmin edir. İnteqrativ modelə rəqəmsal hazırlıq və texnoloji uyğunlaşma çevikliyi kimi alt-meyarların əlavə edilməsi, seçimin uzunmüddətli strateji effektivliyini artırır.

Beynəlxalq təcrübə və Azərbaycan konteksti

İnkişaf etmiş ölkələrin texnologiya seçim çərçivələri ilə inkişaf etməkdə olan ölkələrin çərçivələri arasında bir sıra əsaslı fərqlər mövcuddur. Almaniya, Yaponiya və ABŞ kimi inkişaf etmiş ölkələrdə texnologiya seçim prosesləri adətən güclü institusional çərçivəyə, yüksək texniki kadr potensialına və inkişaf etmiş kapital bazarlarına əsaslanır. Bu ölkələrdə davamlılıq meyarları (ekoloji standartlar, enerji səmərəliliyi) texnologiya seçiminin dominant amili olaraq çıxış edir [5].

Bununla belə, Azərbaycan kimi keçid iqtisadiyyatlarında bir sıra struktur məhdudiyyətlər mövcuddur. Birincisi, texniki ekspertiza məhdudluğu: mürəkkəb texnologiyaların yerli mütəxəssislər tərəfindən tam qiymətləndirilə bilməməsi problemi mövcuddur. İkincisi, maliyyə bazarının inkişaf etməmişliyi: uzunmüddətli investisiya kreditlərinin əlçatanlığı məhdud qalmaqdadır. Üçüncüsü, standartlaşdırma boşluqları: yerli sənaye standartlarının beynəlxalq normalarla tam harmonizasiya edilməməsi bəzi texnologiyaların qiymətləndirilməsini çətinləşdirir [11].

Cənub-Şərqi Asiya ölkələrinin (Malayziya, Tayland və Vyetnamın) sənayeləşmə təcrübəsi müvafiq istinad nöqtəsi ola bilər. Bu ölkələr texnologiya seçimini dövlət investisiya siyasəti ilə əlaqələndirmiş, xarici texnologiyaların yerli uyğunlaşdırılması üçün xüsusi mexanizmlər yaratmışlar. Fərq budur ki, Azərbaycan xüsusi iqlim şərtləri, coğrafi mövqeyi və enerji resurslarına malik olduğundan bu modelin birbaşa tətbiq edilməsi deyil, adaptasiyası zəruridir [12].

Azərbaycanda aparılan sahə müşahidələri və mövcud iqtisadi hesabatlar əsasında müəyyən edilmişdir ki, sənaye müəssisələrinin texnologiya seçim prosesləri çox zaman qeyri-rəsmi xarakter daşıyır, sistemli çoxmeyarlı qərar qəbuletmə metodlarından istifadə hələ geniş yayılmamışdır. Texnologiya seçimi çox vaxt təchizatçının təqdimatına və ya məhdud müqayisəli analizə əsaslanır. Bu boşluq sistemli bir metodoloji çərçivənin tətbiqinin zəruriliyini sübut edir [3].

Texnologiya seçimində risk faktorlarının kəmiyyət analizi

İstehsalat tipli investisiya layihələrinin texniki analizində texnologiya seçimi prosesi yalnız deterministik meyarlara deyil, həm də yüksək dərəcəli qeyri-müəyyənlik faktorlarının sistemli təhlilinə əsaslanmalıdır. İnkişaf etməkdə olan ölkələrdə, xüsusilə Azərbaycanın spesifik iqtisadi mühitində texnologiyanın mənəvi aşınma sürəti və manatın nominal sabitliyinə rəğmən mövcud olan çarpaz məzənnə riskləri maliyyə-iqtisadi meyarların etibarlılığına birbaşa təsir göstərən amillərdir. Akademik ədəbiyyatda vurğulandığı kimi, "Həssaslıq analizi" (sensitivity analysis) və "Ssenari planlaşdırması" metodlarının tətbiqi, seçilmiş texnologiyanın müxtəlif makroiqtisadi şoklara və bazar volatilliyinə qarşı dözümlülüyünü yoxlamağa imkan verir. Xüsusilə, texnologiya təchizatçısından strateji asılılıq (vendor lock-in) və qlobal tədarük zəncirindəki kəsintilərin ehtiyat hissələrinin əlçatanlığına təsiri texniki etibarlılıq meyarının çəkisini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bu səbəbdən, təklif olunan inteqrativ modeldə risk amillərinin yalnız keyfiyyət deyil, həm də ehtimallar nəzəriyyəsi və riyazi modelləşdirmə əsasında kəmiyyət baxımından qiymətləndirilməsi investisiyanın uzunmüddətli rentabelliyini təmin edən fundamental mexanizm hesab olunur.

Azərbaycan iqtisadiyyatında nominal məzənnənin uzunmüddətli sabitliyinə baxmayaraq, istehsalat tipli investisiya layihələrinin texniki-iqtisadi əsaslandırılmasında valyuta faktoru "gizli risk" kimi qiymətləndirilməlidir. Xüsusilə Avropa və Çin kimi fərqli valyuta zonalarından avadanlıq idxal edildikdə,

çarpaz məzənnə tərəddüdləri CAPEX göstəricilərinə birbaşa təsir edir. İnteqrativ modeldə valyuta riskinin nəzərə alınması, manatın nominal sabitliyindən daha çox, ticarət tərəfdaşı olan ölkələrin valyuta səbətinə qarşı Real Effektiv Məzənnənin (REER) dinamikasını və idxal inflyasiyasını ehtiva edir. Bu yanaşma, investorlara məzənnə rejimində baş verə biləcək potensial institusional dəyişikliklərə qarşı layihənin "maliyyə immunitetini" əvvəlcədən ölçməyə imkan verir.

İnkişaf etməkdə olan ölkələr üçün inteqrativ model

Yuxarıda sıralanmış dörd meyar qrupunu birləşdirən inteqrativ çərçivə üç mərhələdən ibarətdir. Birinci mərhələ ilkin süzgəcdən keçirmə mərhələsidir. Bu mərhələdə texniki minimum tələblərə (istehsal gücü, güvənilirlik standartları, texniki xidmət mövcudluğu) cavab verməyən texnologiyalar prosesin erkən mərhələsində eliminasiya edilir. Bu yanaşma resurs itkisinin qarşısını alır və sonrakı dərin analiz üçün daha dar, lakin daha keyfiyyətli alternativlər toplusu formalaşdırır.

İkinci mərhələ çoxmeyarlı reytinq mərhələsidir. Bu mərhələdə qalmış alternativlər AHP metodu ilə ağırlıqlı şəkildə qiymətləndirilir. İnkişaf etməkdə olan ölkə kontekstinə xas ağırlıq bölgüsü aşağıdakı kimi təklif olunur: texniki meyarlar 30%, maliyyə-iqtisadi meyarlar 35%, strateji meyarlar 20%, davamlılıq meyarları 15%. Bu ağırlıqlar inkişaf etmiş ölkələrin oxşar modellərindən fərqlənir: həmin modellər adətən davamlılıq meyarlarına daha yüksək ağırlıq verir (25-30%), maliyyə meyarlarına isə daha az (25%). Azərbaycan kimi keçid iqtisadiyyatı şəraitində maliyyə sərfəliliyi hələ dominant meyar olaraq qalır, lakin strateji meyarların payı artırılmışdır [6].

Üçüncü mərhələ həssaslıq və risk təhlili mərhələsidir. Bu mərhələdə seçilmiş texnologiya üzrə əsas fərziyyələrin dəyişdirilməsi halında nəticənin sabitliyi yoxlanılır. Xüsusilə valyuta riski, texnologiya köhnəlməsi riski və siyasi risk amilləri ssenari analizinə daxil edilir. Bu mərhələ inkişaf etməkdə olan ölkələrin yüksək belirsizlik mühitini nəzərə alaraq əlavə edilmişdir [10].

Təklif olunan modelin əsas üstünlüyü onun modul strukturudur: müxtəlif sənaye sahələri (yüngül sənaye, kimya, ağır sənaye) üçün ağırlıqlar layihənin xüsusiyyətinə görə tənzimlənə bilər. Bundan başqa, model Azərbaycanın mövcud tənzimləyici çərçivəsi, Sənaye və Rəqəmsal İnkişaf Nazirliyinin texniki reqlamentləri, ekoloji standartlar, yerli məzmun tələbləri ilə uyğunlaşdırılmışdır [3].

Nəticə

Aparılan tədqiqat göstərir ki, istehsalat tipli investisiya layihələrinin texniki analizindəki ənənəvi texnologiya seçim çərçivələri inkişaf etməkdə olan ölkələrin, xüsusilə Azərbaycanın spesifik şəraitini tam əks etdirmir. Mövcud metodoloji boşluqlar, institusional zəiflik, kapital bazarı məhdudluqları, texniki ekspertiza çatışmazlığı sistemli çoxmeyarlı qərar qəbuletmə yanaşmalarının tətbiqini zəruri edir.

Təklif olunan inteqrativ model texniki, maliyyə-iqtisadi, strateji və davamlılıq meyarlarını üç mərhələli proses çərçivəsində birləşdirir. Model inkişaf etmiş ölkə modellərindən kontekstə uyğun ağırlıq bölgüsü ilə fərqlənir, yerli tənzimləyici şərtlər nəzərə alınır. Beynəlxalq müqayisəli təhlil göstərir ki, Cənub-Şərqi Asiya ölkələrinin adaptiv texnologiya siyasəti Azərbaycan üçün mühüm istinad nöqtəsi ola bilər.

Gələcək tədqiqatlar üçün Azərbaycanın real sənaye layihələri üzərindən empirik testlərin aparılması, rəqəmsal texnologiyaların (IoT, Sənaye 4.0 elementləri, süni intellekt) texnologiya seçim proseslərinə inteqrasiyasının öyrənilməsi, habelə SOCAR-ın qeyri-neft sənaye layihələri üzrə nümunəvi tətbiqlərin araşdırılması tövsiyə olunur. Bu istiqamət həm akademik, həm də tətbiqi əhəmiyyət daşıyır və Azərbaycanın iqtisadi diversifikasiya hədəflərinə xidmət edir.

Ədəbiyyat siyahısı

[1] World Bank. (2023). Diversifying Economies: Technology Adoption in Emerging Markets. Washington D.C.: World Bank Publications.

[2] UNIDO. (2022). Industrial Development Report 2022: The Future of Industrialization in a Post-Pandemic World. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.

[3] Azərbaycan Respublikasının İqtisadiyyat Nazirliyi. (2022). Azərbaycan iqtisadiyyatının sənaye sektoru üzrə hesabat. Bakı.

[4] Lall, S. (2003). Technology and industrial development in an era of globalization. In H.-J. Chang (Ed.), Rethinking Development Economics. London: Anthem Press, pp. 277-298.

[5] Tidd, J., & Bessant, J. (2018). Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change (6th ed.). Wiley.

[6] Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.

[7] Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Berlin: Springer-Verlag.

[8] UNIDO. (2015). Technology Selection and Evaluation Guide for Industrial Investment Projects. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.
[9] Lall, S. (1992). Technological capabilities and industrialization. World Development, 20(2), 165–186.
[10] Radosevic, S. (1999). International Technology Transfer and Catch-Up in Economic Development. Cheltenham: Edward Elgar.
[11] Əliyev, R., & Hüseynov, F. (2021). İnvestisiya layihələrinin qiymətləndirilməsi metodologiyası. Bakı: AzTU nəşriyyatı.
[12] Rasiah, R. (2006). Explaining Malaysia's export expansion in palm oil and related products. In C. Jomo (Ed.), Malaysian Industrial Policy. Singapore: NUS Press.
[13] Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Strateji Araşdırmalar Mərkəzi. (2021). Azərbaycan 2030: Sosial-İqtisadi İnkişaf Konsepsiyası. Bakı.

APPLICATION PROSPECTS OF AI-BASED DECISION-MAKING SYSTEMS IN INDUSTRY 4.0: AN INDUSTRIAL ENGINEERING PERSPECTIVE

Elvin Nasirov
Strategic Development Division
Azerbaijan State University of Economics Baku, Azerbaijan
elvin.nasirov@unec.edu.az

Elshan Nasirov
Azeronline Ltd
Baku, Azerbaijan
elshannasirov2@gmail.com

Zahra Zarbaliyeva
Baku Engineering University, Khirdalan, Azerbaijan
zzerbeliyeva1@gmail.com

Abstract: In the context of Industry 4.0, industrial systems are becoming increasingly complex due to the integration of cyber-physical systems, big data, and intelligent automation. This paper examines the application prospects of artificial intelligence (AI)-based decision-making systems in industrial engineering environments. The study focuses on how AI techniques such as machine learning, data analytics, and predictive modeling can improve decision-making efficiency, optimize production processes, and enhance system adaptability. Furthermore, the paper analyzes the benefits and challenges of implementing AI-driven decision-support systems in smart manufacturing. The results indicate that AI-based systems significantly improve operational performance, reduce uncertainty, and enable real-time strategic decision-making in industrial systems.
Keywords*: Artificial Intelligence, Industry 4.0, Decision-Making Systems, Smart Manufacturing, Industrial Engineering, Data Analytics*

II. Introduction

The fourth industrial revolution, commonly referred to as Industry 4.0, has fundamentally transformed the structure and operation of modern industrial systems. Unlike traditional manufacturing paradigms, Industry 4.0 is characterized by the integration of cyber-physical systems, the Internet of Things, cloud computing, big data analytics, and intelligent automation into a unified production environment. This transformation has enabled industrial enterprises to move toward smarter, more flexible, and more data-driven production models [1].

In such an environment, decision-making has become one of the most critical and challenging functions of industrial management. Industrial processes today generate vast amounts of data from sensors, machines, information systems, and operational networks [2]. While this data creates new opportunities for process

optimization and performance improvement, it also increases the complexity of managerial and operational decisions. Conventional decision-making methods, which often rely on historical experience, static analysis, or manual control, are no longer sufficient to respond effectively to rapidly changing industrial conditions.

Artificial intelligence has emerged as a key enabling technology for addressing these challenges. AI-based decision-making systems are capable of analyzing large and complex datasets, identifying hidden patterns, forecasting future outcomes, and supporting both operational and strategic decisions in real time. In industrial engineering, such systems can be applied to production planning, maintenance scheduling, quality control, energy efficiency, supply chain coordination, and resource allocation. As a result, AI does not merely automate routine tasks, but also enhances the quality, speed, and consistency of decision-making processes.

The relevance of this topic is further strengthened by the growing need for industrial enterprises to improve adaptability, competitiveness, and resilience in the face of technological change and market uncertainty. Companies operating in Industry 4.0 environments must increasingly rely on intelligent systems that can support fast and accurate responses to dynamic production conditions. From this perspective, AI-based decision-making systems are becoming an essential component of industrial engineering practice and innovation-oriented manufacturing strategies. This direction also aligns well with current research trends around AI, smart manufacturing, digital technologies, and industrial optimization.

The main purpose of this paper is to examine the application prospects of AI-based decision-making systems in the context of Industry 4.0 from an industrial engineering perspective. The study focuses on the role of artificial intelligence in improving production efficiency, supporting optimization, and enabling more effective management of industrial processes. In addition, the paper discusses the major benefits and practical challenges associated with the implementation of such systems in modern industrial environments [3].

III. AI-Based Decision-Making in Industry 4.0

Artificial intelligence (AI) has become a fundamental component of decision-making processes within Industry 4.0 environments. The increasing digitalization of industrial systems, supported by the integration of cyber-physical systems, Internet of Things (IoT), and big data infrastructures, has led to the generation of vast and continuously evolving datasets. In such complex and data-intensive environments, AI-based decision-making systems provide the capability to transform raw data into meaningful insights and actionable strategies [4].

AI-based decision-making systems rely on a combination of machine learning algorithms, data analytics techniques, and optimization models to support industrial operations. These systems are designed to learn from historical and real-time data, identify patterns and anomalies, and generate predictions that assist decision-makers at different levels of the organization [5]. Unlike traditional rule-based systems, AI-driven approaches are adaptive and capable of improving their performance over time through continuous learning [6].

In industrial engineering applications, AI plays a crucial role in enhancing operational efficiency and reducing uncertainty. One of the most prominent applications is predictive maintenance, where AI models analyze sensor data to detect early signs of equipment failure. This allows companies to schedule maintenance activities proactively, reducing downtime and maintenance costs. Similarly, AI-based systems are widely used in production planning and scheduling, where they optimize production sequences, minimize idle time, and ensure efficient utilization of resources [7, p. 680].

Another important application area is quality control. AI algorithms, particularly those based on computer vision and pattern recognition, are capable of detecting defects in products with high accuracy. This not only improves product quality but also reduces waste and rework costs. In addition, AI supports intelligent resource allocation by analyzing production data and recommending optimal distribution of materials, labor, and energy resources [8, p.117].

Furthermore, AI-based decision-making systems contribute to real-time decision support. In dynamic industrial environments, conditions can change rapidly due to fluctuations in demand, supply chain disruptions, or machine performance variations [9, p.2150]. AI systems enable real-time monitoring and analysis, allowing decision-makers to respond quickly and effectively to such changes. This capability is essential for maintaining system stability and achieving operational flexibility [10].

Despite these advantages, the implementation of AI-based decision-making systems also presents several challenges. These include high initial investment costs, the need for high-quality and structured data, integration with existing industrial systems, and concerns related to data security and privacy. Moreover, the successful adoption of AI requires not only technological readiness but also organizational changes, including workforce training and process adaptation.

Overall, AI-based decision-making systems represent a key driver of innovation in Industry 4.0. By enabling data-driven, adaptive, and intelligent decision processes, these systems significantly enhance the performance, reliability, and competitiveness of modern industrial enterprises.

IV. System Model and Analytical Framework

In industrial engineering, decision-making systems in the context of Industry 4.0 can be represented as data-driven analytical frameworks that transform raw industrial data into optimized operational actions. Such systems are designed to support intelligent and timely decisions in complex production environments where conventional control methods are often insufficient. From a functional perspective, the system can be structured around three main interconnected components: data acquisition, data processing, and decision output.

The first component, data acquisition, forms the foundation of the entire decision-making framework. In modern industrial environments, large volumes of data are continuously generated by sensors, Internet of Things (IoT) devices, smart machines, enterprise information systems, and monitoring platforms. These data may include information related to machine condition, temperature, pressure, energy consumption, production speed, product quality, and workflow status. The purpose of the data acquisition layer is to collect accurate, timely, and relevant information from the physical production system. Since decision quality directly depends on data quality, this stage plays a critical role in ensuring the reliability of the overall analytical process.

The second component, data processing, represents the core intelligence of the system. At this stage, the collected data are filtered, organized, analyzed, and interpreted using artificial intelligence techniques. Depending on the industrial objective, this layer may include machine learning models, predictive analytics, classification methods, optimization algorithms, or pattern recognition tools. The main function of this component is to convert raw and unstructured industrial data into meaningful analytical outputs. For example, the system may identify anomalies in equipment behavior, forecast production bottlenecks, estimate future maintenance needs, or evaluate different operational scenarios. In this sense, the data processing layer acts as the analytical engine that enables the system to move beyond passive monitoring toward intelligent and adaptive decision support.

The third component, decision output, is the stage at which analytical results are translated into practical actions or recommendations. Based on the outcomes generated by the AI models, the system can support optimization and control decisions in various industrial contexts. These outputs may include recommendations for adjusting production schedules, reallocating resources, reducing machine idle time, initiating maintenance interventions, or improving quality assurance procedures. In more advanced systems, decision outputs can be directly integrated into automated control mechanisms, allowing immediate operational responses without requiring full manual intervention. Thus, this stage connects analytical intelligence with actual industrial performance improvement.

These three components do not operate independently; rather, they form an integrated and continuous loop of industrial intelligence. Data are collected from the physical system, analyzed through computational models, and then transformed into decisions that influence the same physical environment. This cyclical interaction reflects the logic of Industry 4.0, where digital and physical systems are increasingly interconnected. As the system continues to operate, new data are generated and fed back into the framework, allowing the analytical process to be continuously updated and refined.

From an analytical perspective, this framework provides a practical basis for evaluating the effectiveness of AI-based decision-making systems in industrial engineering. It enables researchers and practitioners to examine how data quality, algorithmic performance, and decision implementation interact to influence operational outcomes. Moreover, it offers a structured way to assess system efficiency in terms of responsiveness, adaptability, accuracy, and process optimization.

The general workflow of this system is illustrated in Figure 1, where the relationship between data acquisition, intelligent processing, and decision output is presented as a unified decision-support architecture.

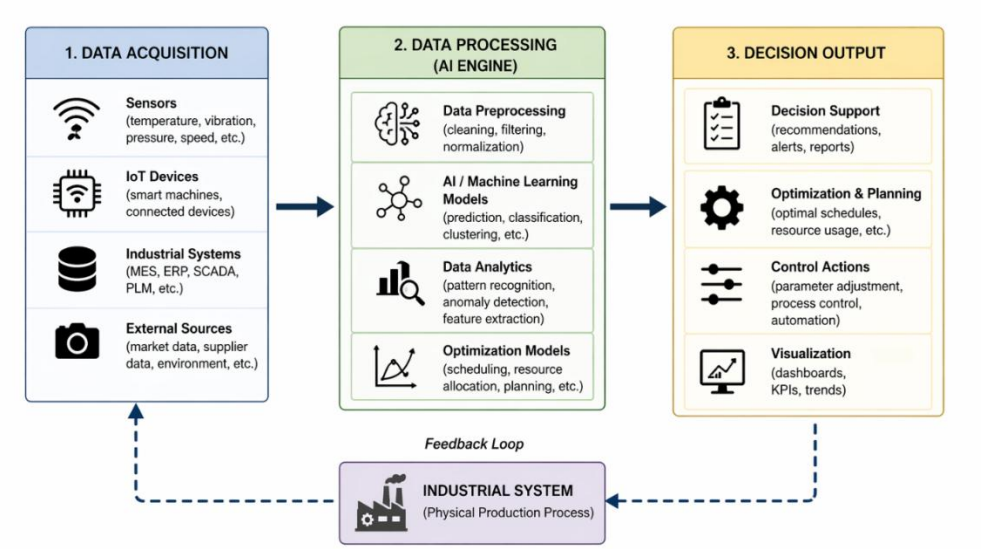


Figure 1. Analytical framework of an AI-based decision-making system in an Industry 4.0 environment
Source: prepared by the author

V. Performance Analysis

To evaluate the efficiency of AI-based decision-making systems, key performance indicators (kpis) such as processing time, accuracy, and resource utilization are analyzed.

Table 1. Performance comparison of traditional and AI-based systems

Method	Processing Time (sec)	Accuracy (%)	Resource Efficiency (%)
Traditional	120	78	65
AI-Based	75	92	85

Source: compiled by the author based on analysis results

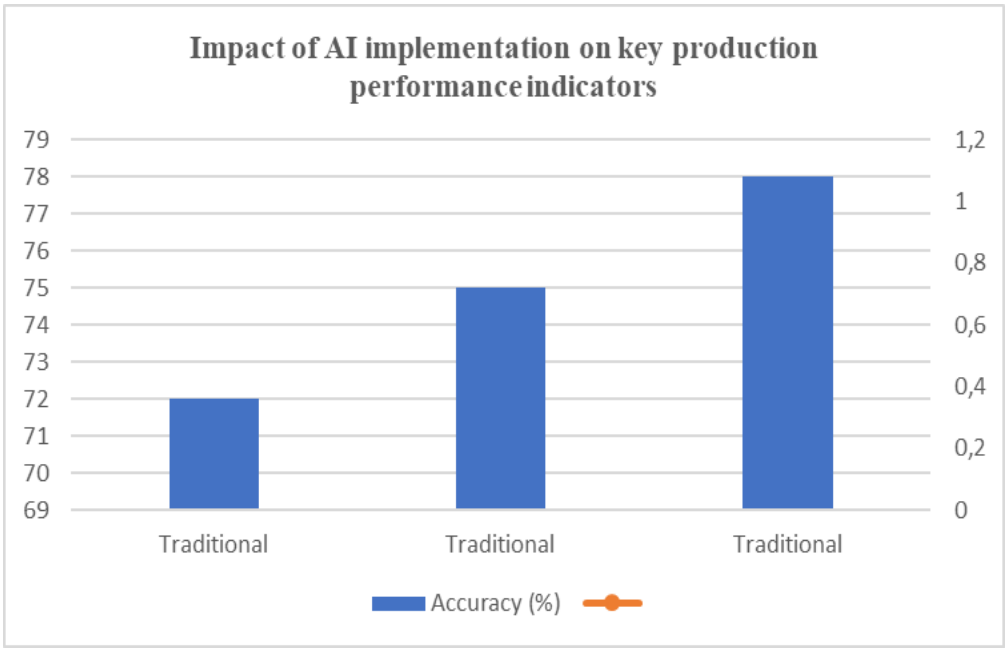


Figure 2. Impact of AI implementation on key production performance indicators
Source: compiled by the author based on analysis results

Figure 2 illustrates the comparison of key production performance indicators before and after AI implementation. The results show a reduction in downtime and error rate, together with an increase in output rate, indicating the positive impact of AI-based decision-making systems on industrial performance.

Table 2. Impact of AI implementation on production efficiency

Parameter	Before AI	After AI
Downtime (%)	15	7
Output Rate	100	135
Error Rate (%)	8	3

VI. Discussion

The analysis presented in this study indicates that AI-based decision-making systems have substantial potential to improve industrial performance in the context of Industry 4.0. By processing large volumes of production-related data in real time, these systems support faster, more accurate, and more consistent decision-making. Their contribution is particularly significant in areas such as production planning, process optimization, maintenance management, and quality control. Compared with traditional decision-making approaches, AI-based systems provide greater adaptability to changing industrial conditions and reduce the dependence on purely manual or experience-based judgments.

Another important finding is that the implementation of AI technologies can positively affect key production indicators. As reflected in the comparative analysis, AI integration may reduce downtime, lower error rates, and increase output efficiency. This demonstrates that intelligent decision-support tools are not limited to theoretical benefits, but can also generate measurable operational improvements in practical industrial environments. In this regard, AI becomes not only a technological instrument, but also a strategic factor that strengthens competitiveness and supports sustainable industrial development.

At the same time, the study also highlights several challenges associated with the adoption of AI-based decision-making systems. One of the major limitations is the high initial cost of implementation, which may create difficulties for small and medium-sized enterprises. In addition, the effectiveness of AI systems strongly depends on the availability of high-quality, structured, and reliable data. If the input data are incomplete or inconsistent, the quality of the decisions generated by the system may be negatively affected. Data security and privacy also remain critical concerns, especially in highly interconnected industrial systems where large amounts of sensitive operational information are continuously exchanged.

Furthermore, integration complexity is another important issue. Many industrial enterprises still operate with legacy systems that are not fully compatible with advanced AI solutions. Therefore, successful implementation requires not only technological investment, but also organizational readiness, workforce training, and process redesign. For this reason, the transition toward AI-supported decision-making should be considered as a gradual and strategic transformation rather than a purely technical upgrade.

VII. Conclusion

In conclusion, AI-based decision-making systems play a crucial role in the ongoing development of Industry 4.0 and modern industrial engineering practice. Their growing application demonstrates that intelligent analytical tools can significantly improve the efficiency, flexibility, and responsiveness of industrial systems. By enabling data-driven and real-time decision-making, these systems contribute to higher productivity, lower operational costs, improved resource utilization, and better management of complex production environments.

The findings of this paper suggest that AI technologies are becoming an essential element of smart manufacturing systems and innovation-oriented industrial strategies. Their value is especially evident in dynamic environments where rapid adaptation and accurate forecasting are required. At the same time, the successful adoption of such systems depends on overcoming practical barriers related to cost, integration, data quality, and cybersecurity.

Future research should focus on improving the scalability, transparency, and reliability of AI-based industrial decision-making systems. In particular, greater attention should be given to their integration with emerging Industry 4.0 technologies such as digital twins, advanced automation platforms, and intelligent monitoring systems. Such developments may further enhance the ability of industrial enterprises to achieve sustainable growth, technological resilience, and long-term competitive advantage.

REFERENCES

2. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters, 3*, 18–23.

3. Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for Industry 4.0 and beyond. *Procedia CIRP, 52*, 173–178.

4. Kusiak, A. (2019). Fundamentals of smart manufacturing: A multi-thread perspective. *Annual Reviews in Control, 47*, 214–220.
5. Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP, 17*, 9–13.
6. Wang, B., Tao, F., Fang, X., Liu, C., Liu, Y., & Freiheit, T. (2021). Smart manufacturing and intelligent manufacturing: A comparative review. *Engineering, 7*(6), 738–757.
7. Wuest, T., Weimer, D., Irgens, C., & Thoben, K. D. (2016). Machine learning in manufacturing: Advantages, challenges, and applications. *Production & Manufacturing Research, 4*(1), 23–45.
8. Koren, Y., Hu, S. J., Gu, P., & Shpitalni, M. (2018). Open-architecture products. *CIRP Annals, 67*(2), 673–696.
9. Nasirov, E. E. (2026). AI-Powered Digital Twins for Enhancing Strategic Decision-Making in Smart Manufacturing Systems. Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 18(1), 114-120.
10. Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. *Proceedings of the 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 2147–2152.
11. Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration, 6*, 1–10.

QEYRİ-NYUTON SİSTEMLİ NEFTLƏRİN HASİLATINDA TEXNOLOJİ MÜRƏKKƏBLƏŞMƏLƏR VƏ ONLARIN ARADAN QALDIRILMASINDA İNNOVATİV ÜSULLAR

Elşən Məmmədli
Doktorant
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
ORCID: 0009-0008-5904-7846
Bakı, Azərbaycan
elsen.9799@gmail.com

Xülasə: Qeyri-Nyuton neft sistemləri, dəyişkən özlülük və kəsilmədən asılı axın xüsusiyyətləri də daxil olmaqla, mürəkkəb reoloji davranışlarına görə hasilat zamanı əhəmiyyətli çətinliklər yaradır. Bu xüsusiyyətlər axın səmərəliliyinin azalması, enerji istehlakının artması və istehsal sistemlərində əməliyyat çətinlikləri kimi müxtəlif texnoloji çətinliklərə səbəb olur. Bu tədqiqatın məqsədi qeyri-Nyuton neftlərinin istehsalında rast gəlinən əsas texnoloji çətinlikləri təhlil etmək və bu problemlərin aradan qaldırılması üçün innovativ metodları araşdırmaqdır. Xüsusi diqqət istehsal səmərəliliyini artıran və əməliyyat risklərini azaldan istilik, kimyəvi, mexaniki və rəqəmsal həllərə yönəldilmişdir. Nəticələr göstərir ki, qabaqcıl texnologiyaların və real vaxt monitorinq sistemlərinin inteqrasiyası hasilat prosesini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdıra və daha sabit və səmərəli əməliyyatlar təmin edə bilər.

Açar sözlər*: Qeyri-Nyuton mayeləri, ağır neft, reologiya, özlülük, axın təminatı, asfalten çökməsi, kimyəvi emal, süni qaldırma sistemləri*

GİRİŞ

Xam neft sistemlərində Nyuton olmayan (qeyri-Nyuton) davranış, ilk növbədə ağır və ifrat ağır neftlərin mürəkkəb fiziki-kimyəvi tərkibi ilə əlaqədardır. Bu tip neftlər, adətən, yüksək qatılıqlı asfaltenlər, qatranlar, mumlar və digər yüksək molekulyar çəkili komponentlərdən təşkil olunmuşdur ki, bu da onların reoloji xüsusiyyətlərinə həlledici dərəcədə təsir göstərir. Özlülüyü müxtəlif kəsilmə sürətlərində sabit qalan Nyuton mayelərindən fərqli olaraq, qeyri-Nyuton neftləri kəsilmədən asılı özlülük nümayiş etdirir. Bu xüsusiyyət mayenin axın davranışını daha mürəkkəb və proqnozlaşdırılması çətin bir prosesə çevirir. Qeyri-Nyuton neftlərinin reoloji davranışını riyazi olaraq təsvir etmək üçün praktiki hesablamalarda ən çox Ostvald-de-Vil (Power Law) modelindən istifadə olunur.

$$\tau = K(\gamma)^n$$

Burada τ kəsilmə gərginliyi, K özlülük indeksi, γ kəsilmə sürəti, n isə axın davranış indeksidir. Psevdoplastik neftlər üçün n < 1 şərti ödənildiyi üçün artan kəsilmə sürəti ilə özlülük azalır. Bu model boru kəmərlərində təzyiq düşməsinin dəqiq hesablanması üçün kritikdir.

Xüsusilə ağır xam neftlərdə müşahidə olunan ən geniş yayılmış reoloji xüsusiyyət kəsmə-nazikləşmə və ya psevdoplastik davranışdır ki, burada artan kəsmə sürəti ilə mayenin özlülüyü azalır. Bu fenomen boru kəməri nəqli və rezervuar daxilindəki axın dinamikası üçün kritik əhəmiyyət kəsb edir, çünki təzyiq düşməsinə və ümumi hasilat səmərəliliyinə birbaşa təsir göstərir. Bəzi hallarda, mayenin axmağa başlaması üçün müəyyən bir eşik gərginliyinin aşılması tələb olunur ki, bu da "axın gərginliyi" (yield stress) davranışı kimi tanınır. Bu vəziyyət, xüsusilə aşağı temperatur şəraitində mumlu və gelə bənzər strukturlar əmələ gətirən neftlərdə daha qabarıq şəkildə özünü büruzə verir. Beləliklə, qeyri-Nyuton neft sistemlərinin səmərəli idarə olunması temperatur, təzyiq və kimyəvi tərkib arasındakı mürəkkəb qarşılıqlı əlaqənin dərindən təhlilini tələb edir.[1, s. 67-70].

Müasir ədəbiyyatın təhlili göstərir ki, qeyri-Nyuton neftlərin hasilatı zamanı qarşıya çıxan problemlərin həlli artıq sadəcə mexaniki üsullarla deyil, daha çox molekulyar səviyyədə müdaxilə və rəqəmsal ekizlər (digital twins) vasitəsilə həyata keçirilir. Sadeghazad və Kashefi (2021) tərəfindən aparılan tədqiqatlar sübut edir ki, nanohissəciklərin kimyəvi reagentlərə əlavə edilməsi özlülüyün azaldılmasında 40%-ə qədər daha effektiv nəticə verir.Eyni zamanda, Mullins (2022) asfalten çökmələrinin real vaxt rejimində proqnozlaşdırılması üçün yeni rəqəmsal modellərin zəruriliyini vurğulayır. Wang və Chen (2024) isə ağır neft yataqlarının hasilatının optimallaşdırılmasında süni intellekt (AI) alqoritmlərinin tətbiqinin enerji itkilərini minimuma endirdiyini qeyd edirlər. Bu müasir yanaşmalar, xüsusilə Azərbaycanın mürəkkəb reologiyaya malik quru yataqları üçün yüksək aktuallıq kəsb edir

ƏSAS HİSSƏ

Ağır xam neftlərdə müşahidə olunan ən çox yayılmış reoloji davranışlardan biri, artan kəsmə sürəti ilə özlülüyün azaldığı kəsmə-nazikləşmə (psevdoplastik davranış)dır. Bu davranış, xüsusilə boru kəməri nəqli və rezervuar axını zamanı vacibdir, çünki təzyiq düşməsinə və axın səmərəliliyinə təsir göstərir. Bəzi hallarda, axın gərginliyi davranışı da mövcuddur, yəni maye axmağa başlamazdan əvvəl müəyyən bir eşik gərginliyi aşılmalıdır. Bu, xüsusilə aşağı temperatur şəraitində mumlu və gelə bənzər xam neftlərdə aktualdır [5, s. 89-93].

Nyuton olmayan yağların reoloji xüsusiyyətlərinə temperatur, təzyiq və tərkib güclü təsir göstərir. Məsələn, temperaturun azalması mum kristallaşması səbəbindən özlülüyün artmasına və hətta struktur gel əmələ gəlməsinə səbəb ola bilər. Eynilə, təzyiq dəyişiklikləri qazın və ağır komponentlərin həllolma qabiliyyətini dəyişdirə bilər və mayenin daxili quruluşuna təsir göstərir. Neft Mühəndisləri Cəmiyyətinin (SPE) tədqiqatlarına görə, bu amillər neft hasilatı sistemlərində axın təminatı strategiyalarının müəyyən edilməsində mühüm rol oynayır.

Qeyri-Nyuton neft sistemlərinin istehsalı əməliyyat səmərəliliyinə, avadanlıqların işinə və ümumi istehsal xərclərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edən geniş texnoloji çətinliklərlə əlaqələndirilir. Bu çətinliklər əsasən bu cür mayelərin mürəkkəb reoloji davranışı səbəbindən yaranır ki, bu da müxtəlif rezervuar və səth şəraitində gözlənilməz axın dinamikasına səbəb olur. İstehsal zamanı qarşılaşılan əsas problemlərdən biri axının təmin edilməsidir. Yüksək özlülük və məhsuldarlıq gərginliyi xüsusiyyətlərinə görə qeyri-Nyuton yağları, xüsusən də aşağı temperatur və aşağı təzyiq şəraitində axına müqavimət göstərməyə meyllidir. Bu, boru kəmərlərində və boru sistemlərində təzyiqin artmasına səbəb olur və sabit istehsal sürətini qorumaq üçün daha yüksək enerji tələb edir. Tədqiqatlar göstərir ki, qeyri-Nyuton sistemlərində səmərəli idarəetmə strategiyası seçilmədikdə, nasos qurğularının enerji istehlakı 20-30% arta bilər ki, bu da hasilatın maye dəyərinə birbaşa təsir göstərir. Ağır hallarda, gel əmələ gəlməsi və ya mum çökməsi səbəbindən axın tamamilə dayana bilər. Digər əhəmiyyətli bir çətinlik süni qaldırma sistemləri ilə bağlıdır. Elektrikli sualtı nasoslar (ESP) və çubuqlu nasoslar kimi ənənəvi qaldırma üsulları, yüksək özlülüklü və struktur baxımından mürəkkəb mayelərlə işləyərkən tez-tez azalan səmərəliliklə qarşılaşır. Qeyri-xətti axın davranışının olması mexaniki aşınmanın artmasına, avadanlıqların tez-tez sıradan çıxmasına və istismar müddətinin azalmasına səbəb ola bilər. Neft Mühəndisləri Cəmiyyəti tərəfindən bildirilən tədqiqatlar, qeyri-Nyuton sistemlərində nasosun düzgün seçilməməsinin səmərəliliyi 30%-dən çox azalda biləcəyini vurğulayır. Parafin mumu və asfalten çöküntüsü də daxil olmaqla çökmə hadisələri başqa bir vacib problemdir [3, s. 120-125].

Bundan başqa, qeyri-Nyuton yağları temperatur dalğalanmalarına çox həssasdır. Temperatur azaldıqca özlülük eksponensial olaraq artır ki, bu da axın müqavimətini artırır və bərk faza əmələ gəlməsini təşviq edir. Bu, xüsusilə optimal istilik şəraitinin qorunmasının çətin və baha başa gəldiyi dəniz və soyuq bölgə əməliyyatlarında problemlidir. Qaz-maye qarşılıqlı təsirləri də əlavə mürəkkəblik yaradır. Çoxfazalı axın şəraitində qazın olması effektiv özlülük və axın rejimini dəyişdirə bilər və bu da istehsal davranışını proqnozlaşdırmağı və idarə etməyi daha da çətinləşdirir. Bu, tez-tez səth qurğularında qeyri-sabit axın nümunələrinə, tıxanmalara və səmərəsiz ayrılma proseslərinə səbəb olur. Qeyri-Nyuton neft istehsalı ilə əlaqəli texnoloji çətinliklər fiziki-kimyəvi, termodinamik və əməliyyat amillərinin kombinasiyası ilə idarə olunur. Bu əsas səbəbləri anlamaq müvafiq azaltma strategiyalarının seçilməsi və ümumi istehsal göstəricilərinin yaxşılaşdırılması üçün vacibdir. Bu çətinliklərə təsir edən əsas amillərdən biri temperatur dəyişkənliyidir. Qeyri-Nyuton yağları, xüsusən də ağır və mumlu xam neftlər, temperatur dəyişikliklərinə çox həssasdır. Temperatur azaldıqca özlülük əhəmiyyətli dərəcədə artır və tez-tez mum kristallaşması səbəbindən gel kimi strukturların əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu fenomen mayenin hərəkətliliyini məhdudlaşdırır və boru kəmərinin tıxanma riskini artırır [2, s. 55-59].

Xam neftin kimyəvi tərkibi digər əsas amildir. Yüksək qatran, asfalten və parafin konsentrasiyalarına malik yağlar daha güclü qeyri-Nyuton davranışı nümayiş etdirməyə meyllidir. Bu komponentlər molekulyar səviyyədə qarşılıqlı təsir göstərərək axına müqavimət göstərən mürəkkəb daxili strukturlar əmələ gətirir. Bundan əlavə, su və bərk hissəciklər kimi çirklərin olması emulsiya əmələ gəlməsini təşviq etməklə və effektiv özlülüyü artırmaqla sistemi daha da çətinləşdirə bilər. Keçiricilik, məsaməlilik və heterojenlik də daxil olmaqla, rezervuar xüsusiyyətləri texnoloji fəsadların şiddətinə təsir göstərir. Aşağı keçiriciliyə malik rezervuarlarda yüksək özlülüklü qeyri-Nyuton mayeləri axına qarşı daha böyük müqavimət göstərir və bu da təkmilləşdirilmiş bərpa üsullarını tələb edir. Heterojen rezervuarlar qeyri-bərabər axın paylanmasına səbəb ola bilər ki, bu da sabit istehsal şəraitinin qorunmasını çətinləşdirir. İstehsal sürəti, avadanlıq seçimi və axın rejimi kimi əməliyyat amilləri bu çətinliklərə daha da kömək edir. İstehsal sistemlərinin düzgün dizayn edilməməsi və ya istismarı mövcud problemləri daha da gücləndirə bilər, səmərəsizliyə və əməliyyat risklərinin artmasına səbəb ola bilər. Xülasə, temperatur, təzyiq, tərkib, rezervuar xüsusiyyətləri və istismar şərtləri arasındakı qarşılıqlı təsir, qeyri-Nyuton axın davranışının neft hasilatı sistemlərində kritik bir problemə çevrildiyi mürəkkəb bir mühit yaradır [4, s. 99-110].

Kimyəvi metodlar da xam neftin reoloji xüsusiyyətlərinin dəyişdirilməsində mühüm rol oynayır. Tökmə nöqtəsini azaldan, özlülük azaldıcı və səthi aktiv maddələrin istifadəsi asfaltenlər və mumlar tərəfindən əmələ gələn daxili strukturların parçalanmasına kömək edir. Polimer daşqınları və kimyəvi əlavələr axın xüsusiyyətlərini yaxşılaşdıra və çökmənin qarşısını ala bilər. Energy & Fuels jurnalında dərc olunmuş tədqiqatlar göstərir ki, müvafiq kimyəvi emal müəyyən şərtlər altında özlülüyü bir neçə dəfə azalda bilər. Mexaniki və texnoloji həllər istehsal avadanlıqlarının və axın sistemlərinin optimallaşdırılmasını əhatə edir. Mütərəqqi boşluq nasosları (PCP) və xüsusi olaraq hazırlanmış elektrikli sualtı nasoslar (ESP) kimi qabaqcıl süni qaldırma texnologiyaları yüksək özlülüklü və qeyri-Nyuton mayelərinin idarə edilməsi üçün daha uyğundur. Bundan əlavə, boru kəməri izolyasiyası, axın təminatı sistemləri və xətt daxilində istilik texnologiyaları sabit nəqliyyat şəraitinin qorunmasına kömək edir. Hidravlik qırılma və üfüqi qazma da rezervuarla təması yaxşılaşdırmaq və istehsal sürətini artırmaq üçün istifadə olunur. Azərbaycanın quru yataqlarında, xüsusilə Binəqədi və Balaxanı sahələrində hasil olunan ağır neftlərin tərkibində asfalten və qatranların yüksək olması bu cür qeyri-Nyuton xüsusiyyətlərini daha da qabardır. Bu şəraitdə termal metodların kimyəvi inhibitorlarla birgə (inteqrasiyalı) tətbiqi reoloji strukturu parçalayaraq hasilat səmərəliliyini artırmaq üçün ən perspektivli yoldur.

Tədqiq olunan innovativ metodların qeyri-Nyuton neftlərinin hasilatındakı effektivliyi aşağıdakı cədvəldə ümumiləşdirilmişdir:

Cədvəl 1. Qeyri-Nyuton neft sistemləri üçün texnoloji həllərin müqayisəli xarakteristikası

İnnovativ Üsul	Təsir Mexanizmi	Əsas Üstünlüyü
Termal (İstilik) Metodlar	Molekulyar hərəkətliliyi artırır, mum kristallarını əridir.	Özlülüyü kəskin azaldır və axın səmərəliliyini bərpa edir.

İnnovativ Üsul	Təsir Mexanizmi	Əsas Üstünlüyü
Kimyəvi Emal	Asfalten və mum tərəfindən əmələ gələn daxili strukturları parçalayır.	Çökmənin qarşısını alır və reoloji xüsusiyyətləri sabitləşdirir.
Mexaniki (PCP/ESP)	Yüksək özlülüklü mayeni məcburi şəkildə səthə qaldırır.	Mexaniki aşınmanı azaldır və nasos səmərəliliyini artırır.
Rəqəmsal və AI Həllər	Real vaxt rejimində monitorinq və proqnozlaşdırıcı analiz aparır.	Əməliyyat risklərini azaldır və hasilat prosesini optimallaşdırır.

NƏTİCƏ

Qeyri-Nyuton neft sistemlərinin istehsalı, axın dinamikasına, avadanlıqların işinə və əməliyyat səmərəliliyinə birbaşa təsir edən mürəkkəb reoloji davranışlarına görə əhəmiyyətli texnoloji çətinliklər yaradır. Yüksək özlülük, məhsuldarlıq gərginliyi xüsusiyyətləri və temperatur və təzyiq dəyişikliklərinə həssaslıq axın təminatı problemləri, çökmə hadisələri və süni qaldırma sistemlərinin səmərəliliyinin azalması kimi məsələlərə səbəb olur. Bu tədqiqat göstərib ki, bu çətinliklər xam neftin fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinin, rezervuar şəraitinin və əməliyyat amillərinin kombinasiyasından qaynaqlanır. Effektiv istehsal strategiyalarının hazırlanması üçün bu əsas səbəblərin hərtərəfli anlaşılması vacibdir. Termal, kimyəvi, mexaniki və rəqəmsal texnologiyalar da daxil olmaqla innovativ yanaşmalar bu çətinliklərin azaldılması üçün effektiv həllər təklif edir. Termal metodlar mayenin hərəkətliliyini artırır, kimyəvi emal reoloji xüsusiyyətləri dəyişdirir, mexaniki sistemlər istehsal səmərəliliyini artırır və rəqəmsal texnologiyalar real vaxt rejimində optimallaşdırma və proqnozlaşdırıcı təhlil aparmağa imkan verir. Tədqiqat göstərir ki, qeyri-Nyuton neftlərin hasilatında yalnız bir metodun tətbiqi deyil, termal-kimyəvi-rəqəmsal metodların inteqrasiya olunmuş (hibrid) tətbiqi ən yüksək iqtisadi və texniki səmərəni verir. Rəqəmsal monitorinq sistemləri real vaxt rejimində özlülük dəyişikliklərini izləyərək kimyəvi maddələrin israfının qarşısını alır və əməliyyat risklərini minimuma endirir. Nəticə etibarilə, qeyri-Nyuton neft sistemlərinin uğurlu istehsalı inteqrasiya olunmuş və çoxsahəli yanaşma tələb edir. Ağıllı texnologiyalar və qabaqcıl materiallar sahəsində gələcək inkişafların istehsal səmərəliliyini daha da artıracağı və əməliyyat risklərini azaldacağı gözlənilir. Davamlı tədqiqatlar və texnoloji innovasiyalar davamlı və səmərəli neft hasilatını təmin etməklə yanaşı, artan qlobal enerji tələbatının ödənilməsində əsas rol oynayacaq.

ƏDƏBİYYAT

1. Speight, J. G. The Chemistry and Technology of Petroleum. CRC Press., 2014.
2. Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. Transport Phenomena. John Wiley & Sons., 2007.
3. Hirasaki, G. J., Miller, C. A., & Puerto, M. Recent Advances in Surfactant EOR. SPE Journal, 2011, pp. 889–907.
4. Hasan, A. R., & Kabir, C. S. Fluid Flow and Heat Transfer in Wellbores. Society of Petroleum Engineers., 2002
5. Thomas, S. Enhanced Oil Recovery – An Overview. Oil & Gas Science and Technology, 2008, 63(1), pp.9–19.
6. Mullins, O. C. The Modified Yen Model. Energy & Fuels, 2010, 2179–2207.
7. Alvarado, V., & Manrique, E. Enhanced Oil Recovery: An Update Review. Energies, 2010, pp. 1529–1575.
8. Wang, L., & Chen, Z. (2024). Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Production Optimization of Heavy Oil Reservoirs. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2024, pp. 112-125.
9. Thomas, S., Enhanced Oil Recovery – An Overview of Modern Techniques. Oil & Gas Science and Technology., 2022.
10. Alvarado, V., & Manrique, E., Enhanced Oil Recovery: Status and Opportunities in Harsh Environments. Energies, 2023, Vol. 16, İss 4, p. 1820

ƏTRAF MÜHİTİN MÜHAFİZƏSİ VƏ EKOLOGİYA MÜHƏNDİSLİYİ

PEYK TEXNOLOGIYALARININ ƏTRAF MÜHITIN MONITORINQINDƏ VƏ EKOLOJI DƏYIŞIKLIKLƏRIN QIYMƏTLƏNDIRILMƏSINDƏ ROLU

Zahid İdriszadə
Magistratura və doktorantura şöbəsi
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xirdalan, Azərbaycan
zahid.idriszade@gmail.com

Xülasə: Müasir dövrdə ətraf mühit problemləri qlobal miqyasda bəşəriyyətin qarşılaşdığı ən mühüm məsələlərdən biri hesab olunur. Sürətli sənayeləşmə, urbanizasiya proseslərinin genişlənməsi və təbii resurslardan intensiv istifadə ekosistemlərin tarazlığının pozulmasına səbəb olmuşdur. İqlim dəyişiklikləri, torpaq deqradasiyası, su ehtiyatlarının azalması və atmosfer çirklənməsi kimi problemlər müasir ekoloji tədqiqatların əsas istiqamətlərindən biridir.

Bu problemlərin vaxtında aşkar edilməsi və idarə olunması üçün ətraf mühit haqqında operativ və etibarlı məlumatların əldə edilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Son onilliklərdə kosmik texnologiyaların inkişafı nəticəsində peyk müşahidələri ətraf mühitin monitorinqində mühüm vasitəyə çevrilmişdir. Peyklər vasitəsilə Yer səthinin geniş əraziləri qısa müddət ərzində müşahidə olunur və bu məlumatlar ekoloji proseslərin təhlilində istifadə edilir.

Peyk texnologiyalarının tətbiqi sayəsində meşə örtüyünün dəyişməsi, torpaq eroziyası, su ehtiyatlarının vəziyyəti, atmosfer çirklənməsi və iqlim dəyişiklikləri kimi proseslər sistemli şəkildə izlənilə bilir. Bu baxımdan peyk məlumatları müasir ekoloji monitorinq sistemlərinin əsas informasiya mənbələrindən biri hesab olunur.

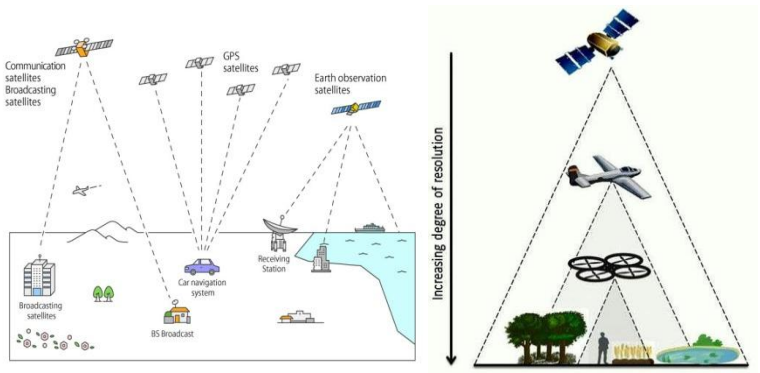
Açar sözlər*: Peyk texnologiyaları, Ekoloji monitorinq, NDVI indeksi, Geodeziya*

VIII. GİRİŞ

Peyk texnologiyaları Yer səthinin kosmosdan müşahidə olunmasına imkan verən müasir elmi-texniki sistemlərdən ibarətdir. Bu texnologiyalar əsasən məsafədən zondlama üsullarına əsaslanır. Məsafədən zondlama Yer səthində yerləşən obyektlər haqqında məlumatın həmin obyektlərlə birbaşa təmas olmadan əldə olunması prosesidir.

Peyklərdə quraşdırılmış sensorlar elektromaqnit spektrinin müxtəlif diapazonlarında məlumat toplayaraq Yer səthinin fiziki və bioloji xüsusiyyətləri haqqında məlumat verir. Bu məlumatlar xüsusi proqram təminatı vasitəsilə emal edilir və nəticədə ətraf mühitdə baş verən dəyişikliklər müəyyən edilir.

Məsafədən zondlama texnologiyalarının əsas üstünlüklərindən biri geniş ərazilərin qısa müddətdə müşahidə olunmasıdır. Yerüstü ölçmə üsulları ilə müqayisədə peyk məlumatları daha operativ və sistemli informasiya təmin edir. Bu isə ekoloji proseslərin dinamikasının izlənməsinə imkan yaradır [5]. Peyk vasitəsilə Yer səthinin məsafədən zondlama üsulu ilə müşahidə olunması şəkil 1-də sxematik olaraq təsvir edilmişdir.



Şək. 1. Peyk vasitəsilə Yer səthinin məsafədən zondlama üsulu ilə müşahidə olunmasının sxematik təsviri.

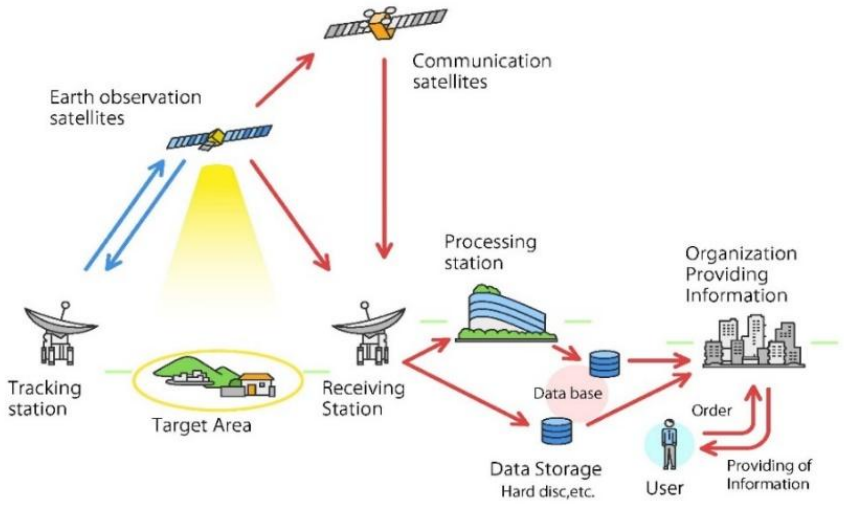
Peyk məlumatları ətraf mühitin müxtəlif komponentlərinin monitorinqində geniş istifadə olunur. Bu texnologiyalar vasitəsilə təbii mühitdə baş verən dəyişikliklər uzun müddət ərzində sistemli şəkildə izlənilə bilir.

Meşə ekosistemlərinin monitorinqi peyk məlumatlarının ən geniş tətbiq sahələrindən biridir. Peyk təsvirləri vasitəsilə meşə sahələrinin azalması, bitki örtüyünün vəziyyəti və meşə yanğınlarının yayılması müəyyən edilə bilir.

Torpaq resurslarının monitorinqi də peyk texnologiyalarının mühüm tətbiq sahələrindən biridir. Peyk məlumatları vasitəsilə torpaq eroziyası, səhralaşma və torpaq örtüyündə baş verən dəyişikliklər müəyyən edilir.

Su ehtiyatlarının monitorinqi sahəsində də peyk texnologiyalarının rolu böyükdür. Peyk müşahidələri vasitəsilə çayların və göllərin səviyyəsi, su temperaturu və çirklənmə səviyyəsi haqqında məlumat əldə etmək mümkündür [1].

Bundan əlavə, peyk müşahidələri atmosferdə baş verən proseslərin öyrənilməsində də istifadə olunur. Atmosfer çirklənməsi, aerozol konsentrasiyası və iqlim dəyişiklikləri peyk məlumatları əsasında təhlil edilə bilir. Şəkil 2-də Peyk müşahidə məlumatlarının toplanması, emalı və yerüstü stansiyalara ötürülməsi prosesi sxematik olaraq təsvir edilmişdir.



Şək. 2. Peyk müşahidə məlumatlarının toplanması, emalı və yerüstü stansiyalara ötürülməsi prosesi.

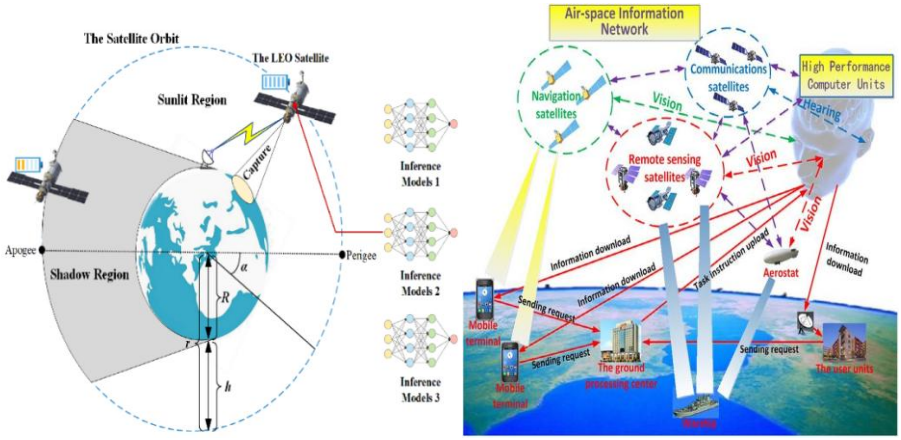
IX. Tədqİqat metodu

NDVI və peyk indekslərinin ekoloji tədqiqatlarda rolu. Müasir ekoloji monitorinq sistemlərində peyk təsvirlərinin analizi üçün müxtəlif spektral indekslərdən istifadə olunur. Bu indekslərdən ən geniş istifadə olunanı NDVI – Normalizə olunmuş bitki örtüyü indeksidir.

NDVI indeksi bitki örtüyünün vəziyyətini və fotosintez aktivliyini müəyyən etmək üçün istifadə olunur. Bu indeks peyk təsvirlərində qırmızı və yaxın infraqırmızı spektral diapazonlarda əldə edilən məlumatların müqayisəsi əsasında hesablanır.

NDVI indeksi vasitəsilə bitki örtüyünün sıxlığı, sağlamlıq vəziyyəti və vegetasiya proseslərinin dinamikası müəyyən edilə bilir. Bu məlumatlar kənd təsərrüfatı, meşə təsərrüfatı və ekoloji monitorinq sahələrində geniş tətbiq olunur [2].

Geodeziya və peyk ölçmələrinin ekoloji tədqiqatlarda rolu. Geodeziya Yer səthinin ölçülməsi və təsvir edilməsi ilə məşğul olan mühüm elmi sahələrdən biridir. Müasir geodeziya tədqiqatlarında peyk ölçmələri xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Qlobal naviqasiya peyk sistemləri vasitəsilə Yer səthinin müxtəlif parametrləri yüksək dəqiqliklə müəyyən edilir. Bu texnologiyalar vasitəsilə Yer qabığının hərəkətləri, torpaq səthinin deformasiyaları və dəniz səviyyəsinin dəyişməsi kimi proseslər öyrənilir [7]. Peyk geodeziyası ekoloji tədqiqatlarda da mühüm rol oynayır. Bu üsullar vasitəsilə ərazilərin rəqəmsal modelləri yaradılır və ekoloji xəritələr hazırlanır. Bu xəritələr ətraf mühitin vəziyyətinin qiymətləndirilməsində geniş istifadə olunur. Şəkil 3-də Peyk sisteminin ümumi strukturu göstərilmişdir.



Şək. 2. Peyk müşahidə məlumatlarının toplanması, emalı və yerüstü stansiyalara ötürülməsi prosesi.

Coğrafi İnformasiya Sistemləri (CİS) və peyk məlumatlarının inteqrasiyası. Müasir ekoloji monitorinq sistemlərində peyk məlumatları Coğrafi İnformasiya Sistemləri ilə birlikdə istifadə olunur. Coğrafi İnformasiya Sistemləri məkan məlumatlarının toplanması, saxlanılması və təhlili üçün istifadə olunan müasir texnologiyalardır.

Peyk məlumatlarının CİS sistemləri ilə inteqrasiyası ekoloji proseslərin daha dəqiq təhlilinə imkan verir. Bu texnologiyalar vasitəsilə ətraf mühitdə baş verən dəyişikliklərin məkan və zaman baxımından analizi aparılır [3].

CS texnologiyaları ekoloji planlaşdırma, təbii resursların idarə olunması və ekoloji risklərin qiymətləndirilməsi sahələrində geniş istifadə olunur.

Böyük Bakı ərazisində peyk məlumatlarının tətbiqi. Böyük Bakı regionu Azərbaycanın ən intensiv urbanizasiya və sənaye proseslərinin baş verdiyi ərazilərdən biridir. Bu regionda neft sənayesinin inkişafı, nəqliyyat infrastrukturunun genişlənməsi və şəhər ərazilərinin böyüməsi ətraf mühitə müəyyən təsir göstərmişdir.

Peyk texnologiyaları Böyük Bakı regionunda ekoloji vəziyyətin monitorinqi üçün mühüm imkanlar yaradır. Peyk təsvirləri vasitəsilə şəhər ərazilərinin genişlənməsi, torpaq örtüyünün dəyişməsi və sənaye zonalarının ətraf mühitə təsiri təhlil edilə bilir [4].

Bundan əlavə, peyk müşahidələri Xəzər dənizi sahil zonasının monitorinqində də istifadə olunur. Sahil xəttinin dəyişməsi, su səviyyəsinin dinamikası və sahil ekosistemlərinin vəziyyəti peyk məlumatları əsasında qiymətləndirilir.

Müasir peyk proqramları və texnologiyalar. Müasir dövrdə ekoloji monitorinq üçün müxtəlif peyk proqramlarından istifadə olunur. Bu proqramlara Landsat, Sentinel və digər Yer müşahidə peykləri daxildir.

Landsat proqramı Yer səthinin uzunmüddətli müşahidəsi üçün istifadə olunan ən qədim peyk proqramlarından biridir. Sentinel peykləri isə yüksək ayırdetmə qabiliyyətinə malik təsvirlər təqdim edir və ekoloji monitorinq sahəsində geniş istifadə olunur [6].

Bu peyklər vasitəsilə əldə edilən məlumatlar ekoloji tədqiqatlarda mühüm informasiya mənbəyi hesab olunur.

X. Nəticə

Aparılan təhlillər göstərir ki, peyk texnologiyaları müasir ekoloji monitorinq sistemlərinin ayrılmaz hissəsinə çevrilmişdir. Bu texnologiyalar vasitəsilə ətraf mühitdə baş verən dəyişikliklər geniş ərazilər üzrə operativ və dəqiq şəkildə müşahidə edilə bilir.

Peyk məlumatlarının istifadəsi meşə örtüyünün vəziyyətinin qiymətləndirilməsi, torpaq resurslarının monitorinqi, su ehtiyatlarının idarə olunması və atmosfer proseslərinin öyrənilməsi kimi sahələrdə mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Xüsusilə Böyük Bakı regionu kimi sənaye baxımından inkişaf etmiş ərazilərdə peyk texnologiyalarının tətbiqi ekoloji vəziyyətin qiymətləndirilməsi və davamlı inkişaf strategiyalarının hazırlanması üçün mühüm elmi əsas yaradır.

Beləliklə, peyk texnologiyalarının ekoloji tədqiqatlarda tətbiqi ətraf mühitin qorunması və davamlı inkişafın təmin olunması baxımından mühüm elmi və praktiki əhəmiyyətə malikdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Campbell J., Wynne R. Introduction to Remote Sensing. Guilford Press, 2011.
2. Jensen J. Remote Sensing of the Environment. Pearson Education, 2016.
3. Quliyev A. Geodeziya və kosmik geodeziyanın əsasları. Bakı, 2018.
4. Lillesand T., Kiefer R., Chipman J. Remote Sensing and Image Interpretation. Wiley, 2015.
5. Schowengerdt R. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. Academic
6. Press, 2007.
7. https://www.azmiib.az/movzu/Ekoloji-Monitorinq
8. https://geodesy.science/about-geodesy/

EKOLOJI MƏNFI TƏSIRLƏRIN XƏZƏR DƏNIZINDƏ YARATDIĞI PROBLEMLƏR

Asiya Rzayeva
Mühəndislik fakültəsi
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xırdalan, Azərbaycan
asirza1993@icloud.com

Xülasə: Bu tədqiqatda Xəzər dənizində ekoloji zərərli təsirlərin biomüxtəlifliyə və ekosisteminə təsiri tədqiq edilmişdir. Sənaye tullantıları, neft-qaz hasilatı, çaylarla gətirilən çirkləndirici maddələr və invaziv-yad növlərin yayılması mühüm problemlər olaraq qiymətləndirilmişdir.
Mövzunun aktuallığı Xəzərin iqtisadi və ekoloji əhəmiyyəti ilə birbaşa bağlıdır. Xəzər dənizində olan bioloji resurslar,xüsusən də qiymətli balıq növləri milyonlarla insanın sosial-iqtisadi rifahında xüsusi rola malikdir. Son zamanlarda neft-qaz hasilatı,tullantılar, invaziv növlər ekoloji balansı pozmuşdur. Həmçinin iqlim dəyişmələri,su səviyyəsində baş verən dəyişmələr bioloji müxtəlifliyə risk yaratmışdır. Tədqiqatın yeniliyi Xəzərdə mənfi təsirlərin ayrılıqda deyil, kompleks şəkildə təhlilindədir. Əvvəlki tədqiqatlarda neft çirklənməsi və ya canlılar ayrı ayrı araşdırılırdısa, bu tədqiqatda çirklənmə, iqlim dəyişmələri, yad növlərin birlikdə təsiri sistemli şəkildə qiymətləndirilir. Nəticə onu göstərirki, davamlı idarəetmə, çirklənmənin qarşısının alınması və regional əməkdaşlıq , bioloji müxtəlifliyin qorunması üçün çox mühümdür.
Açar sözlər*: Xəzər dənizi, flora, fauna, ekosistem, müxtəliflik*

PROBLEMS CAUSED BY NEGATIVE ENVIRONMENTAL IMPACTS IN THE CASPIAN SEA

Abstract: This study examined the impact of environmental hazards on the biodiversity and ecosystem of the Caspian Sea. Industrial waste, oil and gas production, river pollution, and the spread of invasive alien species were identified as significant problems.
The relevance of this topic is directly related to the economic and ecological importance of the Caspian Sea. The biological resources of the Caspian Sea, especially its valuable fish species, play a crucial role in the socioeconomic well-being of millions of people. Recently, oil and gas production, waste, and invasive species have disrupted the ecological balance. Climate change and fluctuating water levels also pose a risk to biodiversity. The novelty of this study lies in its comprehensive analysis of the negative impacts on the Caspian Sea, rather than examining them in isolation. While previous studies have examined oil pollution or living organisms separately, this study systematically evaluates the combined impacts of pollution, climate change, and invasive species. The results demonstrate that sustainable management, pollution prevention, and regional cooperation are essential for protecting biodiversity.
Keywords: Caspian Sea, flora, fauna, ecosystem, diversity

I. GİRİŞ

Xəzər dənizi region dövlətlər üçün çox mühüm ekoloji,siyasi və iqtisadi əhəmiyyətə malik qapalı su hövzəsidir.Ancaq son zamanlarda davamlı aparılan neft-qaz hasilatı,sənayeləşmə,çaylar vasitəsilə gələn çirkləndirici maddələrin çoxluğu və iqlim dəyişiklikləri ekosistemin tarazlığını pozmuşdur. Yaranmış ən

böyük problemlər sırasında su səviyyəsinin dəyişməsi, bioloji müxtəlifliyin azalması,yad növlərin geniş yayılması və sahilyanı ərazilərin deqradasiyası durur.

Bu cəhətdən,Xəzərdə ekoloji mənfi təsirlərin yaratdığı problemlərin tədqiq edilməsi həm regional əməkdaşlıq,həm də davamlı idarəetmə strategiyasının hazırlanması üçün olduqca vacibdir.Bu məqalədə mənfi təsirlərin səbəbləri və nəticələri elmi əsaslarla tədqiq olunur.

Tədqiqatın Məqsədi-Ekoloji mənfi təsirlərin Xəzərin ekosistemində yaratdığı problemləri kompleks şəkildə ətraflı araşdırmaq,mənfi amillərin biomüxtəliflik,suyun keyfiyyəti və sahil ərazilərə təsir dərəcəsini müəyyən etməkdir.

Həmçinin məqsəd antropogen amillərin(sənaye tullantıları,neft-qaz hasilatı,iqlim dəyişikliyi ,məişət çirklənməsi) yol açdığı problemləri təhlil edərək onların uzunmüddətli nəticələrini qiymətləndirmək və ekosistemin mühafizəsi üçün elmi əsaslandırılmış təkliflər irəli sürməkdən ibarətdir.

Tədqiqatın aktuallığı-bundan ibarətdir ki, Xəzər iqtisadi cəhətdən mühüm rol oynamaqla yanaşı, həmçinin zəngin bioloji resurslara malik zəngin ekosistemdir. Son illərdə baş verən antropogen təsirlər,məişət və sənaye tullantılarının dənizə axıdılması,neft-qaz sənayesinin inkişafı və eyni zamanda iqlim dəyişikliyi Xəzərin ekoloji balansını ciddi formada pozmuşdur.

İqlim dəyişikliyi səbəbilə su səviyyəsinin azalması baş verir. Sahil boyu ərazilərdə buna görə eroziya prosesləri güclənir,yaşayış mühiti sıxılır və bioloji müxtəlifliyin azalmasına səbəb olur. Balıqçılıq sahəsinin zəifləməsi,suyun keyfiyyətinin aşağı düşməsi və sahil zonalarda ekoloji baxımdan risk faktorlarının artması əhalinin rifahına çox böyük təsir göstərir. Bu səbəbdən ekoloji mənfi təsirlərin kompleks şəkildə öyrənilməsi,nəticələrinin qiymətləndirilməsi və davamlı strategiyaların hazırlanması elmi və praktiki cəhətdən çox mühüm və aktualdır.

II. Tədqİqat metodu

Tədqiqat işi kompleks və sistemli yanaşma prinsiplərinə əsaslanır.Ekosistemin bütünlüklə qiymətləndirilməsi üçün ekoloji monitorinq,müqayisəli analiz və statistik təhlil metodlarından istifadə olunmuşdur.Antropogen amillərin təsirlərinin səbəb və nəticə əlaqəsinin müəyyən olunması üçün elmi ədəbiyyatlardan və rəsmi hesabatlardan istifadə olunmuşdur

Xəzər dənizinin ekosisteminin quruluşu-Xəzər dənizi dünyanın ən böyük quru yolu mövcud olmayan su hövzəsidir və təxminən 371.000 kvadrat kilometr ərazini əhatə edir.Bildiyimiz kimi beş ölkə ilə həmsərhəddir: Azərbaycan,Qazaxıstan, Rusiya,İran və Türkmənistan . Qədim Tetis okeanının qalığı olan bu zəngin ekosistemdə, növlərinin təqribən 80 faizi endemik olan müxtəlif su canlıları mövcuddur.

Xəzərin suları şimal bölgələrində şirin su, digər bölgələrdə duzlu olmaqla suyun duzluluğu dəyişir və dənizdə çox böyük əhəmiyyətli ekoloji və iqtisadi əhəmiyyəti olan müxtəlif növ nərə balıqları da daxil olmaqla, bir çox balıq növləri yaşayır. Həmçinin də, region sənaye inkişafı nəticəsində çirklənmə, həddindən artıq balıq ovlanması və iqlim dəyişikliyi kimi çox ciddi ekoloji problemlərlə üzləşir ki, bu da unikal ekosisteminin həssas tarazlığını təhlükə altında qoyur (Zeb,2024).

Bundan əlavə olaraq, Xəzər dənizinin geosiyasi əhəmiyyəti geniş neft və qaz ehtiyatları sayəsində getdikcə artır və bu hal da qonşu dövlətlər arasında mürəkkəb resursların idarə olunması problemlərini ortaya çıxarır. Xəzər dənizinin ekosisteminin tarazlığı təkcə yerli biomüxtəliflik üçün deyil, həmçinin də təbii sərvətlərindən asılı olaraq inkişaf edən iqtisadiyyat üçün çox gərəkdir. İqlim mühiti dəyişdikcə, Xəzər dənizinin gələcək perspektivi qeyri-müəyyən olaraq qalır və bu proses də birgə mühafizə səyləri və dayanıqlı idarəetmə təcrübələrini tələb edir.

Xəzər dənizinin yuvalama və miqrasiya yeri kimi xidmət göstərən bataqlıq ərazilərində 100-dən çox quş növü yaşayır. Xəzər dənizi eyni zamanda Xəzərə məxsus yeganə dəniz məməlisi olan endemik Xəzər suitisinə də sahibdir.

Xəzər regionunun əhalisi təqribən 14 milyondur və beş sahilyanı ölkənin sahil əyalətlərinə yayılmışdır: Rusiyada 3,9 milyon, İranda 6,5 milyon , Azərbaycanda 2,2 milyon, Türkmənistanda 0,4 milyon və Qazaxıstanda 0,8 milyon. Xəzər dənizinin özündə və sahilyanı ərazilərində daha çox yayılmış iqtisadi fəaliyyətlər neft - qaz hasilatı, balıqçılıq və gəmiçilik sahələridir.

Hal-hazırda Xəzər dənizində bir çox balıq növü həddindən artıq istismar, yaşayış şəraitinin məhv edilməsi, çirklənmələr və iqlim dəyişkənliyi səbəbindən təhlükə altında qalmışdır. Bu, insanların həyat şəraitinə, sosial-iqtisadi inkişafa və təbii ekosistemlərə mənfi təsir göstərir (Tehran convention,2026).

Xəzər dənizinin florası-bitkilər aləmi 728 növ və alt növdən , həmçinin 5 növ ali bitkidən ibarətdir.Onu da nəzərə çatdırmaq lazımdır ki, dəniz florası quru florasından çox fərqlənir. Quru mühitində ali bitkilər üstünlük təşkil etsə də, dənizlərdə ibtidai bitkilər (yosunlar) üstünlük təşkil edir. Dənizin florası duzluluq

səviyyəsinin tez-tez dəyişməsi təsiri altında köklü deformasiyaya məruz qalmış və nəticədə şirin su növlərinin zənginləşməsi və Xəzərin florasının yüksək dərəcədə azalması müşahidə edilmişdir. Normal duzluluq müşahidə olunan dənizlərə məxsus olan bir çox yosun qrupu burada mövcud deyil. Məsələn, Qara dəniz və Aralıq dənizlərində qırmızı yosunlar üstünlük təşkil etsə də, Xəzər dənizində isə Yaşıl yosunlar (139 növ),diatomlar (292 növ), mavi-yaşıl yosunlar (203 növ) üstünlük təşkil edir. Digər yosun növlərinə isə çox az rast gəlmək olar.Xəzər dənizində, duzsuzlaşmış əraziləri saymadığımızda, yalnızca 7 növ ali su bitkisi olduğu məlumdur (Студенческий научный форум,2021).Burada olan Dəniz otu bitkisi çoxillik bitkidir. Savanna otları sahil ərazilərdə çox geniş yayılmışdır. Nayadalar isə əsasən Xəzər dənizinin körfəzində rast gəlinən bitkidir. Bu bitkilər müxtəlif növ onurğasızların və cavan balıqların yuvasıdır.Əksər ali su bitkiləri su quşları və balıqlar üçün qida mənbəyi rolu oynayır. Körfəzlərdə fitofil balıq növləri (çapaq,sazan və s.) kürüləyərək onların üzərinə tökür. Xəzər dənizi fitoplankton müxtəlifliyinin az olmasına görə normal duzluluq səviyyəsi olan başqa dənizlərdən xeyli seçilir. Xəzər fitoplankton balansında dəniz növlərinin sayı - 47, duzlu şirin suda - 74, şirin suda – 210, duzlu suda - 66 və digərlərində isə - 52-dir. Xəzərin fitoplanktonları içərisində ən geniş yayılmış növlər Exuwellia və Rhizosolenia-dır. Exuwellia Xəzər dənizinin qədim sakinidir, Rhizosolenia isə nisbətən yeni məskunlaşmış invaziv növdür və 1934-cü ildə Qara dənizdən Volqa-Don kanalı vasitəsilə Xəzər dənizinə daxil olmuş və ekosistemin dinamikasında böyük dəyişikliklərə yol açmışdır. Qısa müddət ərzində Xəzər dənizində inkişaf edərək yaşıl və mavi-yaşıl yosunların yaşayış sahəsini əhəmiyyətli dərəcədə azaltmışdır (Студенческий научный форум ,2021).

Xəzər dənizində 1809 heyvan növü, həmçinin 1069 sərbəst yaşayan onurğasız, 325 növ parazit və 415 növ onurğalı heyvan növü yaşayır.

Mənşəyinə görə, Xəzər dənizində sərbəst yaşayan heyvan növləri beş qrupa (1172 növ) bölünə bilər ki, bu da Xəzərin mürəkkəb olan tarixini geniş bir şəkildə tərənnüm edir.

Birinci qrupa Xəzər avtoxton faunası aiddir. Avtoxton növlərin sayı 513-dür və bu da ümumi faunanın 43,8%-ni əhatə edir. Bu növlərə xul balıq,siyənək, mollyuskalar və digər nümayəndələr daxildir (Студенческий научный форум ,2021).

Xəzər dənizinin ikinci genetik qrupu Arktika növlərindən ibarətdir.Bu növlər Xəzər dənizinə təqribən 10.000-12.000 il əvvəl daxil olmuşlar. Arktika qrupu 14 növdən ibarətdir və ya Xəzər faunasının yalnız 1,2%-ni (ağ balıqlar,mizidlər, dəniz tarakanları,Xəzər qızılbalığı, Xəzər suitiləri və s.) təşkil edir . Arktika faunasının əsas hissəsini xərçəngkimilər təşkil edir (71,4%). Arktika növləri Orta və Cənubi Xəzərin 200 m-dən 700 m-ə qədər olan dərinliklərində yaşayır.Səbəb isə aşağı temperaturun burada daim sabit olması ilə bağlıdır (Студенческий научный форум ,2021).

Üçüncü qrup isə Qədim Qara dəniz hövzəsindən gələn Aralıq dənizi növlərindən təşkil olunub. Bu növlərə iki növ mollyusk, çubuqbalığı və başqaları daxildir. 1820-ci illərin əvvəllərində yeni növ-mittelaster mollyusku, ardınca iki növ karides və iki növ kefal və kambala Xəzərə daxil oldu.

Dördüncü qrupa 228 növ daxildir. Bu qrupa anadrom və yarımanadrom balıq növləri daxildir. Bunlar dənizə şimal və qərbdən axan çaylardan gəlmişdirlər. Bu növlərə rotiferlər,qızılbalıq, nərə balığı,durnabalığı, yayın balığı və sazan daxildir (Студенческий научный форум ,2021).

Beşinci qrupa isə dəniz növləri daxildir. Bunlara kirpiklilər (386 forma) və foraminiferaların iki növü daxil edilir. Xəzər dənizi faunasının özünəməxsus xüsusiyyətlərindən biri də bir çox heyvanın yaranmış şəraitə uyğunlaşaraq yeni növlər əmələ gətirməsidir. Bunlara amfipodlar, xulbalıqlar,siyənəklər və s. daxildir. Ali xərçəngkimilər (31 növ), qarınayaqlılar (74 növ), ikitaylılar (28 növ) və balıqlar (63 növ) arasında xeyli endemik növlər də vardır. Xəzər dənizində yerli növlərin çoxluğu onu planetimizin ən duzlu su hövzələrindən birinə çevirmişdir (Студенческий научный форум ,2021).

III. Əsas ekoloji mənfi təsirlər və yaranan problemlər

Ekoloji problemlərin başlıca səbəbləri dənizdə neft ehtiyatlarının axtarılması, hasil edilməsi və nəqli prosesləri zamanı ekoloji tələblərin yerinə yetirilməməsi, sənaye obyektlərinin tullantıları, çaylar vasitəsilə dənizə müxtəlif növ çirkləndirici maddələrin gətirilməsi, məişət çirkli sularının filtrasiya olunmadan Xəzər dənizinə axıdılması, üzən bərk tullantılar, kənd təsərrüfatında istifadə olunan pestisidlərin yağış və suvarma suları ilə yuyularaq çay və kanallar vasitəsilə dənizə axması və s. ilə bağlıdır. Xəzər dənizinin Azərbaycan Respublikasına məxsus olan hissəsində və onun sahil zonasında fəaliyyət göstərən müəssisələr və təşkilatlarda, obyektlərdə, üzən vasitələrdə, sahilətrafı ərazilərdən dənizə olan axarlarda Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi tərəfindən həyata keçirilmiş ekoloji monitorinqlər zamanı Xəzər dənizinə axıb tökülən 128 axar qeydə alınmışdır (Azərbaycan Respublikası Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi,2025-2026).Bütün bunlar antropogen yəni insan əli ilə baş verən təsirlərdir.Neft-qaz hasilatı zamanı boru

kəmərlərindən və nəql edilən zaman yaranan sızmalar nəticəsində su mühitinin çirklənməsi baş verir.Karbohidrogen məhsulları suyun üzərində pərdə əmələ gətirir və oksigen mübadiləsini zəiflədərək burda olan balıq,molyusklar və digər canlıların fəaliyyətinə mənfi təsir edir.Digər bir vacib problem isə məişət və sənaye tullantılarının dənizə axıdılmasıdır.Nəticədə ağır metallar,kimyəvi maddələr suya qarışaraq həm burdakı bioloji müxtəlifliyi həm də insan həyatını təhlükəyə atır.Həmçinin balıq ehtiyatlarının həddən artıq istismarı növlərin sayında kəskin azalmaya səbəb olmuşdur.Bununla da ekosistem balansı pozulmuş olur.

Təbii olaraq yaranan təsir mənbələrinə iqlim dəyişikliyini ,su səviyyəsinin dəyişməsini misal göstərə bilərik. Xəzər dənizinin coğrafi mövqeyi, ərazi böyüklüyü və okeandan uzaqlığı nəzərə alınmaqla,iqlim dəyişiklikləri nəzərə çarpan ola bilər. Məsələn, 1976-2020-ci illər üçün havanın orta illik temperaturu üçün xətti trend əmsalı planetimizdə +0,18°C/10 il, Xəzər dənizi bölgəsində isə +0,46°C/10 il olmuşdur.Bu iqlim şəraitinin müəyyən edilməsi və baş verən dəyişikliklərin qiymətləndirilməsi halları vacib nəticələrin müəyyənləşdirilməsi, adekvat və zamanında uyğunlaşma tədbirlərinin həyata keçirilməsi və nəticədə regionun dayanıqlı inkişafının təmin edilməsi üçün çox vacibdir. Məhz bu səbəbə görə də 2019-cu ildə baş tutmuş 24-cü CASPCOM sessiyasında bu mövzuya həsr olunmuş regional elmi konfransın hazırlanaraq keçirilməsinə qərar verilmişdir.Məlumatlara görə, 2020-ci il tarixi ən isti üç ildən biri olmuşdur və qlobal orta temperatur təqribən 14,9°C-yə çatıb ki, bu da sənayeləşmədən əvvəlki illərdəki (1850-1900) temperatur səviyyəsindən 1,2°C yüksəkdir. Çoxsaylı mənbələrdə göstərildiyi kimi, Xəzər dənizi regionunun iqlimi də əhəmiyyətli dərəcədə dəyişikliklərə məruz qalmışdır. Son 45 il ərzində regionda baş vermiş iqlim dəyişikliyinin əsas xüsusiyyətləri səth havasının temperaturunun yüksəlməsi və yağıntının miqdarının çoxistiqamətli olaraq dəyişməsidir. Qeyd edilməlidir ki, orta illik temperatur və qış temperaturunun dəyişmə sürətində 10 ildə 0,4-0,6°C, yaz temperaturunda 10 ildə 0,4-0,7°C, yay temperaturunda 10 ildə 0,5-0,7°C, payız temperaturunda isə 10 ildə 0,2-0,5°C artım müşahidə olunur. Regionda payız və qışda, bütövlüklə il ərzində yağıntının dəyişmə aralığı 10 il müddətində -5%-dən +5%-ə qədər (1961-1990-cı illər göstəricisinin faizi ilə) və yazda isə -5%-dən +10%-ə qədər dəyişir. Yay fəslində isə yağıntı miqdarı ya dəyişməz olaraq qalır, ya da bəzi ərazilərdə 10 il ərzində 15%-ədək azalır (E.B. Островская, Л.В. Дегтярева. Астрахань: Издатель Сорокин Р.В., 2022).

Bakı şəhəri COP29-a ev sahibliyi etdiyinə görə, Böyük Xəzər bölgəsinə əhəmiyyətli dərəcədə diqqət yetiriləcəkdir.Temperatur qlobal orta göstəricidən iki dəfə sürətlə yüksəlir və nəticədə intensiv olaraq ekstremal hava hadisələrinin baş verməsinə səbəb olur ki,bu da səhralaşma və hava çirkliliyinin artması ilə səhiyyə problemlərini daha da ağırlaşdırır. Həmçinin, Xəzər dənizində ekoloji böhran təhlükəsi yaranır.1990-cı illərin sonu 2010-cu illərin ortalarına qədər müvəqqəti yaxşılaşma izlənsə də, son zamanlarda dəniz suyu səviyyəsində və ərazisində yüksək dərəcədə azalma halı müşahidə olunmuşdur. Çay axınlarının düzgün idarə olunmaması və iqlim dəyişikliyi nəticəsində buxarlanma intensivliyinin artması kimi digər müxtəlif amillər bu narahatedici tendensiyaya yol açmışdır. Sovet dönəmindən bu yana Volqa çayı üzərində salınmış bəndlər çayın su axınını çox azaltmışdır. Təqribən 1,38 milyon km² su hövzəsi sahəsini əhatə edən Volqa çayı hövzəsinə Xəzər dənizi hövzəsində mövcud olan doqquz bənd daxildir. Xəzərə axıdılan ümumi suyun 75%-dən çoxunu bu bəndlər təşkil edir və bəndlərin ümumi su saxlama tutumu 223 km³-dir. Volqoqrad Elektrik Stansiyasından orta illik su axını 1993-1996-cı illər arasında 10.654 $m^3\ s^{-1}$-dən 5.609 $m^3\ s^{-1}$-ə (saniyədə) qədər azalmış və nəticə etibarilə dəniz səviyyəsinin yüksək dərəcədə illik enməsi baş tutmuşdur.

Həmçinin, küləyin sürətinin artması nəticəsində dəniz üzərində buxarlanmanın artması prosesi baş verir,rütubətin şərqə doğru daşınmasına yol açır və bu hal da Xəzər dənizi hövzəsi üçün itkilər yaradır.

Ümumilikdə, Volqadan gələn axının azalması ilə getdikcə artan hava temperaturu və güclü küləklər Xəzərin səviyyəsinin dinamikasına yüksək dərəcədə təsir göstərir. 1979-1995-ci illər ərzində və 1996-2015-ci illər ərzində orta illik səth temperaturunda bir dərəcə Selsi artımı qeydə alınıb.Bunun da əsasında iqlim dəyişikliyi durur.Verilən proqnozlar Mərkəzi Asiya ərazisində temperaturun daha da artacağını göstərir ki, bu da Xəzərin səthindən buxarlanmanı əhəmiyyətli dərəcədə artıracaq. Buxarlanmanın artması probleminin həlli üçün dənizə çay axınında artım tələb olunur.Suyun səviyyəsi il ərzində 7 sm azalmağa davam edərsə, suyun dərinliyi 54 metrdən az olan Xəzər dənizinin şimal hissəsinin 75 il müddətində yox ola biləcəyi proqnozlaşdırılır. Bu hal, zəif ekosistemlər üçün təhlükə mənbəyidir və regionun iqliminə və lokal iqtisadiyyatına ciddi təsir göstərə bilər. Başqa bir araşdırmada görürük ki, dənizin 25.000 kvadrat kilometr sahəsində dalğalanmalar baş tutur ki, bunun da 70%-i Qazaxıstanın payına düşür.Həm də, bu sürətli artım su itkisini artıraraq Xəzər dənizinin zəif duz balansını da təhdid edir (Luca Urciuolo,2024).

IV. Nəticə

Neft- qaz hasilatı,tullantıların dənizə axıdılması,bioloji resursların intensiv istismarı Xəzərdə ekoloji balansın pozulmasına səbəb əsas təsirlərdir. Bu təsirlərin nəticəsində bəzi canlıların sayın azalması, su keyfiyyətinin aşağı düşməsi və ekosistemdə dəyişikliklər baş verir. Nəticə etibarilə, Xəzərdə ekoloji tarazlığın bərpa olunması və bioloji müxtəlifliyin qorunması üçün bioloji resursların səmərəli idarə olunması, çirkləndirici mənbələrin azaldılması və region dövlətləri arasında ekoloji əməkdaşlığın gücləndirilməsi zəruri hesab edilir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Muhammad Aurang Zeb 2024. Caspian Sea ecosystem
2. Tehran convention.org 2026. The Caspian Sea region
3. Scienceforum.ru 2021.Scientific Conference on Climate Change in the Caspian Sea Region

XƏZƏR DƏNIZINDƏ BAŞ VERƏN EKOLOJI DƏYIŞIKLIKLƏRIN XƏZƏR SUITISI POPULYASIYASINA TƏSIRI

Asiya Rzayeva
Mühəndislik fakültəsi
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xırdalan, Azərbaycan
asirza1993@icloud.com

Xülasə: Son onilliklərdə Xəzər dənizində yaşayan, phocoidea fəsiləsinə mənsub endemik növ olan yeganə məməli növü- Xəzər suitisinin (Pusa caspica) populyasiyasının kəskin azalması müşahidə edilmişdir. Yırtıcı olan Xəzər suitisi çox böyük ekoloji rol oynayır, ancaq onun populyasiyası 2005-ci ildə bir milyondan çox fərddən təqribən 111.000 fərdə düşmüşdür (Mohammad Forouhar Vajargah, Seyed Parsa Mousavi, 2026).

Xəzər dənizində iqlim dəyişikliyi, su səviyyəsində baş verən azalma, ekoloji çirklənmələr həmçinin ekoloji balansın pozulması kimi faktorlar Xəzər suitisinin yaşayış şəraitinə pis təsir göstərir. Tədqiqatımızda Xəzər suitisi populyasiyasının kəskin surətdə azalmasının səbəbləri araşdırılmışdır.

Məqalədə qeyd etdiyimiz kimi, suitilərin balavermə dövründə buza ehtiyacı olduğu üçün, buz örtüyünün azalması onların çoxalma şəraitinə mənfi təsir edir. Həmçinin, suda baş verən çirklənmələr və qida ehtiyatının azalması suitilərin yaşama qabiliyyətlərinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Təbii ki, antropogen təsirlər də yan keçmir. Belə ki, sənaye tullantıları ilə dənizin suyu çirklənir və həm də insanların balıqçılıq fəaliyyəti suitilərin qida rejiminə pis təsir edir. Bütün bu faktorlar növün azalmasına səbəb olur. Nəticədə, Xəzər dənizi sferasında baş verən bütün ekoloji dəyişikliklər Xəzər suitisinin həyatını təhlükə altında qoyur. Bu növün qorunması üçün ekoloji nəzarət gücləndirilməli, beynəlxalq əməkdaşlıq və mühafizə tədbirləri həyata keçirilməlidir.

Açar sözlər*: Xəzər dənizi, Xəzər suitisi, populyasiya, invaziv, Mnemiopsis, antropogen*

Abstract: In recent decades, a sharp decline in the population of the Caspian seal (Pusa caspica), the only endemic mammal species of the phocoidea family living in the Caspian Sea, has been observed. The Caspian seal, a predator, plays a very important ecological role, but its population has decreased from more than a million individuals in 2005 to approximately 111,000 individuals (Mohammad Forouhar Vajargah, Seyed Parsa Mousavi, 2026).

Factors such as climate change, a decrease in water level, environmental pollution, as well as a disruption of the ecological balance in the Caspian Sea have a negative impact on the living conditions of the Caspian seal. Our study investigated the reasons for the sharp decline in the Caspian seal population.

As we noted in the article, since seals need ice during the breeding season, the decrease in ice cover negatively affects their reproduction conditions. Also, water pollution and a decrease in food reserves lead to a decrease in the survival of seals. Of course, anthropogenic impacts are also not ignored. Thus,

industrial waste pollutes the sea water, and human fishing activities have a negative impact on the food regime of seals. All these factors lead to a decrease in the species. As a result, all ecological changes taking place in the Caspian Sea sphere endanger the life of the Caspian seal. In order to protect this species, environmental control should be strengthened, international cooperation and conservation measures should be implemented.

***Keywords**: Caspian Sea, Caspian seal, population, invasive, Mnemiopsis, anthropogenic*

GİRİŞ

Xəzər dənizində yegan məməli növü olan Xəzər suitisi vacib rola malik endemik növdür. Bu məməli yalnızca Xəzərdə mövcuddur, burada yayılmışdır. Son illər ərzində Xəzərdə baş vermiş ekoloji dəyişikliklər istər təbii istərsə də antropogen amillər nəticəsində daha da sürətlənmişdir. Dənizin temperatur artımı, buz örtüyünün azalması, su səviyyəsinin dəyişməsi kimi proseslər Xəzər suitisinin həyat dövrünə-xüsusilə çoxalma və balanın inkişafı dövrlərinə yüksək təsir göstərir. Su səviyyəsinin enməsi sahil ərazilərin daralmasına, suitilər üçün qida ehtiyatı olan balıqların yayılma sahəsinin dəyişməsinə səbəb olur. Bu da suitilərin qidalanma zəncirinin pozulmasına gətirib çıxarır. Qida çatışmazlığı Xəzər suitisinin həm immun sisteminə, fizioloji vəziyyətə həm də populyasiyanın artım göstəricisinə mənfi təsir edir.

Problemin daha da kəskinləşməsində antropogen təsirlər mühüm rol oynayır. Sənaye tullantıları, kənd təsərrüfatı və məişət tullantılarının dənizə axıdılması, Xəzər hövzəsində neft-qaz hasilatının genişlənməsi suyun keyfiyyətinin xeyli aşağı düşməsinə səbəb olur. Xüsusilə də qeyd edək ki, ağır metallar və üzvi çirkləndiricilər suitilərin bədənində toplanaraq sağlamlığına təhlükə yaradır, onların çoxalma qabiliyyətini azaldır və müxtəlif xəstəliklərin baş qaldırmasına səbəb olur.

Tədqiqatın məqsədi- Dəniz ekosistemində müşahidə edilmiş ekoloji dəyişikliklərin Xəzər suitisi populyasiyasının quruluş və dinamikasına təsir xüsusiyyətlərini elmi əsaslarla müəyyən etməkdir.

İqlim dəyişkənliyi, su səviyyəsinin dəyişməsi, antropogen təsirlər və biotik amillərin suitilərin yaş dinamikasına, sayına, reproduktiv göstəricilərə və yayılmasına təsiri kompleks şəkildə qiymətləndirilir, həmçinin, bu növün qorunması və dayanıqlı idarə edilməsi üçün elmi cəhətdən sübut olunmuş yanaşmalar formalaşdırılır.

Tədqiqatın aktuallığı- Son zamanlarda Xəzərdə baş vermiş davamlı ekoloji dəyişikliklər burada olan biomüxtəlifliyə çox böyük təhlükə yaratmışdır. Xüsusən də endemik növ olan Xəzər suitisi populyasiyasının intensiv azalması burada baş verən mənfi halların indikatoru kimi çıxış edir.

İqlim dəyişikliyi səbəbilə buz örtüyünün azalması, su səviyyəsindəki dəyişiklik, neft-qaz sənayesinin inkişafı nəticəsindəki çirklənmələr və antropogen təsirlərin artması suitilərin yaşayış şəraiti məhdudlaşmasına, qida ehtiyatının azalmasına və çoxalma fəailiyyətinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Bütün bu amillər növün tükənməsi ehtimalı ilə yanaşı, Xəzər ekosisteminin tarazlığını da pozur.

Bu cəhətdən, qeyd etdiyimiz problemlərin kompleks şəkildə elmi təhlili, Xəzər suitisi populyasiyasının mühafizəsinə yönəlmiş effektli idarəetmə strategiyalarının hazırlanıb işlənməsi indiki dövrdə mühüm elmi və praktiki cəhətdən böyük əhəmiyyət kəsb edir.

V. TƏDQİQAT METODU

Tədqiqat zamanı çoxmənbəli məlumatlar toplanmış və təhlili həyata keçirilmişdir. İlk öncə, uzunmüddətli monitorinq məlumatları, elmi ədəbiyyatlar və statistika göstəriciləri əsasında suitilərin populyasiya dinamikası araşdırılır. Sahə tədqiqatları zamanı isə sayım, müşahidə və vizual qeydiyyat metodlarından istifadə olunaraq növün say göstəriciləri və yayılma sahəsi müəyyən edilir.

Ekoloji amillərin təsirlərini müəyyən etmək üçün suyun fiziki-kimyəvi xüsusiyyətləri- temperaturu, duzluluğu, çirkliliyi araşdırılır, antropogen təsirlər təhlil edilir. Əldə olunmuş məlumatların işlənməsi üçün statistik analiz metodlarından istifadə edilərək ekoloji amillərlə populyasiya göstəriciləri arasındakı əlaqələr müəyyən edilmişdir..

VI. XƏZƏR DƏNİZİNDƏ HƏYƏCAN TƏBİLİ. XƏZƏR SUITISI POPULYASIYASININ AZALMASI

Son illərdə Xəzər dənizinin suyunun səviyyəsi intensiv dərəcədə azalaraq 2025-ci ildə ən aşağı səviyyəyə çatmışdır. Alimlər iqlim dəyişikliyi, temperaturun artması, çay axınının azalması və antropogen fəaliyyətin qeyri-sabitliyi səbəbindən gələcək onillikdə daha 4 metr aşağı düşməsi haqda xəbərdarlıq edirlər. Xəzərin suyunun səviyyəsi 19-cu əsrdən bəri statistik olaraq qeydə alınıb və 20-ci əsrdə ən yüksək səviyyəyə çatmışdır. Hal-hazırda isə ən aşağı səviyyədədir. Xəzər dənizində suyun vəziyyətinin belə pisləşməsinin əsas göstəriciləri suyun keyfiyyətini aşağı salan çoxlu miqdarda sənaye tullantılarının axıdılması, konsentrasiya olunmuş çay axını, məişət çirkab sularının təmizlənmədən axıdılması, neft sızmaları və

plastiklərlə çirklənmədir. Bu antropogen fəaliyyət yalnız dəniz həyatını deyil, həmçinin də sahil icmalarının həyatını təhdid edir və çimərlik çirklənməsi, dəridə yaranan xəstəlikləri, vəhşi təbiət xəstəliklərini və balıq ehtiyatlarının çatışmazlığı kimi ciddi problemlərə səbəb ola bilər.

Sənaye sahəsinin tullantıları, təmizlənməmiş məişət çirkab suları, neft sızmaları və plastik tullantılar da daxil olmaqla çirklənmələr Xəzərin suyunu zəhərləmişdir. Xəzər dənizini 80% şirin su ilə təmin edən Volqa çayı dənizə çatmadan getdikcə kənd təsərrüfatı, su elektrik stansiyası və sənaye məqsədləri üçün istifadə edilir. Həmçinin, sahilboyu ərazilərdə şəhərlərin genişlənməsi və sənaye sahəsinin inkişafı təbii yaşayış mühitlərini yox edərək növləri məhv olmaq təhlükəsi altında qoymuşdur.

Xəzər suitisi (Pusa caspica) Xəzər dənizində yaşayan yeganə dəniz məməlilərinə aid növdür. Balen suitiləri ailəsinin ən kiçik üzvlərindən biridir və onların yetkinlərinin uzunluğu 1,2-1,6 metrə çatır, çəkisi isə 50-80 kiloqramdır. Erkək növləri adətən dişilərindən daha böyük və ağır olurlar. Yaşamını davam etmək üçün Pusa caspica əsasən beş əsas dəniz heyvanı növü ilə qidalanır: xulbalığı, kilkə, levrek, siyənək və xərçəngkimilər. Xəzər suitisi balıq populyasiyalarının qorunmasında əhəmiyyətli dərəcədə rola malik və Xəzər dənizinin sağlamlığının qiymətləndirilməsində aparıcı xüsusiyyətləri olan əsas yırtıcı məməlidir.

Xəzər dənizi öz ekosisteminin balansının qorunmasında çox mühüm rol oynayır və region üçün mədəni və elmi əhəmiyyət istisna edilmir. Təəssüflə bildirək ki, son əsrdə Xəzər suitilərinin populyasiyası 90%-dən də çox azalaraq, təqribən 1,5 milyondan 70.000 fərdə düşmüşdür. 2008-ci ildən bəri Xəzər suitisi IUCN (Beynəlxalq Təbiəti Mühafizə Birliyi) Təhlükəli Növlərin Qırmızı Siyahısında təhlükəli dərəcədə nəsli kəsilməkdə olan növlər kimi qeydə alınmışdır. Təxirəsalınmaz tədbirlər görülməsə, bu nadir dəniz məməliləri yox ola bilər.



Şək. 1. Xəzər suitisi. **Mənbə**: https://www.caspianpolicy.org/ , 2025

Xəzər dənizi ekosistemində yeganə məməli növü olan Xəzər suitisinin kritik şəkildə azalması həyəcan verici həddə çatır. Compass Fondu tərəfindən Dağıstan Dövlət Universiteti ilə əməkdaşlıq çərçivəsində təşkil olunan onuncu ekspedisiyanın nəticələri ekoloqlar üçün heç də ürəkaçan olmamışdır. Bu tədqiqat Xəzər dənizinin Rusiya ərazisində, o cümlədən Malıy Jemçujnı adasında da aparılıb və burada alimlər 2024-cü ilin yaz aylarından bəri bu dəniz məməlilərinin əhəmiyyətli bir mövcudluğunu qeydə almamışdırlar.

Suiti ölüm halları yalnızca Rusiya ərazisi ilə məhdudlaşmır. 2024-cü ilin noyabr ayında Qazaxıstandan olan ekspedisiya nümayəndələri Manqistau bölgəsinin sahillərində cəsədlərin kütləvi formada yuyulması barədə məlumat veriblər. Qeydə alınan bu hadisə Orta Xəzərdə baş vermiş təqribən 30 suiti ölümü ilə üst-üstə düşdü. Malıy Jemçujnı adasındakı kamera tələlərində ancaq bir neçə canlı suiti qeydə alınmışdır ki, bu da populyasiyanın vəziyyətinin çox ağır olduğunu vurğulayır.



Şək. 2. Xəzər suitilərinin kütləvi ölüm hallarına bir nümunə. **Mənbə**: https://qafqazinfo.az

Xəzər suitisi üçün yaranan təhdidlər qanunsuz balıq ovu nəticəsində təsadüfən ovlanması, həmçinin də qanunsuz olaraq həyata keçirilən suiti ovlanmasının artmasıdır (qəsdən nərə balığı ovu və qanunsuz ovlanma) ki, bu halın baş verməsi də həm Xəzər dənizində, həm də digər ərazilərdə suitinin dərisinə və piyinə olan bazar tələbatının artması ilə birbaşa əlaqədardır.

Kritik təhdidlərə yaşayış şəraitinin pozulması və deqradasiyası da daxildir. Orta təhdidlərə isə kütləvi epizootiyalar, parazitlərlə yoluxmalar, immunosupressiya halına səbəb olan toksiki maddələrin bioakkumulyasiyası və reproduktiv orqanlar da aid olmaqla daxili orqanların patoloji anomaliyaları da məxsus olmaqla Xəzər suitisinin xəstəliklərini göstərə bilərik. Xüsusi diqqət tələb edən, ancaq hal- hazırda populyasiyaya təsiri nöqteyi-nəzərdən qiymətləndirilməyən potensial təhdidlərə isə bunlar daxildir: çirklənmənin qida zəncirinə göstərdiyi təsir; qida ehtiyatlarının (balıqların) həddindən çox ovlanması; invaziv- yad növlərin geniş şəkildə yayılması;

Suiti azalmasının səbəblərinin əsasını təşkil edən yaşayış mühitinin deqradasiyasına aiddir- balıq növlərinin itirilməsi; yay aylarında buz örtüklərinin (suitilərin çoxalma yerləri) sahəsinin azalmasına və Xəzər dənizinin səth sularının temperaturunun həddindən artıq yüksəlməsinə səbəb olan iqlim dəyişikliyi.

Qazaxıstan və Rusiya dövlətləri arasında Xəzər dənizinin ərazi suları, əsasən də onun şimal hissəsi (Şimali Xəzər dənizi) Xəzər suitiləri üçün ən əlverişli hesab edilən yaşayış yeridir. Payız aylarından yazın ortalarına qədər dənizdən miqrasiya edən canlıların əsas hissəsi həyat dövrünün ən vacib mərhələlərindən biri olan çoxalma prosesi üçün Şimali Xəzər dənizində qərarlaşır. Eyni zamanda onu da qeyd edə bilərik ki, Qazaxıstan və Rusiyanın ərazi suları dəniz ekosisteminə artan antropogen təsir sahəsi hesab edilir ki, bu da Xəzər suitisi populyasiyasının həyat rifahına təsir göstərir.

Rusiya Federasiyası və Qazaxıstan Respublikasının birgə əməkdaşlığı daxilində Xəzər dənizində Xəzər suitisinin və bu növlərin əsas yaşayış yerlərinin ətraf mühitinin qorunmasını və biomüxtəlifliyinin mühafizəsini təmin etmək üçün "2019-2023-cü illər üçün Şimali Xəzər dənizi sularında Xəzər suitilərinin tədqiqi proqramı" təsdiq olunmuşdur. Bu tədqiq proqramı 12 avqust 2011-ci ildə imzalanmış Xəzər dənizinin hüquqi statusu haqqında Konvensiyanın şərtlərinə və tələblərinə tam uyğun olaraq hazırlanmışdır. Proqram Xəzər dənizinin təbii mühit şəraitinin qorunması - onun bioloji ehtiyatlarının mühafizəsi, bərpası, səmərəli istifadə edilməsi və Xəzər dənizinin ekologiyası, qorunması və istifadəsi sahəsində elmi tədqiqatların təşviq olunması üçün Konvensiyada müəyyən edilmiş prinsiplər əsasında həyata keçirilir.

2000-ci ilin yaz aylarında Xəzər suitiləri populyasiyasında morbillivirusun törətdiyi kütləvi ölüm hadisəsinin etiologiyası müəyyən olunmuşdur [Kennedy və b., 2000, Kuiken və b., 2000]. 2000-ci ildə Xəzər suitilərində mövcud olan morbillivirusun təkamülü arxivdə olan materiallardan yeni nəsil ardıcıl şəkildə yenidən qurulmaqla araşdırılmışdır. Son zamanlarda Xəzər suitisində müasir molekulyar diaqnostika metodlarından istifadə edilməklə həyata keçirilən tədqiqatlar nəticəsində herpes virusu aşkar edilmişdir. 2016-cı ildə götürülən nümunələrdə PhHV-1 virusu aşkar edilmişdir [Kydyrmanov və b., 2019].

2023-cü ildə aparılan son tədqiqatlar zamanı üç yeni Xəzər suitisi virusu müəyyən edildi ki, bunlar da şərti olaraq parvovirusabənzər (suiti parvovirusu növü), annellovirusabənzər (suiti anellovirus növü) və sirkovirusabənzər (xəz suitisi sirkovirus növü) kimi təsnif edilmişdir.

2023-cü ilin yanvar ayında Qazaxıstan Respublikasının mütəxəssisləri Dağıstanda Xəzər dənizi sahillərində tapılan ölü suitilərdən toplanmış toxuma nümunələrinin PCR müayinəsini apardılar. Morbillivirusların (yırtıcı taun) P-geninə praymerlər əlavə olunmuş RT-PCR 34 suitilərin ağciyər toxumasında gözlənilən 429 bp məhsulu aşkar etmişdir. Prosesi nəzarətdə saxlamaq üçün yırtıcı taun virusuna qarşı canlı modifikasiya olunmuş peyvənddən (Pfizer, ABŞ) istifadə olunmuşdur. Suitilərin ortomiksoviruslarla yoluxması halını müəyyən etmək üçün qrip A (H5N1) virusunun M-geninə praymerlər əlavə olunmuş RT-PCR aparılmışdır. 2%-li aqaroza gelində elektroforez doqquz suitilərdən götürülmüş ağciyər nümunələrində gözlənilən 279 bp PZR məhsulunu aşkar etmişdir. Nəticədə, Dağıstan sahillərindən tədqiq olunan Xəzər suitilərinin nümunələrində 2023-cü ilin qış fəslində ölən suitilərdə həm qrip, həm də morbillivirus infeksiyaları müəyyən edilmişdir.

Payız və qış mövsümündə suitilərin əsas yaşayış yeri əsasən Şimali Xəzər dənizidir. Buna baxmayaraq, bəzi fərdlər Orta Xəzər dənizinin sularına miqrasiya edir və daha da irəliləyərək cənub bölgələrinə çatır. Fevral və mart aylarında heyvanların yayılma sahəsi buz örtüyünün paylanması ilə birbaşa əlaqəlidir. 2019-2020-ci illərin qış aylarında, buz örtüyünün nisbətən az olduğu bir ildə, suitilər əsasən Şimali Xəzərin şərq hissəsində, sahil xəttinə yaxın bölgədə yayılmışdı. 2020-2021 və 2022-2023-cü illərin daha rütubətli qış aylarında buz Şimali Xəzər dənizinin böyük hissəsini əhatə edərək örtmüş və suitilər onun kənarında yerləşirdi.

2023-cü ildə, eləcə də 2020 və 2022-ci illərdə nişanlanmış heyvanlar 2019-cu ildə nişanlanmış heyvanlara nisbətən müqayisədə Xəzər dənizinin orta hissəsindən daha geniş istifadə etmişdir. Əlavə olaraq bunu qeyd edə bilərik ki, bu illər ərzində Xəzər dənizinin şərq sahilindən aktiv istifadə müşahidə olunmuşdur, lakin 2019-cu ildə nişanlanmış heyvanlar hərəkət üçün Xəzər dənizinin qərb sahilindəki sulardan daha çox istifadə etmişdirlər (Survey of the Caspian seal in the water area of the North Caspian sea. Autumn, 2023).

Dişi suitilərin çoxalma məhsuldarlığı ən azı 1980-ci illərin əvvəllərindən bəri getdikcə aşağı olub (Krılov, 1990). Bu reproduktiv uğursuzluğun başlıca səbəbi olaraq son zamanlarda suiti toxumalarında görülən yüksək səviyyəli üzvi xlor pestisid qalıqları hesab edilə bilər (Watanabe və b. 1999). Baykal gölündə müşahidə edildiyi kimi, Xəzər suitiləri də it taunu virusu kimi virus infeksiyalarından əziyyət çəkiblər (Forsyth və b. 1998). Həmçinin, qış aylarında şimal-şərq Xəzər buzlarında balaların hər il kommersiya ovu həyata keçirilir. Mnemiopsis lady kimi invaziv növün suitilərin populyasiya stressi və ölümünün bu mürəkkəb tənliyinə daxil olması Xəzər suitisi üçün son damla hesab edilə bilər.

Mnemiopsisin Xəzər suitisinə etdiyi potensial təsir o qədər ağırdır ki, bu prosesdə tədqiqatların ən böyük intensivliklə davam etdirilməsi arzuolunandır (Vladimir P. Ivanov, Andrey M. Kamakin, 2000).

VII. Nəticə

Xəzər suitisi populyasiyasının azalması dənizdə baş verən kompleks dəyişikliklərin nəticəsidir. Araşdırmalar onu göstərir ki, bu azalma yalnız bioloji amillərlə yox, antropogen təsirlərin artması, iqlim dəyişikliyi və qida zəncirinin pozulması ilə sıx əlaqədardır. Əldə etdiyimiz elmi nəticələr sübut edir ki, neft və qaz hasilatı zamanı yaranan çirklənmə, sənaye sahəsinin tullantıları, ağır metallar və pestisidlərin dənizə daxil olması suitilərin həyati bacarıqlarına mənfi təsir edir, xüsusilə də reproduktiv qabiliyyətini aşağı salır. Qida ehtiyatının azalması- kilkə populyasiyasının azalması suitilərin ölüm hallarını artırır. İqlim dəyişikliyi nəticəsində buz örtüyünün sahəsi azalır, beləliklə, suitilərin çoxalma və balavermə prosesi çətinləşir, təbii artımın səviyyəsi aşağı düşür.

Nəticədə, Xəzər suitisi populyasiyasının azalması tək bir səbəblə bağlı deyil, bir-biri ilə əlaqəli çoxsaylı antropogen və ekoloji amillərin təsiri ilə bağlıdır. Növün mühafizəsi üçün koordinasiya olunmuş tədbirlərin həyata keçirilməsi vacibdir. Belə tədbirlərə dənizin çirklənməsinin qarşısının alınması, bioloji müxtəlifliyin qorunması üçün hüquqi mexanizmlərin inkişaf etdirilməsi, beynəlxalq əməkdaşlığın gücləndirilməsi aiddir.

Həmçinin, uzun müddətli monitorinq proqramlarının təşkil olunması, elmi tədqiqatların artırılması və ictimai maarifləndirilmə prosesinin inkişaf etdirilməsi zəruri hesab edilir. Yalnız bu cür hallarda Xəzər suitisi populyasiyasının bərpa olunması və ekosistemin isə tarazlığı təmin olunacaqdır..

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

[13] Caspianpolicy.org- The Caspian day- dropping Caspian sea levels and disappearing Caspian seals.

[14] Forsyth MA, Kennedy S, Wilson S, Eybatov T and Barrett T (1998) Canine distemper in a Caspian Seal. Veterinary Record, 662–664.

[15] Krylov VI (1990) Ecology of the Caspian Seal. Finnish Game Research 47: 32–36

[16] Mohammad F. Vajargah, Seyed P. Mousavi. The caspian seal : Biology, ecology and Conservation Challenges in the Caspian Sea, 2026.

[17] Khuraskin L and Pochoyeva V (1997) Status of the Caspian seal population. In: Dumont H, Wilson S and B Wazniewicz (eds) Proceedings of the First Caspian Bioresources Network Meeting, Bordeaux, World Bank Publications

[18] V.P.İvanov, A.M.Kamakin. İnvasion of the Caspian sea by the comb jellyfish Mnemiopsis leidyi (Ctenophora), 2000.

[19] Survey of the Caspian seal in the water area of the North Caspian sea. Autumn, 2023

CARPİNUS ORİENTALİS L. NÖVÜNÜN BÖYÜK QAFQAZIN CƏNUB YAMACI ƏRAZİSİNDƏ DENDROXRONOLOJİ TƏDQİQİ VƏ MONİTORİNQİ

Şəlalə Abuzər qızı Məmmədova
Bakı Şəhər İcra Hakimiyyəti Başçısının tabeliyində Dendrologiya bağı PHŞ,
Bakı, Azərbaycan
Shalala_mammadova@mail.ru
0009-0006-8122-5210

Aydan Qəhrəman qızı Ağamalıyeva
Bakı Şəhər İcra Hakimiyyəti Başçısının tabeliyində Dendrologiya bağı PHŞ,
Bakı, Azərbaycan
aydan_rasulova@list.ru
0000-0003-4133-9425
Hökümə İlham qızı Mehrəliyeva
Bakı Şəhər İcra Hakimiyyəti Başçısının tabeliyində Dendrologiya bağı PHŞ,
Bakı, Azərbaycan
leylavasif26@gmail.com
0009-0009-8902-735x

Xülasə: Tədqiqat Böyük Qafqazın cənub yamacında yerləşən Şəki rayonu ərazisində yayılmış Carpinus növünün dendroxronoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsidir. Gövdə illik halqalarının analizi əsasında artım dinamikası, illər üzrə dəyişkənlik və iqlim amillərinin təsiri qiymətləndirilmişdir. Nəticələr göstərmişdir ki, növün artımı qeyri-xətti xarakter daşıyır və müəyyən illərdə qısamüddətli azalma müşahidə olunur. Ümumi artım tendensiyası müsbət istiqamətdədir. Alınmış nəticələr regionun meşə ekosistemlərinin biomonitorinqi baxımından mühüm elmi əhəmiyyətə malikdir.
Açar sözlər: Carpinus, dendroxronologiya, illik halqalar, artım dinamikası, monitorinq, iqlim

GİRİŞ

Dendroxronologiya illik halqalarının tədqiqi vasitəsilə onların yaşını, inkişaf dinamikasını və ətraf mühit şəraitinə reaksiyasını öyrənən elm sahəsidir. Bu metod meşə ekosistemlərinin monitorinqində, iqlim dəyişmələrinin təsirinin qiymətləndirilməsində və biomüxtəlifliyinin qorunmasında geniş tətbiq olunur. [1]

Bu tədqiqatın məqsədi Carpinus növünə aid ağacların dendroxronoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi və uzunmüddətli monitorinqinin aparılmasıdır. Gövdə illik halqalarının analizi vasitəsilə artım intensivliyi, illər üzrə dəyişkənlik və ekoloji faktorların təsiri qiymətləndirilmişdir. Tədqiqat nəticələri göstərmişdir ki, Carpinus növündə artım prosesi qeyri-xətti xarakter daşıyır və müxtəlif illərdə qısamüddətli azalma mərhələləri müşahidə olunur. Ümumi tendensiya isə artım istiqamətindədir və son mərhələdə maksimum göstəricilər qeydə alınmışdır. Alınan nəticələr növün ekoloji adaptasiya qabiliyyətini və iqlim dəyişmələrinə reaksiyasını qiymətləndirmək baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. [2]

Təqdim olunan qrafikdə Carpinus növünə aid ağacın gövdə inkişaf göstəricisinin uzun müddətli zaman üzrə dəyişməsi əks etdirilmişdir. Qrafiklər gövdənin inkişaf intensivliyinin illər üzrə sabit olmadığını və dəyişkən xarakter daşıdığını göstərir.

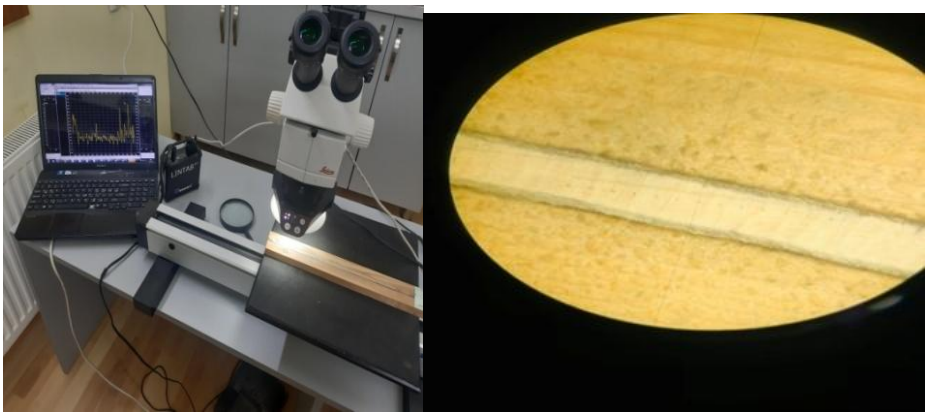
Şəki rayonu Böyük Qafqazın cənub yamacında yerləşir və 500-2500m yüksəklik intervalında mürəkkəb dağ relyefinə malikdir. Rayonda əsasən dağ-meşə qəhvəyi və çimli-dağ torpaqları mövcuddur.

İqlim xüsusiyyətləri :

Orta illik temperatur: 8-10˚C

İllik yağıntı: 700-1200 mm

Radial artımın dalğavari xarakteri Şəki rayonunun hidrotermik dəyişkənliyi ilə izah olunur. Qısamüddətli azalmalar quraqlıq və temperatur stressi ilə əlaqələndirilir. Carpinus növü stressdən sonra artımını bərpa edir ki, bu da onun yüksək ekoloji plastiklik göstəricisidir. Bu nəticələr regionda Carpinus növünün iqlim dəyişmələrinə həssas bioindikator olduğunu təsdiq edir.



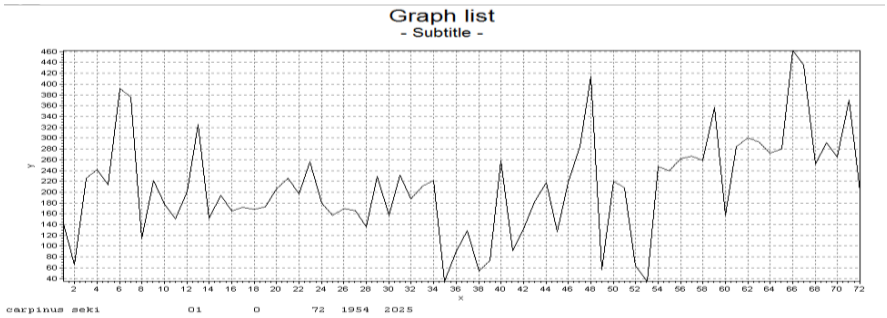
Şək. 1. Laboratoriya şəraitində nümunənin dendroxronoloji təhlili

Tədqiqatlar zamanı dendroxronoloji metodikalara uyğun olaraq araşdırmalar aparılmış, Suunto burğusu vasitəsi ilə şaquli sahəyə perpendikulyar olaraq Carpinus (gövdə diametri 107 sm) növündən götürülmüş nümunələr tam hazır olduqdan sonra ağac gövdələrindəki halqalar əsasında keçmiş dövrdə təbiətdə baş vermiş qlobal dəyişikliklər haqqında məlumat almaq üçün LİNTAB6 dendroxronoloji avadanlıqlardan və TSAPwin proqramından istifadə edilmiş, mikroskopla halqalar təyin olunmuş, ölçülmüş, illik halqaların təhlilləri proqramlara köçürülmüşdür. Nümunələrin üzərində növün adı, götürülmə tarixi konteynerdə qeyd edilmiş. Binokulyar mikroskopla alınmış illik halqaların eni ölçü şkalasına uyğun olaraq, LİNTAB6 qurğusu ilə 0,01 mm dəqiqliklə ölçülmüşdür. Növlərin yaşı, iqlim amillərindən asılı olaraq inkişaf dinamikası müəyyənləşdirilmişdir. [3]

İllər üzrə nisbi və mütləq göstəricilərin qrafikləri



Qrafik 1



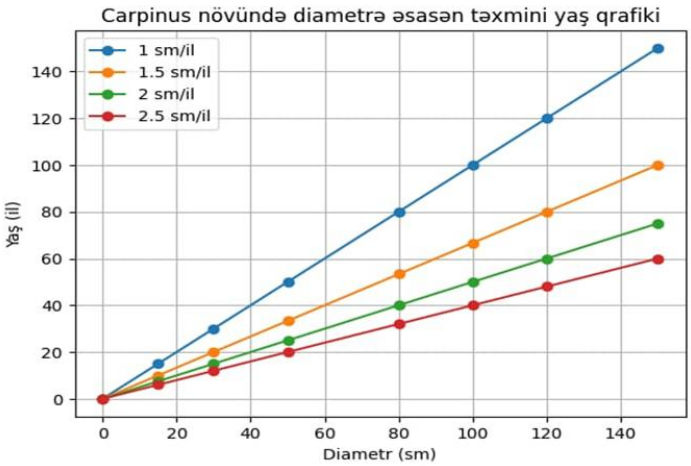
Qrafik 2

1954-2025 illəri üzrə radial artım 50-450 vahid intervalında dəyişmişdir.

1950-ci illərin sonu, 1989-1991 və 2002-2004-cü illərdə növdə illər üzrə inkişaf dinamikası zəifləmişdir. Bu illərdə quraqlıq və rütubət çatışmazlığı, temperatur (şaxta və ya istilik), torpaq rütubətinin azalması, antropogen təsirlərin artması, ziyanverici və xəstəlik kimi stress faktorları güclənib. Bu proses halqalar arasındakı məsafədəndə aydın görünmüşdür.

1960-cı illərin əvvəli, 1998-2000, 2018-2021-ci illərdə qrafikdən göründüyü kimi növdə ağacın optimal şəraitdə böyüdüyünü göstərir yəni həmin illərdə yağıntı çox, temperatur stabilliyi, rütubət səviyyəsi yüksək,

stress faktorları (quruluq, şaxta, ziyanverici) az olub. Statistik və vizual analiz qrafiktən alınan piklər, enişlər və dinamik dəyişmələr əsasında aparılmışdır.



Qrafik 3

Bu qrafikdə Carpinus növündə diametr ilə yaş arasındakı əlaqə müxtəlif böyümə sürətlərinə əsasən təqdim edilmişdir. Nəticələr göstərir ki, eyni diametrə malik ağacların yaşı onların illik artım tempindən asılı olaraq dəyişir. Yavaş böyüyən ağaclarda yaş daha yüksək, sürətli böyüyənlərdə isə daha aşağı olur. Ümumilikdə, diametr artdıqca yaşın da mütənasib şəkildə yüksəldiyi müşahidə edilir. Bu yanaşma sahə şəraitində ağacların yaşının təxmini qiymətləndirilməsi üçün əlverişlidir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Tree Rings and Climate Fritts, H.C. (1976). Tree Rings and Climate. Academic Press.
2. Methods of Dendrochronology Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (1990).
3. Methods of Həsənov, H. (2015). Azərbaycanın meşə ekosistemləri və onların ekoloji xüsusiyyətləri. Bakı.
4. Principles, Methods and Application of Dendrochronology . T.S.Mammadov, Shamsaddin Balapour İran 2014 , 353s

AZƏRBAYCANDA TULLANTILARIN İDARƏ OLUNMASI STRATEGİYASINDA YANDIRMA TEXNOLOGİYALARININ YERİ

Rəvan Alişov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xirdalan, Azərbaycan
alisovrevan4121@gmail.com

Xülasə: Müasir dövrdə tullantıların idarə olunması qlobal ekoloji problemlərdən biri hesab olunur. Sürətli sənayeləşmə, urbanizasiya və istehlakın artması tullantıların həcminin çoxalmasına və ətraf mühitin çirklənməsinə səbəb olmuşdur. Tullantıların düzgün idarə olunmaması torpaq, su və atmosferin çirklənməsi ilə nəticələnir və bu məsələ ekoloji tədqiqatların əsas istiqamətlərindən birini təşkil edir.

Bu problemlərin həlli üçün tullantıların emalı və zərərsizləşdirilməsi sahəsində müasir texnologiyaların tətbiqi vacibdir. Son illərdə tullantıların yandırılması texnologiyaları inkişaf etmiş, nəticədə tullantıların həcmini azaltmaqla yanaşı onların enerji potensialından istifadə etmək imkanı yaranmışdır. Bu proseslər vasitəsilə elektrik və istilik enerjisi əldə olunur..

Yandırma texnologiyalarının tətbiqi tullantıların idarə olunmasını daha sistemli şəkildə həyata keçirilir, sanitar-ekoloji vəziyyəti yaxşılaşdırır və enerji resurslarından istifadənin effektivliyini artırır. Bu baxımdan yandırma texnologiyaları tullantıların idarə olunması sistemində mühüm yer tutur və strateji əhəmiyyətə malikdir. Xüsusilə Azərbaycan kimi inkişaf etməkdə olan ölkələrdə bu texnologiyalar ekoloji problemlərin azaldılması və davamlı inkişafın təmin olunması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Açar sözlər: Tullantı, Yandırma texnologiyaları, Tullantıların idarə olunması, Tullantıdan enerjiyə

I. GİRİŞ

Abşeron regionundakı mövcud ekoloji problemlərin planlı sürətdə həll edilməsi məqsədilə Azərbaycan Respublikasının Prezidenti tərəfindən 28 sentyabr 2006-cı il tarixində "Azərbaycan Respublikasında ekoloji vəziyyətin yaxşılaşdırılmasına dair 2006-2010-cu illər üçün Kompleks Tədbirlər Planı" təsdiq olunmuşdur. Bakı və Abşeron yarımadasının ekoloji durumunun sağlamlaşdırılmasına xidmət edən Tədbirlər Planınında tullantıların düzgün idarə edilməsi daxil olmaqla ətraf mühitin mövcud vəziyyətinin yaxşılaşdırılmasına yönəldilmiş bütün əsas fəaliyyət istiqamətləri öz əksini tapmışdır. Bu prosesin davamı olaraq Azərbaycan Respublikası Prezidenti cənab İlham Əliyevin "Bakı şəhərində məişət tullantıları ilə bağlı idarəetmənin təkmilləşdirilməsi haqqında" 6 avqust 2008-ci il tarixli Sərəncamı ilə "Təmiz Şəhər" Açıq Səhmdar Cəmiyyəti təsis edilmişdir. [8].

Bakı bərk məişət tullantılarının yandırılması zavodu- Bakı Bərk Məişət Tullantılarının Yandırılması Zavodu Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2006-cı il 28 sentyabr tarixli Sərəncamı ilə təsdiq edilmiş "Azərbaycan Respublikasında ekoloji vəziyyətin yaxşılaşdırılmasına dair 2006-2010- cu illər üçün Kompleks Tədbirlər Planı" çərçivəsində inşa olunmuşdur. Zavodun inşası ilə bağlı keçirilmiş tenderin qalibi olan Fransanın CNİM şirkəti tərəfindən layihələndirmə və "açar-təhvili" prinsipi əsasında tikinti işlərinə başlanılmışdır. Şəkil 1-də Bakı Bərk Məişət Tullantılarının Yandırılması Zavodu göstərilmişdir.



Şək. 1. Bakı Bərk Məişət Tullantılarının Yandırılması Zavodu

Azərbaycan Republikasının Prezidenti cənab İlham Əliyev 2009-cu il 3 noyabr tarixində zavodun təməlini qoymuş, 2012-ci il 19 dekabr tarixində isə açılışını etmişdir. Balaxanı qəsəbəsində ayrılmış 20 hektar ərazidə inşa olunan və illik gücü 500 min ton məişət tullantısı, o cümlədən 10 min ton tibbi tullantı təşkil edən zavodun idarəetməsi hazırda Fransanın PAPREC Enerji Azərbaycan şirkəti tərəfindən həyata keçirilir.

Dördüncü nəsil (4G) texnologiyalarının tətbiqi ilə qurulan zavod istehsal gücünə görə şərqi Avropada və MDB məkanında bu tipli ən iri zavod hesab olunur və Avropa Birliyinin ətraf mühitin mühafizəsi sahəsində ən sərt normativlərinə tam cavab verir. Yanma prosesindən sonra əmələ gələn daha ağır və nisbətən zərərsiz dib külü yol inşaatında tikinti materialı kimi istifadə oluna bilər. Yanma məhsulu olan tüstü külü isə xüsusi filtrlər vasitəsilə tutulur və bununla da ətraf mühitin çirklənməsinin qarşısı alınır. Bundan əlavə, tullantıların yandırılması zamanı texnoloji avadanlıqların soyudulması üçün istifadə edilən su da müvafiq qaydada təmizləndikdən sonra axıdılır. Zavodda tullantı emissiyalarının monitorinqi gündəlik əsasda aparılır və daimi nəzarət altında saxlanılır. [8]. Şəkil 2-də Bakı bərk məişət tullantılarının yandırılması zavodunun avtomatik idarə edilmə sistemi göstərilmişdir.



Şək. 2. Bakı bərk məişət tullantılarının yandırılması zavodunun avtomatik idarə edilmə sistemi

II. Tullantılardan enerjİyə

Texnoloji və Statistik Yanaşma. Azərbaycanın tullantıların idarə olunması strategiyasında ən mühüm texnoloji keçid tullantıların sadəcə utilizasiyası deyil, onlardan alternativ enerji mənbəyi kimi istifadə edilməsidir. Bakı Bərk Məişət Tullantılarının Yandırılması Zavodu (BBMTYZ) regionun ən böyük enerji bərpası mərkəzi olaraq, ən müasir dördüncü nəsil texnologiyalarla təchiz edilmişdir. Müəssisə illik 500 min ton tullantını termik emal etmək gücünə malikdir. Proses zamanı yaranan istilik enerjisi yüksək təzyiqli buxar turbinləri vasitəsilə illik orta hesabla 231,5 milyon kVt/saat elektrik enerjisinə çevrilir. Bu enerji həcmi 100 mindən çox mənzilin və ya təxminən 400.000 sakinin illik elektrik ehtiyacını tam qarşılayacaq səviyyədədir. Bu, Bakı şəhər təsərrüfatında tullantıların "itki" deyil, dayanıqlı "resurs" kimi idarə olunmasının əsas göstəricisidir. [2].

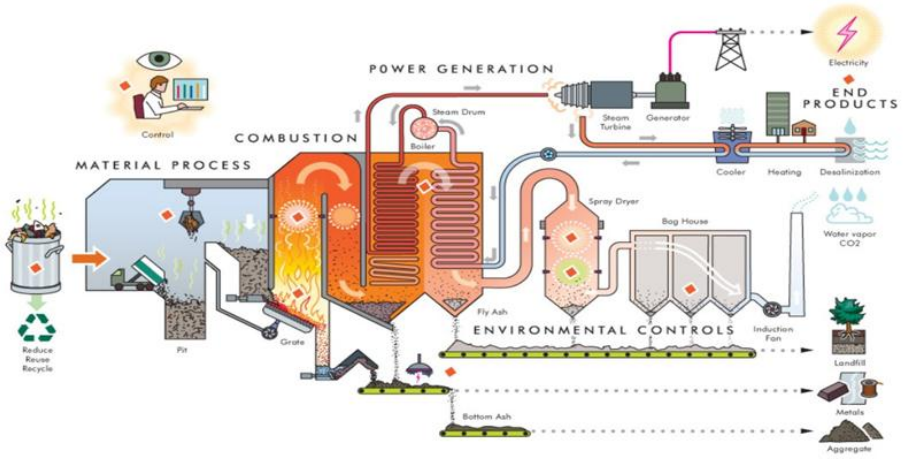
Strateji və İqtisadi Yanaşma. Bərk məişət tullantılarından enerji əldə edilməsi ölkənin ümumi enerji təhlükəsizliyi və karbonsuzlaşma siyasətinin ayrılmaz tərkib hissəsi kimi təsbit olunub. "Tullantıdan Enerji" (Waste-to-Energy) modeli ənənəvi enerji resurslarına, xüsusilə elektrik stansiyalarında istifadə olunan təbii qaza olan tələbatı əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Tullantıların yandırılması prosesindən əldə olunan elektrik hasilatı hər il milyonlarla kubmetr təbii qaza qənaət etməyə və həmin resursun ixrac potensialını qorumağa imkan verir. Strategiya həmçinin yandırmadan sonra qalan şlakın (təxminən 20-25%) yol inşasında və tikintidə istifadəsini nəzərdə tutur ki, bu da dairəvi iqtisadiyyat prinsiplərinə tam uyğundur. [3]. Bununla yanaşı, yandırma texnologiyalarının tətbiqində müəyyən çətinliklər mövcuddur. Tullantıların yüksək rütubətliyi və aşağı kalorifik dəyəri enerji istehsalının səmərəliliyini azalda bilər.

Bundan əlavə, yüksək investisiya və istismar xərcləri, eləcə də texniki idarəetmə tələbləri bu texnologiyaların tətbiqini çətinləşdirən amillər sırasındadır.

Bu səbəbdən tullantıların mənbəyində çeşidlənməsi və düzgün idarə olunması WtE sistemlərinin effektivliyi üçün əsas şərtlərdən biridir.

Ekoloji Təhlükəsizlik və İqlim Öhdəlikləri. Tullantıdan enerjinin alınması həm də Azərbaycanın qlobal iqlim dəyişikliyi ilə mübarizə və "yaşıl enerji" öhdəliklərinə xidmət edir. Bu texnologiya tullantıların poliqonlarda çürüyərək atmosferə metan qazı buraxmasının (hansı ki, istixana effekti yaratma gücü karbon dioksiddən 25 dəfə çoxdur) qarşısını alır və həmin potensialı faydalı elektrik enerjisinə çevirir. Tətbiq olunan 850-1100°C arası yüksək temperatur rejimi və beşpilləli filtrasiya sistemi toksik maddələrin tam parçalanmasını təmin edərək, emissiyaları Avropa İttifaqının (EU 2000/76/EC) ən sərt standartları səviyyəsində saxlayır. Bu, Bakı və Abşeron yarımadasında torpaqların zibillənməsinin qarşısını almaqla yanaşı, təmiz enerji istehsalı vasitəsilə ekoloji risklərin idarə olunmasında müasir bir model formalaşdırır. [1].

Şəkil 3-də Tullantıdan enerji alınma prosesi sxematik olaraq təsvir edilmişdir.



Şək. 3. Tullantıdan enerji alınma prosesi.

III. Nəticə

Aparılan təhlillər göstərir ki, tullantıların yandırılması texnologiyaları müasir tullantıların idarə olunması sistemlərinin ayrılmaz hissəsinə çevrilmişdir. Bu texnologiyalar vasitəsilə bərk məişət tullantılarının həcmi əhəmiyyətli dərəcədə azaldılır, eyni zamanda onların enerji potensialından istifadə edilərək elektrik və istilik enerjisi əldə olunur.

Yandırma texnologiyalarının tətbiqi tullantıların zərərsizləşdirilməsi, sanitar vəziyyətin yaxşılaşdırılması, torpaq sahələrinin qənaətli istifadəsi və enerji istehsalının artırılması kimi sahələrdə mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu yanaşma həm ekoloji risklərin azaldılmasına, həm də resurslardan səmərəli istifadəyə şərait yaradır.

Xüsusilə Azərbaycan kimi inkişaf etməkdə olan ölkələrdə və Bakı kimi iri sənaye mərkəzlərində yandırma texnologiyalarının tətbiqi tullantılarının idarə olunmasının optimallaşdırılması, ekoloji vəziyyətin yaxşılaşdırılması və enerji təhlükəsizliyinin gücləndirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Beləliklə, tullantıların idarə olunması strategiyasında yandırma texnologiyalarının tətbiqi ətraf mühitin qorunması, enerji istehsalının artırılması və davamlı inkişafın təmin olunması baxımından mühüm elmi və praktiki əhəmiyyətə malikdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Municipal Solid Waste Management in Azerbaijan – Sevil Hajiyeva, 2009.
2. "Tullantıların idarə olunması" – Rauf Amanşov , 2012.
3. Bərk məişət tullantılarının idarə olunması: Müasir vəziyyət və beynəlxalq təcrübə" – İslam Mustafayev, 2015.
4. Waste Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications" – Information Resources Management Association, 2019.
5. Azərbaycan Respublikasında bərk məişət tullantılarının idarə edilməsinin təkmilləşdirilməsinə dair 2018–2022-ci illər üçün Milli Strategiya.
6. https://documents1.worldbank.org/curated/en/873271633364626952/pdf/Azerbaijan-ARP-II-Integrated-Solid-Waste-Management-Project.pdf
7. https://centralbaltic.eu/wp-content/uploads/2023/05/Waste-recycling-in-Azerbaijan_2023.pdf
8. https://tamizshahar.az/az/layiheler/2

XƏZƏR DƏNİZİNDƏ EKOLOJİ PROBLEMLƏR VƏ SUYUN GERİ ÇƏKİLMƏSİ

Tural Hüseynzadə
Beynəlxalq Münasibətlər və Regionşünaslıq
Bakı Slavyan Universiteti
Bakı, Azərbaycan
turalcomerdoglu@gmail.com

Abstract: The Caspian Sea is the largest enclosed body of water on Earth and represents not only a geographical feature but also an important ecological, economic, and social system. For thousands of years, this sea has played a crucial role in the lives of the peoples of the region, serving as a primary resource for economic activities such as fishing, transportation, and energy production. The Caspian Sea is also known for its rich biodiversity and serves as a habitat for many rare and endemic species.

The Caspian Sea is bordered by Azerbaijan, Russia, Kazakhstan, Turkmenistan, and Iran. For these countries, the Caspian Sea is not only a natural resource but also a strategically important region. The presence of rich oil and gas reserves further increases its economic significance.

However, in recent decades, serious environmental problems have begun to emerge in the Caspian Sea. These problems are mainly related to the expansion of human activities, industrialization, excessive exploitation of natural resources, and climate change. In particular, global warming has led to rising temperatures and changes in precipitation patterns, which significantly affect the water balance of the sea.

One of the most critical issues facing the Caspian Sea today is the gradual decline in its water level. This process, commonly referred to as the "retreat of the sea," is influenced by both natural and anthropogenic factors. The decrease in water level leads to the drying of coastal areas, destruction of ecosystems, and a decline in economic activities.

In addition, the Caspian Sea has long been exposed to pollution caused by oil and gas extraction, industrial waste, and domestic sewage. This pollution degrades water quality, negatively impacts marine life, and contributes to the loss of biodiversity. In particular, the decline of rare and economically valuable fish species is a clear indicator of ecological imbalance.

It should be noted that these changes in the Caspian Sea are not only environmental issues but also complex problems with significant social and economic consequences. The decline in fishing, reduction in tourism, and deterioration of living conditions for coastal populations are just some of the outcomes of these challenges.

In this context, studying the environmental condition of the Caspian Sea and ensuring its protection has become highly relevant and essential. The main objective of this paper is to examine the environmental problems of the Caspian Sea, especially the issue of water level decline, analyze their causes and consequences, and identify possible solutions.

Key words: *Azerbaijan, Caspian Sea, ecological problems.*

Xülasə: Xəzər dənizi Yer kürəsinin ən böyük qapalı su hövzəsi olmaqla yalnız coğrafi obyekt deyil, həm də mühüm ekoloji, iqtisadi və sosial sistemdir. Bu dəniz min illər boyu region xalqlarının həyatında mühüm rol oynamış, onların iqtisadi fəaliyyətinin, xüsusilə balıqçılıq, nəqliyyat və enerji sahələrinin inkişafında əsas resurs mənbəyi olmuşdur. Xəzər dənizi həm də zəngin bioloji müxtəlifliyi ilə seçilir və bir çox nadir canlı növlərinin yaşayış mühitidir.

Xəzər dənizi sahillərini Azərbaycan, Rusiya, Qazaxıstan, Türkmənistan və İran ilə bölüşür. Bu ölkələr üçün Xəzər dənizi yalnız təbii sərvət deyil, həm də strateji əhəmiyyət daşıyan mühüm regiondur. Dənizdə yerləşən zəngin neft və qaz yataqları onun iqtisadi əhəmiyyətini daha da artırır.

Lakin son onilliklərdə Xəzər dənizində ciddi ekoloji problemlər müşahidə olunmağa başlamışdır. Bu problemlər əsasən insan fəaliyyətinin genişlənməsi, sənayeləşmə, təbii resurslardan həddindən artıq istifadə və iqlim dəyişiklikləri ilə bağlıdır. Xüsusilə qlobal istiləşmə nəticəsində temperaturun artması və yağıntı rejiminin dəyişməsi dənizin su balansına ciddi təsir göstərir.

Müasir dövrdə Xəzər dənizinin qarşılaşdığı ən mühüm problemlərdən biri onun su səviyyəsinin getdikcə azalmasıdır. Bu proses "dənizin geri çəkilməsi" kimi xarakterizə olunur və həm təbii, həm də antropogen amillərlə bağlıdır. Dəniz səviyyəsinin azalması sahil zonalarının qurumasına, ekosistemlərin məhv olmasına və iqtisadi fəaliyyətin zəifləməsinə səbəb olur.

Bundan əlavə, Xəzər dənizi uzun illərdir ki, neft və qaz hasilatı, sənaye tullantıları və məişət çirklənməsi nəticəsində ciddi şəkildə çirklənir. Bu çirklənmə suyun keyfiyyətini aşağı salır, canlı aləminə mənfi təsir göstərir və bioloji müxtəlifliyin azalmasına gətirib çıxarır. Xüsusilə nadir və qiymətli balıq növlərinin azalması ekoloji tarazlığın pozulduğunu göstərir.
Qeyd etmək lazımdır ki, Xəzər dənizində baş verən bu dəyişikliklər yalnız ekoloji problem deyil, eyni zamanda sosial və iqtisadi nəticələr doğuran kompleks bir məsələdir. Balıqçılığın zəifləməsi, turizmin azalması, sahil ərazilərində yaşayan əhalinin yaşayış şəraitinin pisləşməsi bu problemlərin nəticələrindən yalnız bir neçəsidir.
Bu baxımdan Xəzər dənizinin ekoloji vəziyyətinin öyrənilməsi və onun qorunması məsələsi olduqca aktual və vacibdir. Bu referatın əsas məqsədi Xəzər dənizində mövcud olan ekoloji problemləri, xüsusilə suyun geri çəkilməsi məsələsini araşdırmaq, onların səbəblərini və nəticələrini təhlil etmək, həmçinin bu problemlərin həlli yollarını müəyyənləşdirməkdir.

Açar sözlər: *Azərbaycan, Xəzər dənizi, ekoloji problemlər.*

I. GİRİŞ

Xəzər dənizi qədim Tetis okeanı qalıqlarından biridir. Geoloji dəyişikliklər nəticəsində okeanın bir hissəsi ayrılaraq qapalı su hövzəsinə çevrilmişdir.Bu dənizin ən mühüm xüsusiyyəti onun okeanlarla birbaşa əlaqəsinin olmamasıdır. Bu səbəbdən su balansı aşağıdakı amillərlə tənzimlənir:

- Çayların gətirdiyi su
- Atmosfer yağıntıları
- Buxarlanma prosesi

Bu balansın pozulması isə birbaşa dənizin səviyyəsinə təsir edir. Xəzərin əsas su mənbəyi Volqa çayı olub, ümumi su axınının təxminən 80%-ni təmin edir. Bundan əlavə, Kür, Ural və digər çaylar da mühüm rol oynayır.
Tarixi məlumatlar göstərir ki, Xəzər dənizində su səviyyəsi daim dəyişmişdir. Bəzi dövrlərdə dəniz səviyyəsi yüksəlmiş, bəzi dövrlərdə isə aşağı düşmüşdür. Lakin müasir dövrdə müşahidə olunan azalma əvvəlki dövrlərlə müqayisədə daha sürətli və geniş miqyaslıdır.
XX əsrin sonlarından etibarən aparılan ölçmələr göstərir ki, su səviyyəsində davamlı azalma tendensiyası mövcuddur. Bu proses artıq sahil xətlərinin dəyişməsi, yeni quru sahələrin yaranması və bəzi limanların istifadəsiz qalması ilə nəticələnir.
İqlim dəyişiklikləri və onların təsiri
qlobal istiləşmə Xəzər dənizinin səviyyəsinə təsir edən ən mühüm faktorlardan biridir. Temperaturun artması nəticəsində:

- Buxarlanma artır
- Qar və buz ehtiyatları azalır
- Çayların su ehtiyatı azalır

Bu isə nəticədə dənizə daxil olan suyun azalmasına səbəb olur.
Xüsusilə Volqa çayı üzərində tikilmiş su anbarları və elektrik stansiyaları çayın təbii axınını dəyişdirir. Bu dəyişikliklər nəticəsində Xəzərə çatan suyun miqdarı əhəmiyyətli dərəcədə azalır.
Su ehtiyatlarının qeyri-səmərəli istifadəsi, kənd təsərrüfatında suvarma sistemlərinin qeyri-effektiv olması, sənaye sahələrində suyun israfı və düzgün idarə olunmaması ümumi su balansına mənfi təsir göstərir.
Xəzər regionu zəngin karbohidrogen ehtiyatlarına malikdir. Bu səbəbdən burada intensiv neft və qaz hasilatı aparılır. Şirkətlərin fəaliyyəti nəticəsində:

- Neft sızmaları baş verir
- Kimyəvi tullantılar suya qarışır
- Dəniz canlıları zərər görür

Neft plyonkası suyun səthində oksigen mübadiləsini məhdudlaşdırır və bu, canlıların məhvinə səbəb olur.
Müasir dövrdə ən ciddi problemlərdən biri plastik tullantıların artmasıdır. Plastik maddələr suda uzun müddət parçalanmadan qalır və canlılar tərəfindən udulur.
Xəzər dənizi nadir canlı növləri ilə zəngindir. Xüsusilə nərə balığı böyük iqtisadi əhəmiyyət daşıyır. Lakin: Həddindən artıq ov, Çirklənmə, Yaşayış mühitinin dəyişməsi bu növlərin məhv olmasına gətirib çıxarır. Başqa regionlardan gətirilmiş canlılar yerli ekosistemi pozur və yerli növlərin sayının azalmasına səbəb olur.

Ekoloji nəticələrə nəzər salanda, Bataqlıqların yox olması, Quşların miqrasiya yollarının dəyişməsi,Su ekosisteminin pozulmasını göstərə bilərik.
İqtisadi nəticələrə gəldikdə isə; Balıqçılığın zəifləməsi, limanların fəaliyyətinin azalması, turizmin geriləməsini göstərə bilərik.
Xəzər dənizinin gələcəyi: risklər və proqnozlar. Əgər mövcud tendensiya davam edərsə, yaxın onilliklərdə Xəzər dənizinin səviyyəsi daha da aşağı düşə bilər. Bu isə:Yeni səhralaşma zonalarının yaranmasına, ekosistemin dağılmasına, iqtisadi böhrana səbəb ola bilər.
Tədqiqat vaxtı Novxanı ərazisində Xəzər dənizi sahilində aparılan şəxsi müşahidələr zamanı dənizin geri çəkilməsini açıq şəkildə hiss edilir. Əvvəlki illərlə müqayisədə sahil xəttinin əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdiyi, suyun geri çəkilərək əvvəl su altında olan ərazilərin quruduğu aydın görünür. Keçmişdə su ilə örtülü olan bəzi sahələrdə indi qum, daş və quru torpaq sahələri müşahidə olunur.
Xüsusilə yay aylarında bu dəyişiklik daha qabarıq nəzərə çarpır. Sahil boyu gəzdikdə əvvəlki su xətti ilə indiki su səviyyəsi arasında xeyli məsafə yarandığını müşahidə etmək mümkündür. Bu isə dənizin tədricən, lakin davamlı şəkildə geri çəkildiyini göstərir. Bəzi yerlərdə sahil xətti o qədər dəyişmişdir ki, əvvəlki illərdə istifadə olunan istirahət zonaları artıq sudan uzaqlaşmış vəziyyətdə qalmışdır.
Bu müşahidələr təkcə vizual deyil, eyni zamanda elmi məlumatlarla da təsdiqlənir. Son illərdə aparılan tədqiqatlara əsasən, Xəzər dənizinin su səviyyəsi davamlı olaraq azalır. 2026-cı ilə olan qiymətləndirmələrə görə, dənizin səviyyəsi 2000-ci illərin əvvəli ilə müqayisədə təxminən 1,5 – 2 metr aşağı düşmüşdür.
Sahil zonalarında isə bu azalma daha geniş miqyasda özünü göstərir. Xüsusilə dayaz ərazilərdə suyun cəmi bir neçə metr azalması belə sahilin onlarla metr geri çəkilməsinə səbəb olur. Novxanı sahillərində bəzi yerlərdə dənizin təxminən 200-500 metr geri çəkildiyi müşahidə olunur. Bu, sahil relyefindən və dəniz dibinin quruluşundan asılı olaraq dəyişir (Şəkil 1,2,3)





Şək. 1. Şək. 2. Şək. 3.
Xəzər dənizi-nin üzləşdiyi ekoloji problemlərin, xüsusilə su səviyyəsinin azalmasının qarşısının alınması kompleks və uzunmüddətli tədbirlərin həyata keçirilməsini tələb edir. Bu problemlər yalnız bir ölkənin daxilində həll edilə bilməz, çünki Xəzər dənizi bir neçə dövlətin ortaq sərvəti hesab olunur. Bu baxımdan Azərbaycan, Rusiya, Qazaxıstan, Türkmənistan və İran arasında sıx əməkdaşlıq və koordinasiyalı fəaliyyət xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu ölkələr arasında vahid ekoloji siyasətin formalaşdırılması, məlumat mübadiləsinin gücləndirilməsi və birgə monitorinq sistemlərinin yaradılması Xəzərin qorunması istiqamətində mühüm addım ola bilər.
Xəzər dənizinin su balansının qorunmasında əsas rol oynayan amillərdən biri çaylardan daxil olan suyun düzgün idarə olunmasıdır. Xüsusilə Volqa çayı vasitəsilə dənizə daxil olan suyun azalması səviyyənin düşməsinə birbaşa təsir göstərir. Buna görə də çaylar üzərində qurulan hidrotexniki qurğuların fəaliyyəti daha səmərəli şəkildə tənzimlənməli, suyun israfının qarşısı alınmalı və kənd təsərrüfatında suvarma sistemləri müasirləşdirilməlidir. Su ehtiyatlarının rasional istifadəsi Xəzərin səviyyəsinin sabitləşməsində mühüm rol oynaya bilər.
Bununla yanaşı, müasir dövrdə qlobal istiləşmə Xəzər dənizinə ciddi təsir göstərən əsas amillərdən biridir. Temperaturun artması buxarlanmanı sürətləndirir və nəticədə su itkisi baş verir. Bu səbəbdən iqlim dəyişikliklərinə qarşı mübarizə aparmaq, karbon emissiyalarını azaltmaq, alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadəni artırmaq olduqca vacibdir. Yaşıllaşdırma tədbirləri və enerji səmərəliliyinin artırılması da bu prosesin mənfi təsirlərini azaltmağa kömək edə bilər.
Digər mühüm istiqamət isə Xəzər dənizində çirklənmənin qarşısının alınmasıdır. Uzun illər ərzində neft və qaz hasilatı, sənaye tullantıları və məişət çirklənməsi dənizin ekoloji vəziyyətini ciddi şəkildə

pisləşdirmişdir. Bu baxımdan iri sənaye müəssisələrində müasir ekoloji texnologiyaların tətbiqi, tullantıların təmizlənməsi və nəzarət mexanizmlərinin gücləndirilməsi vacibdir. Eyni zamanda plastik tullantıların azaldılması və sahilboyu ərazilərdə təmizləmə sistemlərinin qurulması da mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Xəzər dənizinin bioloji müxtəlifliyinin qorunması da əsas prioritetlərdən biri olmalıdır. Bu məqsədlə nadir və qiymətli növlərin, xüsusilə nərə balığı kimi canlıların mühafizəsi gücləndirilməli, onların ovuna ciddi məhdudiyyətlər qoyulmalı və süni artırma proqramları həyata keçirilməlidir. Ekosistemin qorunması üçün xüsusi qoruq zonalarının yaradılması da vacib addımlardan biridir.

Eyni zamanda sahil zonalarının qorunması və bərpası məsələsi də diqqətdən kənarda qalmamalıdır. Suyun geri çəkilməsi nəticəsində quruyan ərazilərdə eroziya prosesləri güclənir və təbii landşaft dəyişir. Bu səbəbdən sahilboyu ərazilərdə yaşıllıq zolaqlarının salınması, torpaqların bərpası və ekoloji layihələrin həyata keçirilməsi vacibdir.

Bütün bunlarla yanaşı, əhalinin ekoloji maarifləndirilməsi də mühüm rol oynayır. İnsanların təbiətə qarşı məsuliyyətli münasibətinin formalaşdırılması, ekoloji təhsilin inkişaf etdirilməsi və cəmiyyətin bu problemlərə diqqətinin artırılması uzunmüddətli nəticələrin əldə olunmasına kömək edir. Müasir dövrdə elmi tədqiqatların və innovativ texnologiyaların tətbiqi də Xəzər dənizində baş verən dəyişikliklərin daha dəqiq öyrənilməsinə və effektiv həll yollarının tapılmasına imkan yaradır.

Beləliklə, Xəzər dənizinin ekoloji problemlərinin həlli yalnız kompleks yanaşma və davamlı tədbirlər nəticəsində mümkün ola bilər. Əgər qeyd olunan istiqamətlərdə ardıcıl və məqsədyönlü fəaliyyət həyata keçirilərsə, həm suyun geri çəkilməsinin təsirlərini azaltmaq, həm də bu unikal ekosistemi qorumaq mümkündür.

Tədqİqat metodu

Tədqiqat işi zamanı, məntiq, təhlil, sintez və təsviri metodlardan istifadə olunmuşdur. Məqalə işində araşdırılan mövzu əsasən daha çox praktik sahəyə aid olduğundan müvafiq istiqamətdə elmi fəaliyyətin praktiki cəhətdən əsaslandırılması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Tədqiqat zamanı təhlil olunmuş məsələlər elmi dərsliklərdə, elmi məqalə və mühazirələrdə istifadə oluna bilər. Mövzunun yeniliyi, onun Azərbaycan ekologiya elmi üçün araşdırılması və gələcək təsirlərinin hesablanması olduqca əhəmiyyətli edən mövzulardandır.

NətİcƏ

Nəticə etibarilə, Xəzər dənizi-də baş verən ekoloji dəyişikliklər artıq yalnız lokal xarakter daşımır, həm regional, həm də qlobal miqyasda ciddi ekoloji böhran kimi qiymətləndirilir. Su səviyyəsinin davamlı azalması, sahil xəttinin geri çəkilməsi, bioloji müxtəlifliyin zəifləməsi və ekosistemin tarazlığının pozulması bu böhranın əsas göstəriciləridir. Bu proseslər təkcə təbiətə deyil, həm də insanların iqtisadi fəaliyyətinə, yaşayış şəraitinə və regionun ümumi inkişafına ciddi təsir göstərir.

Bu vəziyyətin qarşısının alınması üçün ilk növbədə Xəzəryanı dövlətlərin birgə və koordinasiyalı fəaliyyəti olduqca vacibdir. Azərbaycan, Rusiya, Qazaxıstan, Türkmənistan və İran arasında ekoloji sahədə əməkdaşlığın gücləndirilməsi, vahid monitorinq sistemlərinin yaradılması və məlumat mübadiləsinin genişləndirilməsi bu problemin həllində mühüm rol oynaya bilər. Eyni zamanda hər bir ölkənin öz ərazisində ekoloji nəzarəti gücləndirməsi və sənaye fəaliyyətində beynəlxalq ekoloji standartlara riayət etməsi zəruridir.

Bundan əlavə, elmi əsaslara söykənən uzunmüddətli strategiyaların hazırlanması xüsusi əhəmiyyət daşıyır. İqlim dəyişikliklərinin təsirinin azaldılması, su ehtiyatlarının səmərəli idarə olunması, çay axınlarının qorunması və ekosistemlərin bərpası istiqamətində kompleks proqramlar həyata keçirilməlidir. Xüsusilə qlobal istiləşmə ilə mübarizə çərçivəsində karbon emissiyalarının azaldılması və bərpa olunan enerji mənbələrinə keçid bu prosesin qarşısını almaqda mühüm rol oynaya bilər.

Əgər vaxtında və effektiv tədbirlər görülərsə, Xəzər dənizinin ekoloji tarazlığını tam olmasa da, müəyyən dərəcədə bərpa etmək və onun sabitliyini qorumaq mümkündür. Bu həm də gələcək nəsillərin təbii sərvətlərdən faydalanması üçün vacib şərtdir. Lakin əks halda, yəni lazımi tədbirlər görülmədiyi təqdirdə, bu unikal təbii sistem daha ciddi deqradasiyaya uğraya bilər və nəticədə geri dönməz ekoloji itkilər qaçılmaz.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Azərbaycan Respublikası Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi – Xəzər dənizinin ekoloji vəziyyəti haqqında illik hesabatlar. Bakı, 2022–2025.
2. Xəzər dənizi üzrə beynəlxalq ekoloji monitorinq məlumatları. UNEP (United Nations Environment Programme), 2023.

3. qlobal istiləşmə və onun su hövzələrinə təsiri haqqında elmi məqalələr toplusu. IPCC Report, 2021–2024.
4. Caspian Sea Biodiversity and Environmental Changes. Springer Nature Publishing, 2022.
5. Volqa çayı hövzəsinin hidroloji dəyişiklikləri və Xəzər dənizinə təsiri haqqında tədqiqatlar. Russian Academy of Sciences, 2020–2024.
6. SOCAR Environmental Reports – Offshore oil extraction and marine impact studies. SOCAR, 2021–2025.
7. Caspian Sea Level Fluctuations and Coastal Erosion Studies. Journal of Marine Science, 2023.
8. Novxanı sahil zonasında aparılan müşahidələr və yerli ekoloji dəyişikliklər (şəxsi müşahidə), 2026.

AZƏRBAYCANIN ALTERNATIV ENERJI POTENSIALI VƏ INKIŞAF IMKANLARI

İbrahim Suleymanov
Mühəndislik, Ətraf mühitin mühafizəsi və
təbii ehtiyatlardan səmərəli istifadə olunması
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xirdalan, Azərbaycan
ibrahim.suleymanov@yahoo.com

Xülasə: Bu tədqiqat işi Azərbaycanın alternativ enerji potensialını və onun inkişaf imkanlarını qiymətləndirməyə həsr olunmuşdur. Mövzunun aktuallığı ölkənin enerji təhlükəsizliyinin gücləndirilməsi və davamlı inkişaf məqsədləri ilə bağlıdır. Tədqiqatın məqsədi bərpa olunan enerji mənbələrinin mövcud vəziyyətini təhlil etmək və onların səmərəli istifadəsi yollarını müəyyənləşdirməkdir. İşin elmi yeniliyi alternativ enerji resurslarının kompleks qiymətləndirilməsi və inkişaf perspektivlərinin sistemli şəkildə təqdim olunmasıdır. Praktiki əhəmiyyəti isə əldə olunan nəticələrin enerji siyasətinin formalaşdırılmasında tətbiq imkanları ilə bağlıdır. Tədqiqatın üstünlüyü real məlumatlara əsaslanması və konkret təkliflər verməsidir. Nəticə olaraq, alternativ enerji sahəsinin geniş inkişaf potensialına malik olduğu müəyyən edilmişdir.
Açar sözlər*: alternativ enerji, enerji potensialı, enerji təhlükəsizliyi, günəş enerjisi, külək enerjisi*

AZERBAIJAN'S ALTERNATIVE ENERGY POTENTIAL AND DEVELOPMENT OPPORTUNITIES

Abstract: This research work is dedicated to assessing the alternative energy potential of azerbaijan and its development opportunities. The relevance of the topic is related to the strengthening of the country's energy security and sustainable development goals. The purpose of the research is to analyze the current state of renewable energy sources and determine ways to use them efficiently. The scientific novelty of the work is the comprehensive assessment of alternative energy resources and the systematic presentation of development prospects. The practical significance is related to the application of the obtained results in the formation of energy policy. The advantage of the research is that it is based on real data and provides specific proposals. As a result, it was determined that the alternative energy sector has a wide development potential.
Keywords*: alternative energy, energy potential, energy security, solar energy, wind energy*

GİRİŞ

Müasir dövrdə enerji resurslarından səmərəli istifadə və enerji təhlükəsizliyinin təmin olunması dünya ölkələri üçün prioritet məsələlərdən birinə çevrilmişdir. Ənənəvi enerji mənbələrinin tükənməsi və ekoloji problemlərin artması alternativ enerji mənbələrinə marağı əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır. Bu baxımdan, azərbaycanın alternativ enerji potensialının araşdırılması və dəyərləndirilməsi xüsusi aktuallıq kəsb edir. Azərbaycan zəngin təbii resurslara malik ölkə olmaqla yanaşı, günəş, külək, su və bioenerji kimi bərpa olunan enerji mənbələri baxımından da böyük imkanlara sahibdir. Xüsusilə ölkənin coğrafi mövqeyi və iqlim şəraiti alternativ enerji resurslarının geniş şəkildə istifadə olunmasına əlverişli şərait yaradır. Bu potensialın səmərəli şəkildə reallaşdırılması enerji sektorunun dayanıqlı inkişafını təmin edə bilər (Huseynli B. 2023).

Azərbaycanda alternativ enerji potensialı və onun inkişaf perspektivləri

Son illərdə qlobal iqlim dəyişiklikləri və ətraf mühitin qorunması məsələləri enerji siyasətində yeni yanaşmaların formalaşmasına səbəb olmuşdur. Karbon emissiyalarının azaldılması və "yaşıl enerji"yə keçid beynəlxalq səviyyədə prioritet istiqamət kimi qəbul edilir. Azərbaycan da bu prosesdə aktiv iştirak edərək alternativ enerji sahəsinin inkişafına xüsusi diqqət yetirir. Ölkədə alternativ enerji sahəsində bir sıra dövlət proqramları və strateji sənədlər qəbul edilmiş, müxtəlif layihələr həyata keçirilməyə başlanmışdır. Bununla belə, mövcud potensialdan tam istifadə olunmaması, texnoloji və maliyyə məhdudiyyətləri kimi problemlər bu sahənin daha dərindən tədqiq olunmasını zəruri edir. Bu isə mövzunun aktuallığını daha da artırır. Alternativ enerji mənbələrinin inkişafı yalnız enerji təhlükəsizliyinin təmin olunmasına deyil, həm də iqtisadi diversifikasiyaya, yeni iş yerlərinin yaradılmasına və regionların sosial-iqtisadi inkişafına müsbət təsir göstərir. Bu baxımdan, mövzunun tədqiqi həm iqtisadi, həm də sosial aspektlərdən mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Azərbaycanın alternativ enerji potensialının hərtərəfli araşdırılması və onun inkişaf imkanlarının müəyyənləşdirilməsi həm nəzəri, həm də praktiki baxımdan vacibdir. Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlar ölkənin enerji strategiyasının təkmilləşdirilməsinə və davamlı inkişaf məqsədlərinə nail olunmasına töhfə verə bilər.

Müasir enerji bazarlarında baş verən dəyişikliklər və qlobal çağırışlar fonunda alternativ enerji mənbələrinin inkişafı zəruri istiqamətə çevrilmişdir. Azərbaycan ənənəvi enerji resursları ilə zəngin olsa da, uzunmüddətli perspektivdə enerji təhlükəsizliyinin təmin edilməsi və iqtisadi davamlılığın qorunması üçün alternativ enerji sektorunun inkişafı mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu kontekstdə problemin qoyuluşu alternativ enerji potensialından səmərəli istifadə səviyyəsinin qiymətləndirilməsi ilə bağlıdır. Hazırda ölkədə alternativ enerji sahəsində müəyyən irəliləyişlər müşahidə olunur. Dövlət səviyyəsində qəbul olunmuş strategiyalar, həyata keçirilən layihələr və beynəlxalq əməkdaşlıq təşəbbüsləri bu sahənin inkişafına təkan vermişdir. Günəş və külək enerjisi üzrə potensialın qiymətləndirilməsi istiqamətində mühüm addımlar atılmış, bəzi pilot layihələr uğurla icra edilmişdir.

Alternativ enerji resurslarının regional xüsusiyyətləri və coğrafi paylanması.

Azərbaycanın alternativ enerji resurslarının regional xüsusiyyətləri ölkənin coğrafi mövqeyi, iqlim zonalarının müxtəlifliyi və relyef quruluşu ilə sıx bağlıdır. Respublika ərazisində günəş, külək, su və bioenerji resursları bərabər paylanmamışdır və hər bir regionun özünəməxsus enerji potensialı mövcuddur. Xüsusilə Abşeron yarımadası, Naxçıvan Muxtar Respublikası, Qobustan və Kəlbəcər-Laçın iqtisadi zonaları alternativ enerji baxımından daha yüksək göstəricilərə malikdir. Bu bölgələrdə iqlim və təbii şərait bərpa olunan enerji mənbələrinin səmərəli istifadəsi üçün əlverişli hesab olunur. Günəş enerjisi resursları əsasən ölkənin cənub və qərb bölgələrində daha yüksək intensivliklə müşahidə olunur. Naxçıvan Muxtar Respublikası və Aran iqtisadi rayonu il ərzində günəşli saatların çoxluğu ilə seçilir. Burada illik günəş radiasiyasının yüksək olması günəş panellərinin quraşdırılması və elektrik enerjisi istehsalı üçün böyük potensial yaradır. Eyni zamanda, Abşeron yarımadasında da günəş enerjisindən istifadə imkanları genişdir, çünki bu ərazi həm günəşli günlərin çoxluğu, həm də infrastrukturun inkişaf səviyyəsi ilə fərqlənir.

Külək enerjisi baxımından Abşeron yarımadası və Xəzər dənizi sahil zonaları xüsusilə ön plana çıxır. Bakı, Sumqayıt və ətraf ərazilərdə orta illik külək sürətinin yüksək olması külək elektrik stansiyalarının qurulması üçün əlverişli şərait yaradır. Qobustan bölgəsi də külək enerjisi potensialına görə mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Xəzər dənizinin sahilyanı zonalarında sabit və güclü külək axınları bu regionu alternativ enerji istehsalı üçün strateji əraziyə çevirir. Su enerjisi resursları isə əsasən ölkənin dağlıq bölgələrində cəmlənmişdir. Böyük Qafqaz və Kiçik Qafqaz dağ sistemlərində yerləşən çaylar hidroenerji potensialının əsas mənbəyi hesab olunur. Kür və Araz çayları üzərində yerləşən su elektrik stansiyaları ölkənin enerji sistemində mühüm rol oynayır. Eyni zamanda, kiçik çaylar üzərində mini və mikro SES-lərin qurulması üçün də regional imkanlar mövcuddur.

Bioenerji resursları daha çox kənd təsərrüfatı inkişaf etmiş regionlarda müşahidə olunur. Aran zonası və bəzi dağətəyi ərazilərdə kənd təsərrüfatı tullantılarının çoxluğu bioqaz və biokütlə enerjisi istehsalı üçün potensial yaradır. Bu regionlarda heyvandarlıq və bitkiçilik tullantılarının enerji məqsədilə istifadəsi həm ekoloji problemlərin azaldılmasına, həm də əlavə enerji mənbələrinin yaradılmasına imkan verir. Azərbaycanın alternativ enerji resurslarının coğrafi paylanması göstərir ki, ölkə müxtəlif regionlarda fərqli enerji növləri üzrə yüksək potensiala malikdir. Bu isə enerji istehsalının regional xüsusiyyətlərə uyğun şəkildə planlaşdırılmasını zəruri edir. Nəticə etibarilə, düzgün regional strategiya tətbiq olunarsa, Azərbaycanın alternativ enerji sektorunda daha dayanıqlı və səmərəli inkişaf təmin oluna bilər.

Bərpa olunan enerji sektorunda texnoloji inkişaf və innovasiya tendensiyaları

Bərpa olunan enerji sektorunda texnoloji inkişaf son illərdə qlobal miqyasda sürətlə artaraq enerji sistemlərinin strukturunu əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirmişdir. Günəş, külək, hidro və bioenerji texnologiyalarında baş verən yeniliklər enerji istehsalının daha səmərəli, ekoloji cəhətdən təmiz və iqtisadi baxımdan əlverişli olmasına şərait yaradır. Bu inkişaflar həm dövlətlərin enerji siyasətinə, həm də sənaye və iqtisadiyyatın ümumi transformasiyasına ciddi təsir göstərir. Günəş enerjisi sahəsində ən mühüm innovasiyalardan biri fotovoltaik panellərin səmərəliliyinin artırılmasıdır. Yeni nəsil günəş elementləri daha az sahədə daha çox enerji istehsal etməyə imkan verir. Eyni zamanda, "bifacial" (iki tərəfli) panellər və nazik təbəqəli texnologiyalar günəş şüalarının daha geniş spektrini istifadə etməyə şərait yaradır. Enerji saxlama texnologiyalarının, xüsusilə litium-ion və yeni nəsil batareyaların inkişafı isə günəş enerjisinin fasiləsiz istifadəsini təmin edən əsas amillərdən biridir.

Külək enerjisi sahəsində isə texnoloji innovasiyalar əsasən turbinlərin ölçülərinin böyüməsi, aerodinamik dizaynın təkmilləşdirilməsi və dəniz (offshore) külək stansiyalarının genişlənməsi ilə xarakterizə olunur. Müasir külək turbinaları daha az külək sürətində belə yüksək enerji istehsal edə bilir. Bundan əlavə, süni intellekt və rəqəmsal idarəetmə sistemləri vasitəsilə külək stansiyalarının real vaxtda optimallaşdırılması enerji istehsalının səmərəliliyini artırır. Enerji saxlama və şəbəkə texnologiyaları da bərpa olunan enerji sektorunun inkişafında mühüm rol oynayır. Ağıllı enerji şəbəkələri (smart grids) enerji istehsalı və istehlakı arasında balansı təmin edərək itkiləri minimuma endirir. Rəqəmsal texnologiyalar vasitəsilə enerji axınının idarə olunması, həmçinin "böyük verilənlər" (big data) və süni intellektin tətbiqi enerji sistemlərinin daha çevik və dayanıqlı olmasına imkan yaradır.

Cədvəl 1. Külək enerjisi potensialı üzrə regionlar

Region	Orta külək sürəti (m/s)	Uyğunluq səviyyəsi
Abşeron	6–8	Çox yüksək
Qobustan	5–7	Yüksək
Xəzər sahili	6–9	Çox yüksək
Daxili regionlar	2–4	Aşağı

Mənbə: https://regionplus.az/az/articles/view/5036 məlumatlarına əsasən tərtib edilmidşdir.

Cədvəldə Azərbaycanın müxtəlif regionları üzrə külək enerjisi potensialının fərqli səviyyələrdə olduğu müşahidə edilir. Xüsusilə Abşeron yarımadası və Xəzər sahili zonası 6–9 m/s orta külək sürəti ilə yüksək və çox yüksək potensiallı ərazilər kimi seçilir ki, bu da həmin regionların külək elektrik stansiyalarının yerləşdirilməsi üçün strateji əhəmiyyətini artırır. Qobustan bölgəsi də 5–7 m/s göstəricisi ilə mühüm külək enerjisi resurslarına malikdir və alternativ enerji layihələri üçün əlverişli hesab olunur. Bunun əksinə olaraq, ölkənin daxili regionlarında külək sürətinin 2–4 m/s arasında dəyişməsi bu ərazilərdə külək enerjisindən istifadənin məhdud olduğunu göstərir. Ümumilikdə, nəticələr külək enerjisinin əsasən sahilyanı və açıq relyefli ərazilərdə daha effektiv inkişaf etdiyini təsdiq edir.

Hidrogen enerjisi və "yaşıl hidrogen" texnologiyaları da son illərdə innovasiya tendensiyalarının əsas istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir. Elektroliz texnologiyalarının təkmilləşdirilməsi nəticəsində suyun parçalanması ilə təmiz hidrogen istehsalı daha səmərəli və iqtisadi cəhətdən əlçatan olur. Bu isə gələcəkdə enerji daşınması və sənaye sektorunda karbon emissiyalarının azaldılması üçün mühüm alternativ yaradır.

Rəqəmsallaşma və avtomatlaşdırma bərpa olunan enerji sektorunda ümumi transformasiyanı sürətləndirən əsas amillərdəndir. Sensor texnologiyaları, IoT (əşyaların interneti) və süni intellekt əsaslı monitorinq sistemləri enerji istehsalında nasazlıqların erkən aşkar edilməsinə və texniki xidmətin optimallaşdırılmasına imkan verir. Bu yanaşma həm xərcləri azaldır, həm də sistemlərin etibarlılığını artırır. Bərpa olunan enerji sektorunda texnoloji inkişaf və innovasiya tendensiyaları enerji istehsalının daha dayanıqlı və ağıllı sistemlərə keçidini təmin edir. Günəş və külək texnologiyalarının təkmilləşdirilməsi, enerji saxlama sistemlərinin inkişafı və rəqəmsal idarəetmənin genişlənməsi bu sahənin gələcək inkişafında əsas rol oynayır. Bu tendensiyalar Azərbaycanın da daxil olduğu ölkələr üçün enerji təhlükəsizliyinin gücləndirilməsi və "yaşıl iqtisadiyyat"a keçid baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Enerji siyasəti və normativ-hüquqi tənzimləmələrin alternativ enerji sektoruna təsiri

Enerji siyasəti və normativ-hüquqi tənzimləmələr alternativ enerji sektorunun inkişafında həlledici rol oynayan əsas amillərdən biridir. Dövlət tərəfindən müəyyən edilən strategiyalar, qanunvericilik bazası və stimullaşdırıcı mexanizmlər bərpa olunan enerji mənbələrinin iqtisadi sistemə inteqrasiyasını birbaşa müəyyən edir. Bu baxımdan, enerji siyasəti yalnız texniki deyil, həm də iqtisadi və ekoloji inkişafın

istiqamətini formalaşdıran strateji sahə kimi çıxış edir. Azərbaycan Respublikasında enerji siyasəti əsasən enerji təhlükəsizliyinin təmin edilməsi, ixrac potensialının artırılması və alternativ enerji mənbələrinin inkişaf etdirilməsi istiqamətində formalaşmışdır. Son illərdə qəbul edilən dövlət proqramları və strateji yol xəritələri "yaşıl enerji"nin payının artırılmasını prioritet məqsəd kimi müəyyən etmişdir. Bu siyasət çərçivəsində günəş və külək enerjisi layihələrinin genişləndirilməsi, eləcə də xarici investisiyaların cəlb edilməsi üçün hüquqi baza təkmilləşdirilmişdir.

Normativ-hüquqi tənzimləmələr alternativ enerji sektorunun fəaliyyətini sistemləşdirən əsas mexanizmdir. Qanunvericilik aktları enerji istehsalı, ötürülməsi və satışı prosesində iştirak edən subyektlərin hüquq və vəzifələrini müəyyən edir. Eyni zamanda, bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsini təşviq edən güzəştlər, vergi endirimləri və subsidiyalar kimi alətlər bu sahəyə marağı artırır. Hüquqi çərçivənin sabitliyi investorlar üçün etibarlı mühit yaradan əsas faktorlardan biridir. Dövlət dəstəyi mexanizmləri alternativ enerji sektorunun inkişafında mühüm stimullaşdırıcı rol oynayır. Xüsusilə "yaşıl enerji zonaları"nın yaradılması, dövlət-özəl tərəfdaşlıq modellərinin tətbiqi və beynəlxalq təşkilatlarla əməkdaşlıq bu sahədə irəliləyişləri sürətləndirir. Bu yanaşma həm texnoloji transferi asanlaşdırır, həm də yerli bazarın inkişafına təkan verir.

Normativ-hüquqi bazada mövcud bəzi boşluqlar alternativ enerji sektorunun tam potensialını reallaşdırmasına mane ola bilər. Lisenziyalaşdırma prosedurlarının mürəkkəbliyi, tarif mexanizmlərində qeyri-müəyyənlik və uzunmüddətli investisiya zəmanətlərinin məhdudluğu investorların qərarlarına təsir göstərən əsas amillərdəndir. Bu səbəbdən hüquqi islahatların davam etdirilməsi vacib hesab olunur. Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, effektiv enerji siyasəti və çevik hüquqi tənzimləmələr alternativ enerji sektorunun sürətli inkişafını təmin edir. Avropa ölkələrində tətbiq olunan "feed-in tariff" və "net metering" kimi mexanizmlər bərpa olunan enerji istehsalını stimullaşdıran uğurlu modellər kimi qəbul edilir. Azərbaycanın da bu təcrübələrdən faydalanması sektorun inkişafını daha da sürətləndirə bilər. Enerji siyasəti və normativ-hüquqi tənzimləmələr alternativ enerji sektorunun formalaşması və inkişafında əsas istiqamətverici qüvvədir. Düzgün siyasət və təkmil hüquqi baza həm investisiya mühitini yaxşılaşdırır, həm də ölkənin enerji sisteminin dayanıqlığını artırır. Bu amillər Azərbaycanın "yaşıl enerji" keçidində uğurlu nəticələr əldə etməsi üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Azərbaycanda alternativ enerji sektorunun mövcud problemləri

Mövcud vəziyyət göstərir ki, alternativ enerji resurslarından istifadə səviyyəsi hələ də arzu olunan səviyyədə deyil. Enerji istehsalında ənənəvi mənbələrin üstünlük təşkil etməsi, alternativ enerji infrastrukturunun kifayət qədər inkişaf etməməsi və texnoloji çatışmazlıqlar bu sahədə əsas problemlər kimi çıxış edir. Bu isə potensial imkanlarin tam reallaşdirilmasina mane olur. Digər mühüm problemlərdən biri investisiya mühitinin yetərincə cəlbedici olmamasi və maliyyə resurslarinin məhdudluğudur. Alternativ enerji layihələrinin yüksək ilkin kapital tələb etməsi və geri dönüş müddətinin uzun olmasi investorlarin marağini müəyyən qədər azaldir. Bundan əlavə, bu sahədə ixtisasli kadrlarin çatişmazliği və innovativ texnologiyalarin tətbiqində gerilik də mövcud problemlər sirasindadir. Hüquqi və institusional çərçivənin tam formalaşmamasi da alternativ enerji sektorunun inkişafini məhdudlaşdiran amillərdən biridir. Mövcud normativ-hüquqi baza müəyyən irəliləyişlərə baxmayaraq, bəzi hallarda qeyri-müəyyənliklər yaradir və bazar iştirakçilari üçün əlavə çətinliklər doğurur. Bu isə sektorun daha sürətli inkişafina manea törədir (Mustafayev F. 2022).

Bu tədqiqatın əsas məqsədi azərbaycanın alternativ enerji potensialını kompleks şəkildə qiymətləndirmək, mövcud imkanları təhlil etmək və bu sahənin inkişaf istiqamətlərini müəyyənləşdirməkdir. Eyni zamanda, tədqiqat bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sistemində payının artırılması və onların səmərəli istifadəsi üçün elmi əsaslandırılmış yanaşmaların işlənib hazırlanmasını hədəfləyir.

Qarşıya qoyulan məqsədə nail olmaq üçün bir sıra vəzifələr müəyyən edilmişdir. Bunlara alternativ enerji resurslarının mövcud vəziyyətinin araşdırılması, günəş və külək enerjisi potensialının qiymətləndirilməsi, sahədə mövcud problemlərin və məhdudiyyətlərin müəyyənləşdirilməsi, həmçinin inkişaf perspektivlərinin və tətbiq imkanlarının təhlili daxildir. Bununla yanaşı, beynəlxalq təcrübənin öyrənilməsi və azərbaycanın bu sahədə mövqeyinin müqayisəli şəkildə qiymətləndirilməsi də əsas vəzifələrdən biridir (Hamidova L. 2022).

Tədqiqatın metodoloji yanaşması kompleks və sistemli xarakter daşıyır. İşdə analitik təhlil, müqayisəli təhlil, statistik məlumatların işlənməsi və ümumiləşdirmə metodlarından istifadə olunmuşdur. Bu metodlar vasitəsilə alternativ enerji sahəsində mövcud tendensiyalar və inkişaf dinamikası araşdırılmışdır.

Tədqiqat çərçivəsində normativ-hüquqi sənədlərin təhlili aparılmış, dövlət proqramları və strateji inkişaf planları nəzərdən keçirilmişdir. Bu yanaşma alternativ enerji sektorunun institusional və hüquqi mühitinin qiymətləndirilməsinə imkan vermişdir.

Metodoloji baxımdan həmçinin sistemli yanaşma tətbiq olunmuş, alternativ enerji sektorunun iqtisadi, ekoloji və sosial aspektləri qarşılıqlı əlaqədə öyrənilmişdir. Bu, mövzunun daha geniş və hərtərəfli şəkildə araşdırılmasına şərait yaratmışdır. Tədqiqatın məqsədi, vəzifələri və metodoloji yanaşması bir-biri ilə uzlaşaraq azərbaycanın alternativ enerji potensialının daha dərindən öyrənilməsinə və bu sahədə effektiv inkişaf yollarının müəyyənləşdirilməsinə xidmət edir (Gulaliyev M.G. 2020).

Tədqiqat işi giriş, əsas hissə və nəticədən ibarətdir. Giriş hissəsində mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri müəyyənləşdirilmiş, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və metodoloji yanaşma izah edilmişdir. Əsas hissədə alternativ enerji mənbələrinin nəzəri əsasları, onların iqtisadi və ekoloji əhəmiyyəti, eləcə də azərbaycanın bu sahədə mövcud potensialı və həyata keçirilən layihələr təhlil olunmuşdur. Bununla yanaşı, alternativ enerji sektorunda mövcud problemlər, məhdudiyyətlər və inkişaf imkanları geniş şəkildə araşdırılmışdır. Nəticə hissəsində isə aparılmış tədqiqatın yekunları ümumiləşdirilmiş və sahənin inkişafı istiqamətində əsaslandırılmış təkliflər irəli sürülmüşdür.

Tədqİqat metodu

Tədqiqatın aparılması zamanı alternativ enerji potensialının qiymətləndirilməsi üçün analitik təhlil, müqayisəli təhlil və statistik məlumatların emalı metodlarından istifadə edilmişdir. Mövcud elmi ədəbiyyatlar, beynəlxalq hesabatlar və dövlət statistik məlumatları əsasında günəş, külək və digər bərpa olunan enerji mənbələri üzrə göstəricilər toplanmış və sistemləşdirilmişdir. Toplanmış məlumatlar cədvəllər və qrafiklər vasitəsilə ümumiləşdirilmişdir.

Tədqiqat çərçivəsində Azərbaycanın regionları üzrə alternativ enerji resurslarının paylanması təhlil edilmiş, xüsusilə külək və günəş enerjisi potensialı üzrə göstəricilər müqayisə olunmuşdur. Eyni zamanda, enerji istehsalı və istehlakı ilə bağlı mövcud statistik məlumatlar əsasında dinamik dəyişikliklər araşdırılmışdır.

Aparılmış təhlillər nəticəsində alternativ enerji mənbələrinin coğrafi və iqlim faktorlarından asılılığı müəyyən edilmiş, həmçinin bəzi regionlarda yüksək potensialın mövcudluğu aşkar edilmişdir. Eyni zamanda, məlumatların vizual təqdimatı üçün qrafik və cədvəl formalarından istifadə olunmuşdur ki, bu da nəticələrin daha aydın şərh edilməsinə imkan vermişdir.

Nətİcə

Aparılan tədqiqat nəticəsində Azərbaycanın alternativ enerji potensialının yüksək olduğu və xüsusilə günəş və külək enerjisi sahəsində geniş imkanlara malik olduğu müəyyən edilmişdir. Təhlillər göstərir ki, ölkənin coğrafi mövqeyi və iqlim şəraiti bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafı üçün əlverişli şərait yaradır. Bununla yanaşı, mövcud enerji infrastrukturunun əsasən ənənəvi mənbələrə əsaslanması alternativ enerji sektorunun daha geniş inkişafını zəruri edir. Tədqiqat zamanı müəyyən edilmişdir ki, son illərdə bu sahədə bir sıra mühüm layihələr həyata keçirilsə də, potensial imkanların tam reallaşdırılması hələ də təmin olunmamışdır. İnvestisiya mühitinin təkmilləşdirilməsi, texnoloji yeniliklərin tətbiqi və institusional dəstəyin gücləndirilməsi bu sahənin inkişafında mühüm rol oynaya bilər. İşin üstünlüyü ondadır ki, alternativ enerji resursları kompleks şəkildə təhlil edilmiş, mövcud vəziyyət real statistik məlumatlar əsasında qiymətləndirilmişdir. Eyni zamanda, regionlar üzrə potensialın müqayisəli analizi aparılmış və inkişaf istiqamətləri müəyyən edilmişdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Gulaliyev M.G., Mustafayev E.R., Mehdiyeva G.Y. (2020).
2. Assessment of Solar Energy Potential and Its Ecological-Economic Efficiency: Azerbaijan Case. Sustainability, 12(3), 1116.
3. https://doi.org/10.3390/su12031116
4. Hamidova L., Huseynov A., Samedova E. (2022). Challenges in Implementing Renewable Energy Sources in Azerbaijan. International Journal of Energy Economics and Policy, 12(6), 441–446. https://doi.org/10.32479/ijeep.13636
5. Huseynli B. (2023). Renewable Solar Energy Resources Potential and Strategy in Azerbaijan. International Journal of Energy Economics and Policy, 13(1), 31–38. https://doi.org/10.32479/ijeep.13796
6. Mustafayev F., Kulawczuk P., Orobello C. (2022). Renewable Energy Status in Azerbaijan: Solar and Wind Potentials for Future Development. Energies, 15(2), 401. https://doi.org/10.3390/en15020401

YANACAQ-ENERJI KOMPLEKSININ ƏTRAF MÜHITLƏ ƏLAQƏSI NƏTICƏSINDƏ ÇIXAN PROBLEMLƏR

İsmayil Abasov
Mühəndislik, Ətraf mühitin mühafizəsi və təbii ehtiyatlardan səmərəli istifadə olunması
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xırdalan, Azərbaycan
ismayilabasov222@gmail.com

Xülasə: Yanacaq-enerji kompleksinin fəaliyyəti ətraf mühitə ciddi təsirlər göstərərək hava, su və torpaq resurslarının çirklənməsinə, istixana qazlarının artmasına və ekosistemlərin deqradasiyasına səbəb olur. Tədqiqatın məqsədi bu kompleksin ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqəsi nəticəsində yaranan əsas ekoloji problemlərin təhlili və onların azaldılması yollarının müəyyən edilməsidir. İşdə neft və qaz hasilatı, emalı və nəqli mərhələlərində yaranan çirklənmə mənbələri araşdırılmışdır. Nəticələr göstərir ki, müasir texnoloji yanaşmaların tətbiqi və ekoloji idarəetmənin gücləndirilməsi ətraf mühitə mənfi təsirləri azalda bilər. Tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti davamlı enerji inkişafına töhfə verməkdən ibarətdir.

Açar sözlər*: yanacaq-enerji kompleksi, ətraf mühitin çirklənməsi, ekoloji problemlər, davamlı inkişaf, istixana qazları*

PROBLEMS ARİSİNG FROM THE RELATİONSHİP BETWEEN THE FUEL AND ENERGY COMPLEX AND THE ENVİRONMENT

Abstract: The activities of the fuel and energy complex have a serious impact on the environment, causing pollution of air, water and soil resources, an increase in greenhouse gases and degradation of ecosystems. The purpose of the study is to analyze the main environmental problems arising from the interaction of this complex with the environment and to identify ways to reduce them. The work examines the sources of pollution arising at the stages of oil and gas production, processing and transportation. The results show that the application of modern technological approaches and strengthening environmental management can reduce negative impacts on the environment. The practical significance of the study is to contribute to sustainable energy development.
Keywords*: fuel and energy complex, environmental pollution, environmental problems, sustainable development, greenhouse gases*

I. GİRİŞ

Yanacaq-enerji kompleksi müasir iqtisadiyyatın əsas dayaqlarından biri olmaqla yanaşı, ətraf mühitə ən çox təsir göstərən sahələrdən biridir. Neft, qaz və digər enerji resurslarının hasilatı, emalı və daşınması prosesləri hava, su və torpaq çirklənməsinə səbəb olur, eyni zamanda istixana qazlarının artmasına və ekosistemlərin deqradasiyasına gətirib çıxarır. Bu baxımdan mövzunun aktuallığı enerji təhlükəsizliyi ilə ekoloji davamlılıq arasında balansın qorunması zərurəti ilə bağlıdır.

Hazırda bir çox ölkələrdə yanacaq-enerji kompleksinin ekoloji təsirlərinin azaldılması istiqamətində müxtəlif tədbirlər həyata keçirilsə də, problemlər tam həll olunmamış qalır. Xüsusilə köhnə texnologiyaların istifadəsi, ekoloji standartlara tam əməl olunmaması və nəzarət mexanizmlərinin zəifliyi bu sahədə əsas çətinliklər kimi çıxış edir. Bu səbəbdən mövcud vəziyyətin elmi şəkildə təhlili və yeni yanaşmaların işlənməsi zəruridir (Mukhtarov S., 2023).

Tədqiqatın əsas məqsədi yanacaq-enerji kompleksinin ətraf mühitə təsirlərini araşdırmaq və yaranan ekoloji problemlərin azaldılması üçün mümkün həll yollarını müəyyən etməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün enerji istehsalı proseslərinin mərhələli təhlili aparılmış, çirklənmə mənbələri müəyyən edilmiş və müasir ekoloji idarəetmə yanaşmaları öyrənilmişdir.

Tədqiqat işi giriş, nəzəri hissə, analitik hissə, nəticə və təkliflər olmaqla beş əsas hissədən ibarətdir. Nəzəri hissədə mövzunun elmi əsasları, analitik hissədə isə real vəziyyətin təhlili verilir. Nəticə və təkliflər bölməsində isə əldə olunan nəticələr ümumiləşdirilir və problemlərin həlli üçün praktiki tövsiyələr təqdim olunur.

Tədqİqat metodu

Bu tədqiqat işində yanacaq-enerji kompleksinin ətraf mühitə təsirlərinin araşdırılması üçün sistemli və çoxşaxəli yanaşmadan istifadə edilmişdir. Tədqiqatın metodoloji əsası kimi analiz, sintez, müqayisəli təhlil, statistik məlumatların işlənməsi və sistem yanaşma metodları seçilmişdir. Bu metodlar vasitəsilə enerji istehsalı və emalı proseslərinin ekoloji nəticələri mərhələli şəkildə qiymətləndirilmişdir. Tədqiqat zamanı yerli və beynəlxalq elmi mənbələrdən, statistik hesabatlardan, elmi məqalələrdən və rəsmi enerji-ekologiya məlumat bazalarından istifadə olunmuşdur. Xüsusilə neft və qaz hasilatı, emalı və nəqli zamanı yaranan emissiya göstəriciləri üzrə mövcud məlumatlar toplanmış və təhlil edilmişdir. Aparılmış təhlil çərçivəsində çirklənmə səviyyələrinin dəyişimini göstərən cədvəllər, emissiya dinamikasını əks etdirən qrafiklər və yanacaq-enerji proseslərinin mərhələlərini izah edən blok-sxemlər tərtib edilmişdir. Bu vizual materiallar tədqiqatın daha aydın və strukturlaşdırılmış şəkildə təqdim olunmasına xidmət edir. Tədqiqatın gedişində əldə edilən nəticələr birbaşa şərh edilməmiş, yalnız empirik məlumatlar və faktiki göstəricilər əsasında sistemləşdirilmişdir. Bu yanaşma obyektivliyin təmin olunmasına və nəticələrin daha dəqiq elmi təhlilinə imkan yaratmışdır (Серикова У.С., 2024).

Atmosfer, su və torpaq resurslarının çirklənməsi

Yanacaq-enerji kompleksinin fəaliyyəti nəticəsində ətraf mühitin əsas komponentləri olan atmosfer, su və torpaq resursları ciddi şəkildə çirklənməyə məruz qalır. Xüsusilə neft və qazın hasilatı, emalı və daşınması prosesləri zamanı yaranan tullantılar ekoloji balansın pozulmasına səbəb olur. Bu proseslər həm yerli, həm də regional miqyasda ətraf mühitin keyfiyyətini aşağı salır. Atmosfer çirklənməsi əsasən karbon qazı, metan, kükürd dioksidi və digər zərərli qazların atmosferə atılması ilə bağlıdır. Bu emissiyalar həm istixana effekti yaradır, həm də insan sağlamlığı üçün təhlükəli olan tənəffüs xəstəliklərinin artmasına səbəb olur. Enerji istehsalı müəssisələrində istifadə olunan köhnə texnologiyalar bu problemin daha da dərinləşməsinə gətirib çıxarır (Yusuf A. M., 2020).

Su resurslarının çirklənməsi isə daha çox neft sızmaları, sənaye tullantılarının su hövzələrinə axıdılması və kimyəvi maddələrin düzgün utilizasiya olunmaması ilə əlaqədardır. Nəticədə çaylar, göllər və yeraltı suların keyfiyyəti pisləşir, bu da həm ekosistemlərə, həm də içməli su ehtiyatlarına ciddi zərər vurur. Torpaq çirklənməsi isə əsasən neft məhsullarının sızması və sənaye tullantılarının düzgün idarə olunmaması nəticəsində baş verir. Çirklənmiş torpaqların münbitliyi azalır, kənd təsərrüfatı məhsuldarlığı aşağı düşür və uzunmüddətli ekoloji problemlər yaranır. Bu amillər yanacaq-enerji kompleksinin ətraf mühitə təsirinin nə qədər geniş və kompleks olduğunu göstərir.

İstixana qazlarının artması və ekosistemlərin pozulması

Yanacaq-enerji kompleksinin intensiv fəaliyyəti nəticəsində atmosferə böyük həcmdə istixana qazları, xüsusilə karbon dioksid, metan və azot oksidləri atılır. Bu qazların artması atmosferdə istiliyi saxlayaraq istixana effektini gücləndirir və qlobal iqlim dəyişikliyinə səbəb olur. Nəticədə orta temperaturun yüksəlməsi, buzlaqların əriməsi və dəniz səviyyəsinin qalxması kimi ciddi ekoloji proseslər müşahidə edilir. İqlim dəyişikliyi yalnız təbii proseslərə deyil, həm də ekosistemlərin strukturuna birbaşa təsir göstərir. Temperatur və yağıntı rejimlərinin dəyişməsi bir çox bitki və heyvan növünün yaşayış mühitini məhdudlaşdırır və onların miqrasiyasına və ya məhvinə səbəb olur. Bu proses biomüxtəlifliyin azalması ilə nəticələnir. Ekosistemlərdə yaranan balanssızlıq qida zəncirinin pozulmasına gətirib çıxarır. Bir növün azalması və ya yox olması digər növlərə də zəncirvari təsir göstərir və təbii tarazlıq zəifləyir. Xüsusilə su və quru ekosistemlərində bu dəyişikliklər daha kəskin şəkildə özünü göstərir. İstixana qazlarının artması yalnız lokal deyil, qlobal miqyasda ekoloji problemlər yaradır. Bu vəziyyət yanacaq-enerji kompleksində daha təmiz texnologiyaların tətbiqini və alternativ enerji mənbələrinə keçidi zəruri edir (Gurbanov S., 2021).

Yanacaq-enerji kompleksinin ətraf mühitə təsiri yalnız ekoloji deyil, həm də iqtisadi və sosial aspektlərə malik kompleks problemdir. Tədqiqat nəticələri göstərir ki, bu sektor iqtisadi inkişaf üçün vacib olsa da, ekoloji yükü əhəmiyyətli dərəcədə yüksəkdir. Xüsusilə neft və qaz sənayesinin intensiv inkişaf etdiyi regionlarda ekosistemlər daha çox risk altındadır. Müzakirə olunan nəticələr göstərir ki, inkişaf etmiş ölkələrdə ekoloji tənzimləmə mexanizmlərinin güclü olması çirklənmə səviyyəsini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Lakin inkişaf etməkdə olan ölkələrdə, o cümlədən enerji ixrac edən iqtisadiyyatlarda, iqtisadi maraqlar çox vaxt ekoloji prioritetləri üstələyir. "Yaşıl enerji keçidi" konsepsiyası göstərir ki, uzunmüddətli perspektivdə bərpa olunan enerji mənbələrinin payının artırılması həm iqtisadi dayanıqlılığı, həm də ekoloji təhlükəsizliyi təmin edə bilər.

Neft və qaz hasilatı proseslərində müasir, aşağı emissiyalı texnologiyaların tətbiqinin genişləndirilməsi ətraf mühitə mənfi təsirlərin azaldılmasında mühüm əhəmiyyət daşıyır. Köhnəlmiş texnoloji avadanlıqların mərhələli şəkildə yenilənməsi, qaz sızmalarının qarşısının alınması və enerji səmərəliliyinin artırılması atmosferə atılan istixana qazlarının həcmini əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər. Bu yanaşma həm də istehsal proseslərinin daha dayanıqlı və ekoloji təhlükəsiz olmasına şərait yaradır. Sənaye tullantılarının idarə olunması sistemlərinin təkmilləşdirilməsi və beynəlxalq ekoloji standartlara uyğunlaşdırılması ekoloji tarazlığın qorunması baxımından vacibdir. Xüsusilə neft emalı və nəqli zamanı yaranan tullantı sularının və kimyəvi maddələrin düzgün utilizasiyası su hövzələrinin çirklənməsinin qarşısını ala bilər. Effektiv monitorinq sistemlərinin qurulması ekoloji pozuntuların vaxtında aşkar edilməsinə və risklərin minimuma endirilməsinə imkan verir.

Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji balansında payının artırılması uzunmüddətli perspektivdə karbon emissiyalarının azaldılmasına və fosil yanacaqlardan asılılığın zəiflədilməsinə xidmət edir. Günəş və külək enerjisi kimi mənbələrin inkişafı həm ekoloji, həm də iqtisadi baxımdan dayanıqlı enerji sisteminin formalaşmasına şərait yaradır. Bu istiqamət həm də qlobal iqlim dəyişikliklərinə qarşı mübarizədə mühüm strategiya hesab olunur. Ekoloji nəzarət mexanizmlərinin gücləndirilməsi və cərimə sistemlərinin təkmilləşdirilməsi müəssisələrin ətraf mühit qarşısında məsuliyyətini artıran əsas amillərdəndir. Dövlət və özəl sektor arasında əməkdaşlığın genişləndirilməsi, ekoloji auditlərin aparılması və şəffaf hesabatlılıq sisteminin tətbiqi yanacaq-enerji kompleksinin daha səmərəli idarə olunmasına imkan yaradır. Bu tədbirlər ümumilikdə ekoloji risklərin azaldılmasına və davamlı inkişaf prinsiplərinin təmin olunmasına xidmət edir.

Azərbaycan yanacaq-enerji kompleksi baxımından regionda strateji mövqeyə malik ölkələrdən biri hesab olunur və milli iqtisadiyyatın əsas hissəsi uzun illər boyu neft və qaz sektoruna əsaslanmışdır. Bu struktur xüsusilə Abşeron yarımadası və Xəzər dənizi akvatoriyası ətrafında daha intensiv şəkildə formalaşmışdır. Həmin regionlar tarixən neft hasilatının mərkəzi olduğundan, uzunmüddətli sənaye fəaliyyəti nəticəsində ekoloji təzyiq daha yüksək səviyyədə müşahidə olunur. Tarixi neft sənayesi fəaliyyəti nəticəsində Abşeron yarımadasında və ona yaxın ərazilərdə torpaq və su resurslarının çirklənməsi halları geniş yayılmışdır. Bu çirklənmə əsasən neft sızmaları, sənaye tullantılarının düzgün idarə olunmaması və uzun illər ərzində köhnə texnologiyaların istifadəsi ilə bağlıdır. Nəticədə bəzi ərazilərdə torpağın münbitliyi aşağı düşmüş, yeraltı və yerüstü su ehtiyatlarının keyfiyyəti pisləşmişdir. Bu vəziyyət təkcə ekosistemlərin təbii bərpasını çətinləşdirmir, eyni zamanda insan sağlamlığı üçün də potensial risklər yaradır. Son illərdə Azərbaycanın enerji siyasətində mühüm dəyişikliklər müşahidə olunur və "yaşıl enerji" istiqamətinə xüsusi diqqət ayrılır. Dövlət səviyyəsində həyata keçirilən layihələr ölkənin enerji balansında bərpa olunan enerji mənbələrinin payının artırılmasını hədəfləyir. Bu yanaşma həm enerji təhlükəsizliyinin gücləndirilməsinə, həm də ətraf mühitə mənfi təsirlərin azaldılmasına xidmət edir.

Xüsusilə ölkədə külək və günəş enerjisi üzrə mövcud yüksək potensial alternativ enerji sektorunun inkişafı üçün əlverişli şərait yaradır. Bu resursların geniş miqyasda istifadəsi fosil yanacaqlardan asılılığın tədricən azalmasına və karbon emissiyalarının aşağı salınmasına imkan verir. Nəticə etibarilə, bu proses yanacaq-enerji kompleksinin ekoloji təsirlərinin mərhələli şəkildə azaldılmasına və daha dayanıqlı enerji sisteminin formalaşmasına şərait yaradır.

Azərbaycanda CO_2 emissiyalarının son illərdə sabit deyil, dəyişkən dinamikaya malik olduğunu göstərir. 2015–2020-ci illər arasında emissiyalarda azalma müşahidə olunur (37.5 mln tondan 32.1 mln tona qədər). Bu azalma dövrü əsasən qlobal enerji bazarlarında dəyişikliklər, müəyyən sənaye optimallaşdırmaları və pandemiya dövründə iqtisadi aktivliyin zəifləməsi ilə izah edilə bilər. Xüsusilə 2020-ci ildə kəskin eniş qlobal COVID-19 məhdudiyyətləri nəticəsində sənaye istehsalının və nəqliyyat aktivliyinin azalması ilə əlaqələndirilir. Lakin 2020-ci ildən sonrakı dövrdə emissiyalarda yenidən artım tendensiyası müşahidə olunur və 2024-cü ildə göstəricinin 35.2 mln tona yüksəlməsi bunu təsdiqləyir. Bu artım iqtisadi fəallığın bərpası, enerji istehlakının yüksəlməsi və fosil yanacaqlardan asılılığın davam etməsi ilə bağlıdır. Ümumilikdə bu dinamika göstərir ki, Azərbaycanda CO_2 emissiyalarının uzunmüddətli azaldılması üçün struktur dəyişikliklər, enerji səmərəliliyinin artırılması və bərpa olunan enerji mənbələrinin payının genişləndirilməsi hələ də aktual və zəruri məsələ olaraq qalır.

Sektorlar üzrə emissiya payının təhlili göstərir ki, Azərbaycanda istixana qazlarının yaranmasında ən böyük pay neft və qaz sənayesinə məxsusdur. Ümumi emissiyaların təxminən 55–60%-i məhz bu sahənin payına düşür ki, bu da ölkə iqtisadiyyatının enerji resurslarından yüksək asılılığı ilə birbaşa əlaqədardır. Enerji istehsalı (elektrik stansiyaları) ikinci əsas mənbə kimi çıxış edərək ümumi emissiyaların 20–25%-ni təşkil

edir. Sənaye prosesləri və nəqliyyat sektoru isə nisbətən daha az paya malik olsa da, ümumilikdə atmosfer çirklənməsində əhəmiyyətli rol oynayır. Bu göstəricilər göstərir ki, yanacaq-enerji kompleksi ölkədə ekoloji yükün əsas formalaşdırıcısıdır. Xüsusilə enerji istehsalı və neft-qaz emalı proseslərində fosil yanacaqlardan geniş istifadə edilməsi karbon emissiyalarının yüksək səviyyədə qalmasına səbəb olur. Nəticə etibarilə, emissiyaların azaldılması üçün əsas hədəf kimi enerji sektorunun modernləşdirilməsi, alternativ enerji mənbələrinin tətbiqi və sənaye proseslərində enerji səmərəliliyinin artırılması çıxış edir.

Cədvəl 1. Sektorlar üzrə istixana qazı emissiyalarının payı

Sektor	**Emissiya payı (%)**	**Əsas xüsusiyyət**
Neft və qaz sənayesi	55–60%	Ən böyük mənbə
Enerji istehsalı	20–25%	Elektrik stansiyaları
Sənaye prosesləri	10–12%	Zavod və emal sahələri
Nəqliyyat	8–10%	Avtomobil və logistika

Mənbə: stat.gov.az

Metan emissiyaları neft və qaz hasilatı proseslərində ən kritik ekoloji problemlərdən biri hesab olunur. Aparılan qiymətləndirmələr göstərir ki, hasilat zamanı baş verən metan sızmaları illik təxminən 0.8–1.2 mln ton CO_2-ekvivalent təsir yaradır. Metan qazı karbon qazına nisbətən daha güclü istixana effekti yaratdığı üçün onun atmosferə buraxılması iqlim dəyişikliklərinin sürətlənməsində mühüm rol oynayır. Bu vəziyyət xüsusilə köhnə yataqlarda və texnoloji baxımdan zəif infrastrukturda daha çox müşahidə olunur. Qazın yandırılması (flaring) nəticəsində hər il 1–2 milyard kubmetr təbii qazın itirilməsi həm iqtisadi, həm də ekoloji baxımdan ciddi problemdir. Bu proses nəticəsində əlavə karbon və digər zərərli qazlar atmosferə buraxılır ki, bu da Xəzər regionunda ekoloji yükün artmasına səbəb olur. Beləliklə, metan emissiyalarının azaldılması üçün qaz sızmalarının qarşısının alınması, flaring praktikalarının məhdudlaşdırılması və müasir qaz toplama texnologiyalarının tətbiqi vacib hesab olunur.

Cədvəl 2. Metan və flaring göstəriciləri

Göstərici	**Miqdar**	**Ekoloji təsir**
Metan sızmaları	0.8–1.2 mln ton CO_2-ekvivalent	Yüksək istixana effekti
Qaz flaring itkisi	1–2 mlrd m^3/il	Enerji itkisi + çirklənmə

Mənbə: stat.gov.az

Abşeron yarımadasında torpaq çirklənməsi uzun illər davam edən neft sənayesi fəaliyyətinin nəticəsi kimi formalaşmışdır. Statistik məlumatlara əsasən, çirklənmiş torpaq sahələrinin ümumi miqdarı 30.000 hektardan çoxdur. Bu ərazilər əsasən Bakı–Suraxanı–Balaxanı sənaye zonasında cəmlənmişdir ki, burada uzun müddət neft hasilatı və emalı prosesləri intensiv şəkildə aparılmışdır. Nəticədə torpağın kimyəvi tərkibi pozulmuş, neft məhsulları ilə çirklənmə geniş yayılmışdır. Torpaqların bərpası prosesi isə olduqca yavaş gedir və illik orta hesabla cəmi 1–2% sahə reabilitasiya olunur. Bu vəziyyət ekoloji balansın bərpasını ləngidir və kənd təsərrüfatı potensialının azalmasına səbəb olur. Çirklənmiş torpaqların uzunmüddətli təsiri həm ekosistemlərin davamlılığına, həm də regionda yaşayan əhalinin sağlamlıq risklərinə mənfi təsir göstərir. Buna görə də torpaqların rekultivasiyası və müasir təmizləmə texnologiyalarının tətbiqi mühüm prioritet hesab olunur.

Sənaye fəaliyyəti nəticəsində Xəzər dənizinə və digər su hövzələrinə ciddi ekoloji təzyiq yaranır. Hər il sənaye müəssisələrindən dənizə minlərlə ton tullantı axıdılması suyun kimyəvi tərkibini dəyişdirir və ekosistemlərin deqradasiyasına səbəb olur. Bu tullantılar arasında neft məhsulları, ağır metallar və digər zərərli kimyəvi birləşmələr xüsusi yer tutur. Nəticədə suyun keyfiyyəti aşağı düşür və dəniz canlılarının yaşayış mühiti ciddi şəkildə pozulur. Neft sızmaları nəticəsində Abşeron sahil xətti boyunca lokal çirklənmə zonaları formalaşmışdır. Bu zonalar həm bioloji müxtəlifliyi azaldır, həm də sahil ekosistemlərinin özünübərpa qabiliyyətini zəiflədir. Uzunmüddətli perspektivdə bu vəziyyət həm ekoloji, həm də iqtisadi (balıqçılıq və turizm) sahələrə mənfi təsir göstərir. Buna görə də su resurslarının qorunması üçün ciddi monitorinq sistemləri və qabaqlayıcı ekoloji tədbirlər zəruri hesab olunur.

Yanacaq-enerji kompleksinin ətraf mühitə təsiri yalnız emissiyalar və çirklənmə ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda ekosistemlərin uzunmüddətli dayanıqlılığına da ciddi təsir göstərir. Bu sahədə aparılan təhlillər göstərir ki, sənaye fəaliyyəti intensiv olan regionlarda bioloji müxtəliflik daha sürətlə azalır və təbii landşaftların strukturunda dəyişikliklər baş verir. Xüsusilə neft hasilatı zonalarında torpağın deqradasiyası və su balansının pozulması ekoloji sistemlərin zəifləməsinə səbəb olur. Ekoloji problemlərin formalaşmasında texnoloji faktorlarla yanaşı, idarəetmə mexanizmlərinin zəifliyi də mühüm rol oynayır. Bir çox hallarda ekoloji standartların tam tətbiq olunmaması və monitorinq sistemlərinin qeyri-effektivliyi çirklənmə risklərini artırır. Bu isə ekoloji nəzarətin gücləndirilməsi və müasir idarəetmə modellərinin tətbiqini zəruri edir. Digər mühüm məsələ sənaye zonalarında ekoloji risklərin regional qeyri-bərabər paylanmasıdır. Məsələn, Abşeron yarımadası kimi yüksək sənaye konsentrasiyasına malik ərazilərdə çirklənmə səviyyəsi ölkənin digər regionlarına nisbətən daha yüksəkdir. Bu fərqlər regional ekoloji siyasətin diferensial yanaşma əsasında qurulmasını tələb edir. İqlim dəyişiklikləri ilə yanacaq-enerji sektoru arasında qarşılıqlı əlaqə getdikcə daha da güclənir. Emissiyaların artması qlobal istiləşməni sürətləndirir, bu isə öz növbəsində enerji istehlakının (xüsusilə soyutma və istilik sistemlərində) artmasına səbəb olur. Beləliklə, mənfi geri əlaqə dövrü formalaşır və ekoloji təzyiq daha da güclənir.

Mövcud vəziyyət göstərir ki, problemlərin həlli yalnız texnoloji deyil, həm də institusional yanaşma tələb edir. Ekoloji siyasətin gücləndirilməsi, beynəlxalq təcrübənin tətbiqi və "yaşıl iqtisadiyyat" modelinə keçid bu sahədə əsas istiqamətlər kimi çıxış edir. Eyni zamanda ictimai maarifləndirmə və ekoloji məsuliyyətin artırılması da uzunmüddətli həllərin mühüm hissəsidir. Yanacaq-enerji kompleksinin ekoloji təsirlərinin azaldılması sistemli və çoxşaxəli yanaşma tələb edir. Enerji istehsalında innovativ texnologiyaların tətbiqi, alternativ enerji mənbələrinin genişləndirilməsi və ekoloji nəzarət mexanizmlərinin gücləndirilməsi bu problemlərin mərhələli şəkildə həllinə imkan yarada bilər. Bu istiqamətdə atılacaq addımlar həm ekoloji təhlükəsizliyi, həm də davamlı iqtisadi inkişafı təmin edəcəkdir.

III. Nəticə

Aparılmış tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, yanacaq-enerji kompleksinin fəaliyyəti ətraf mühitə ciddi təsir göstərərək hava, su və torpaq resurslarının çirklənməsinə səbəb olur. Xüsusilə neft və qaz hasilatı, emalı və nəqli mərhələlərində yaranan emissiyalar istixana qazlarının artmasına və ekoloji tarazlığın pozulmasına gətirib çıxarır. Tədqiqat göstərir ki, mövcud ekoloji problemlərin əsas səbəbləri köhnəlmiş texnologiyaların istifadəsi, ekoloji standartlara tam əməl olunmaması və nəzarət mexanizmlərinin yetərsizliyidir. Bununla yanaşı, müasir texnologiyaların tətbiqi və alternativ enerji mənbələrindən istifadənin genişləndirilməsi ekoloji risklərin azaldılmasında mühüm rol oynaya bilər. İşin üstünlüyü ondadır ki, yanacaq-enerji kompleksinin ətraf mühitə təsiri mərhələli şəkildə təhlil edilmiş, əsas çirklənmə mənbələri sistemli şəkildə müəyyən edilmişdir. Problemlərin aradan qaldırılması üçün real və praktik yanaşmaların mümkünlüyü vurğulanmışdır. Ümumilikdə, tədqiqatın nəticələri göstərir ki, ekoloji idarəetmənin gücləndirilməsi və davamlı enerji siyasətinin tətbiqi yanacaq-enerji kompleksinin ətraf mühitə mənfi təsirlərini əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Gurbanov S. (2021). Role of Natural Gas Consumption in the Reduction of CO_2 Emissions: Case of Azerbaijan. Energies, 14(22), 7695. https://doi.org/10.3390/en14227695
2. Серикова У.С., Алиев Э.М., Гурянов С.А. Основные направления создания экологически безопасных технологий в нефтегазовой отрасли // Вестник Российского государственного геологоразведочного университета. — 2024. — Т. 66, № 4. — С. 66–79. — URL: https://journals.rcsi.science/0016-7762/article/view/350988
3. Mukhtarov S., Aliyev F., Aliyev J., Ajayi R. Renewable Energy Consumption and Carbon Emissions: Evidence from an Oil-Rich Economy // Sustainability. — 2023. — Т. 15, № 1. — С. 134. — https://doi.org/10.3390/su15010134
4. Yusuf A. M., Abubakar A. B., Mamman S. O. Relationship between greenhouse gas emission, energy consumption, and economic growth: evidence from some selected oil-producing African countries // Environmental Science and Pollution Research. — 2020. — Т. 27. — С. 15815–15823.
5. https://www.stat.gov.az/

İQLİM DƏYİŞİKLİKLƏRİN VEGETASİYAYA TƏSİRİ

Sənubər İsgəndərova
Kimya mühəndilsiyi kafedrası
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xirdalan, Azərbaycan
sisgenderova@std.edu.az

Xülasə: Bu məqalədə iqlim dəyişikliklərinin bitki örtüyünə təsiri multispektral təsvirlər və uzaqdan zondlama metodları əsasında araşdırılır. Tədqiqatda vegetasiya dinamikasının qiymətləndirilməsi üçün Normalized Difference Vegetation Index kimi vegetasiya indekslərindən istifadə olunur. Temperatur artımı, yağıntı rejiminin dəyişməsi və quraqlıq kimi iqlim faktorlarının bitki örtüyünün sıxlığına və sağlamlığına təsiri təhlil edilir.
Multispektral peyk məlumatları əsasında aparılan analizlər vegetasiya örtüyündə zaman üzrə baş verən dəyişiklikləri izləməyə və ekosistemlərdəki deqradasiya proseslərini müəyyən etməyə imkan verir. Məqalədə həmçinin Remote Sensing texnologiyalarının kənd təsərrüfatında davamlı idarəetmə və resursların səmərəli istifadəsində rolu vurğulanır.
Tədqiqat nəticələri göstərir ki, multispektral təsvirlər və vegetasiya indeksləri iqlim dəyişikliklərinin təsirinin operativ və dəqiq qiymətləndirilməsi üçün effektiv vasitədir. Bu yanaşma kənd təsərrüfatında məhsuldarlığın artırılması, torpaq və bitki resurslarının qorunması və uzunmüddətli dayanıqlı inkişafın təmin olunması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.
Açar sözlər: İqlim dəyişiklikləri, multispektral təsvirlər, bitki örtüyü, vegetasiya indeksləri, Normalized Difference Vegetation Index, uzaqdan zondlama, vegetasiya monitorinqi.

GİRİŞ

İqlim dəyişiklikləri müasir dövrdə ekosistemlərin fəaliyyətinə və sabitliyinə təsir göstərən əsas qlobal problemlərdən biridir. Temperaturun artması, yağıntı rejimində baş verən dəyişikliklər və ekstremal hava hadisələrinin tez-tez müşahidə olunması bitki örtüyünün inkişafına və yayılma xüsusiyyətlərinə birbaşa təsir edir. Vegetasiya ekosistemlərin əsas tərkib hissəsi olmaqla həm bioloji müxtəlifliyin qorunmasında, həm də təbii dövranların tənzimlənməsində mühüm rol oynayır.
Vegetasiyanın vəziyyətinin düzgün qiymətləndirilməsi üçün müasir texnologiyalardan geniş istifadə olunur. Xüsusilə uzaqdan zondlama metodları vasitəsilə geniş ərazilərdə bitki örtüyünün monitorinqi aparılır. Multispektral təsvirlər sayəsində vegetasiyanın vəziyyəti müxtəlif spektral məlumatlar əsasında təhlil edilir və onun zaman üzrə dəyişimi izlənilir.
Bitki örtüyünün qiymətləndirilməsində ən çox istifadə olunan göstəricilərdən biri vegetasiya indeksləridir. Bu indekslər vasitəsilə bitkilərin sağlamlıq vəziyyəti, sıxlığı və inkişaf səviyyəsi müəyyən edilir. Vegetasiya indekslərinin zaman üzrə təhlili iqlim dəyişikliklərinin bitki örtüyünə təsirinin daha aydın şəkildə qiymətləndirilməsinə imkan yaradır.
Müasir dövrdə vegetasiyanın öyrənilməsi və iqlim dəyişikliklərinin təsirinin analizində geoinformasiya texnologiyaları da mühüm rol oynayır. Bu texnologiyalar vasitəsilə əldə olunan məlumatlar birləşdirilir, təhlil edilir və məkan üzrə dəyişikliklər vizuallaşdırılır.
Beləliklə, multispektral təsvirlər və uzaqdan zondlama metodları iqlim dəyişikliklərinin vegetasiyaya təsirinin öyrənilməsi və ekosistemlərin monitorinqi üçün effektiv və müasir yanaşma hesab olunur.

İQLİM DƏYİŞİKLİKLƏRİNİN VEGETASİYAYA TƏSİR AMİLLƏRİ

İqlim dəyişiklikləri bitki örtüyünün inkişafına və yayılmasına təsir edən əsas qlobal ekoloji amillərdən biridir. Temperaturun yüksəlməsi, yağıntı rejiminin dəyişməsi və ekstremal hava hadisələrinin artması vegetasiyanın strukturuna və məhsuldarlığına birbaşa təsir göstərir [1]. Bu dəyişikliklər ekosistemlərin tarazlığını pozaraq bitki örtüyünün zəifləməsinə səbəb olur.
Temperatur artımı bitkilərdə su itkisini artırır və fotosintez prosesinin səmərəliliyini azaldır. Bu isə vegetasiya örtüyünün sıxlığının azalmasına və bəzi regionlarda bitki örtüyünün seyrəkləşməsinə gətirib çıxarır [8]. Eyni zamanda istilik dalğaları bitkilərin inkişaf mərhələlərinə mənfi təsir göstərərək məhsuldarlığın azalmasına səbəb olur.
Yağıntı rejimində baş verən dəyişikliklər vegetasiyaya ciddi təsir göstərir. Yağıntının azalması torpaqda su çatışmazlığı yaradır və quraqlıq riskini artırır, bu da bitki inkişafını məhdudlaşdırır [1]. Əksinə, həddindən

artıq yağıntı torpaq eroziyasını gücləndirərək qida maddələrinin yuyulmasına və vegetasiya keyfiyyətinin aşağı düşməsinə səbəb olur.

Quraqlıq və digər ekstremal iqlim hadisələrinin artması vegetasiya dinamikasında qeyri-sabitlik yaradır. Bu hallar xüsusilə kənd təsərrüfatı sahələrində məhsuldarlığın azalmasına və ekosistemlərin zəifləməsinə gətirib çıxarır [9]. Vegetasiyanın bu dəyişikliklərə reaksiyası ətraf mühitin vəziyyətinin əsas göstəricilərindən biri hesab olunur.

Beləliklə, iqlim dəyişiklikləri temperatur, yağıntı və ekstremal hadisələr vasitəsilə vegetasiyaya kompleks şəkildə təsir göstərir və bu təsirlərin öyrənilməsi ekosistemlərin davamlı idarə olunması baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır [1], [8].

VEGETASİYANIN MONİTORİNQİ ÜÇÜN MÜASİR TEXNOLOGİYALAR

Vegetasiyanın monitorinqi iqlim dəyişikliklərinin bitki örtüyünə təsirinin qiymətləndirilməsində əsas elmi istiqamətlərdən biridir. Müasir dövrdə bu proses ənənəvi sahə müşahidələri ilə yanaşı, daha geniş əraziləri əhatə edən texnoloji yanaşmalar vasitəsilə həyata keçirilir. Xüsusilə peyk əsaslı sistemlər vegetasiya vəziyyətinin operativ və dəqiq izlənilməsinə imkan yaradır [2].

Bu sahədə ən geniş istifadə olunan texnologiyalardan biri multispektral uzaqdan zondlama metodudur. Peyk sensorları vasitəsilə Yer səthindən müxtəlif spektral diapazonlarda məlumat toplanır və bu məlumatlar bitki örtüyünün vəziyyətini təhlil etmək üçün istifadə olunur. Bu yanaşma vegetasiyanın sıxlığı, sağlamlığı və inkişaf dinamikasını müəyyən etməyə imkan verir [5].

Vegetasiyanın qiymətləndirilməsində ən çox istifadə olunan göstəricilərdən biri Normalized Difference Vegetation Index-dir. NDVI vasitəsilə bitkilərin fotosintez aktivliyi və biokütlə səviyyəsi müəyyən edilir. Bu indeksin zaman üzrə dəyişimi iqlim dəyişikliklərinin vegetasiyaya təsirini kəmiyyətcə qiymətləndirməyə imkan yaradır [3], [7].

Müasir monitorinq sistemlərində Geographic Information Systems texnologiyaları da mühüm rol oynayır. GIS platformaları vasitəsilə vegetasiya məlumatları xəritələşdirilir, məkan üzrə analiz edilir və zaman seriyaları əsasında dəyişikliklər müqayisə olunur. Bu yanaşma ekoloji risklərin müəyyən edilməsində və kənd təsərrüfatı sahələrinin idarə olunmasında geniş istifadə olunur [6].

Bundan əlavə, peyk məlumatlarının uzunmüddətli analizi vegetasiya dinamikasının izlənilməsində vacib rol oynayır. Quraqlıq, temperatur dəyişiklikləri və yağıntı rejimindəki anomaliyalar vegetasiya örtüyündə birbaşa əks olunur. Bu səbəbdən müasir texnologiyalar ekosistemlərin vəziyyətinin qiymətləndirilməsi üçün effektiv vasitə hesab olunur [9], [10].

Beləliklə, multispektral təsvirlər, uzaqdan zondlama və geoinformasiya sistemləri vegetasiyanın monitorinqi və iqlim dəyişikliklərinin təsirinin öyrənilməsi üçün ən mühüm müasir texnologiyalar sırasında yer alır.

VEGETASİYA DƏYİŞİKLİKLƏRİNİN ANALİZİ VƏ MƏKAN TƏHLİLİ

İqlim dəyişiklikləri nəticəsində vegetasiya örtüyündə baş verən dəyişikliklərin düzgün qiymətləndirilməsi ekosistemlərin vəziyyətinin anlaşılması baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Temperatur və yağıntı rejimindəki dəyişikliklər bitki örtüyünün məkan üzrə paylanmasına və zamanla dinamikasına birbaşa təsir göstərir. Bu dəyişikliklərin analizi vegetasiyanın zəiflədiyi və ya gücləndiyi ərazilərin müəyyən edilməsinə imkan yaradır.

Vegetasiya dəyişikliklərinin öyrənilməsində uzaqdan zondlama məlumatları ilə yanaşı məkan analizi metodlarından da geniş istifadə olunur. Peyk görüntüləri vasitəsilə əldə olunan məlumatlar bitki örtüyünün müxtəlif illər üzrə müqayisəsinə şərait yaradır və iqlim faktorlarının təsirini daha aydın şəkildə göstərir [2], [5].

Vegetasiya vəziyyətinin qiymətləndirilməsində ən çox istifadə olunan göstəricilərdən biri Normalized Difference Vegetation Index-dir. NDVI vasitəsilə bitki örtüyünün sıxlığı və sağlamlıq səviyyəsi müəyyən edilir. Bu göstəricinin zaman üzrə dəyişimi iqlim dəyişikliklərinin vegetasiyaya təsirinin kəmiyyətcə analizini mümkün edir [3], [7].

Məkan təhlilində Geographic Information Systems texnologiyaları xüsusi rol oynayır. GIS sistemləri vegetasiya məlumatlarını xəritələr üzərində göstərir, dəyişiklikləri vizuallaşdırır və risk zonalarını müəyyən etməyə imkan yaradır. Bu yanaşma ekoloji proseslərin daha sistemli şəkildə öyrənilməsinə şərait yaradır [6].

Vegetasiya dəyişikliklərinin analizi həm də uzunmüddətli müşahidələr əsasında aparılır. Quraqlıq, temperatur artımı və yağıntı çatışmazlığı kimi amillər bitki örtüyünün strukturunda dəyişikliklər yaradır və

bu dəyişikliklər məkan üzrə fərqli formalarda özünü göstərir. Buna görə də vegetasiyanın davamlı monitorinqi ekosistemlərin vəziyyətinin qiymətləndirilməsi üçün vacib hesab olunur [9], [10].

Beləliklə, vegetasiya dəyişikliklərinin analizi və məkan təhlili müasir texnologiyalar əsasında aparılaraq iqlim dəyişikliklərinin ekosistemlərə təsirinin daha dəqiq qiymətləndirilməsinə imkan yaradır.

İQLİM DƏYİŞİKLİKLƏRİNİN VEGETASİYAYA UZUNMÜDDƏTLİ TƏSİRİ

İqlim dəyişikliklərinin uzunmüddətli təsiri vegetasiya örtüyünün strukturunda və yayılma arealında ciddi dəyişikliklərə səbəb olur. Temperaturun davamlı artması, yağıntı rejiminin sabit olmaması və ekstremal hava hadisələrinin tez-tez təkrarlanması bitki örtüyünün zamanla zəifləməsinə və bəzi ərazilərdə tamamilə dəyişməsinə gətirib çıxarır. Bu proseslər ekosistemlərin dayanıqlığını azaldır və bioloji müxtəlifliyə mənfi təsir göstərir.

Uzunmüddətli müşahidələr göstərir ki, iqlim anomaliyaları vegetasiyanın mövsümi inkişaf dövrlərini dəyişdirir. Bəzi bölgələrdə bitkilərin vegetasiya dövrü qısalır, digər bölgələrdə isə qeyri-sabit inkişaf mərhələləri müşahidə olunur. Bu dəyişikliklər kənd təsərrüfatı məhsuldarlığına da birbaşa təsir edir və torpaq istifadəsinin səmərəliliyini azaldır [1], [8].

Vegetasiyanın uzunmüddətli dəyişikliklərinin analizi üçün peyk əsaslı monitorinq sistemlərindən geniş istifadə olunur. Bu sistemlər vasitəsilə bitki örtüyünün illər üzrə dəyişməsi müqayisə edilir və iqlim faktorlarının təsir səviyyəsi müəyyən edilir. Xüsusilə uzaqdan zondlama məlumatları vegetasiya dinamikasının daha dəqiq izlənilməsinə imkan yaradır [2], [5].

Vegetasiya dəyişikliklərinin qiymətləndirilməsində Normalized Difference Vegetation Index mühüm rol oynayır. NDVI göstəricisinin uzunmüddətli dəyişimi bitki örtüyünün sağlamlıq vəziyyətində baş verən eniş və yüksəlişləri göstərir. Bu da iqlim dəyişikliklərinin vegetasiyaya təsirinin kəmiyyətcə qiymətləndirilməsinə şərait yaradır [3], [7].

Məkan üzrə analizlərdə Geographic Information Systems texnologiyaları geniş tətbiq olunur. GIS vasitəsilə vegetasiya dəyişiklikləri xəritələşdirilir və zamanla müqayisə edilir. Bu yanaşma ekosistemlərdə baş verən uzunmüddətli dəyişikliklərin daha aydın şəkildə təhlilinə imkan yaradır [6].

Beləliklə, iqlim dəyişikliklərinin vegetasiyaya uzunmüddətli təsiri ekosistemlərin sabitliyini azaldır və bitki örtüyünün strukturunda davamlı dəyişikliklər yaradır. Bu proseslərin öyrənilməsi dayanıqlı ekoloji idarəetmə və kənd təsərrüfatının planlaşdırılması baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Nəticə

İqlim dəyişiklikləri vegetasiya örtüyünə həm qısa, həm də uzunmüddətli dövrdə ciddi təsir göstərir. Temperaturun yüksəlməsi, yağıntıların qeyri-sabitliyi və ekstremal hava hadisələrinin artması bitki örtüyünün inkişafına, sıxlığına və yayılma sahəsinə birbaşa təsir edir. Nəticədə bəzi bölgələrdə vegetasiya zəifləyir, bəzi ərazilərdə isə mövsümi dəyişikliklər daha kəskin formada müşahidə olunur.

Vegetasiyanın dəyişiminin düzgün qiymətləndirilməsi üçün müasir müşahidə və analiz üsulları mühüm rol oynayır. Peyk məlumatları və müxtəlif monitorinq metodları vasitəsilə bitki örtüyündə baş verən dəyişikliklər daha geniş ərazilər üzrə izlənilə bilir. Bu isə iqlim təsirlərinin daha dəqiq anlaşılmasına imkan yaradır.

Ümumilikdə aparılan təhlillər göstərir ki, iqlim dəyişiklikləri vegetasiya dinamikasını dəyişdirərək ekosistemlərin sabitliyinə mənfi təsir göstərir. Bu səbəbdən vegetasiyanın davamlı monitorinqi və dəyişikliklərin vaxtında qiymətləndirilməsi ekoloji tarazlığın qorunması baxımından vacib hesab olunur.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press.
2. NASA (2022). Earth Observation and Remote Sensing Applications. National Aeronautics and Space Administration.
3. Tucker, C. J. (1979). Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. Remote Sensing of Environment.
4. Rouse, J. W., et al. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. NASA Technical Report.
5. Jensen, J. R. (2015). Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Pearson.
6. ESRI (2023). Geographic Information Systems Applications in Environmental Monitoring. Technical Report.
7. Remote Sensing Journal (2020). Normalized Difference Vegetation Index and Vegetation Dynamics Studies.
8. FAO (2021). Climate Change and Agriculture: Impacts and Adaptation. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
9. Wang, Y., et al. (2022). Vegetation Response to Climate Change Using Remote Sensing Data. Ecological Indicators.
10. USGS (2023). Land Surface Monitoring Using Satellite Data. United States Geological Survey.

SAMUR-ABŞERON KANALINDAN SUVARMA MƏQSƏDİLƏ İSTİFADƏ OLUNAN SUYUN KEYFİYYƏT GÖSTƏRİCİLƏRİNİN TƏHLİLİ

Leyla Əsədzadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xırdalan, Azərbaycan
lesedzade@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu tədqiqat Samur-Abşeron kanalının suyunun keyfiyyətini araşdıraraq suvarma üçün yararlılığını müəyyən edir. Tədqiqat, məhdud su ehtiyatları və mövsümi dəyişkən keyfiyyəti nəzərə alınmaqla, Azərbaycanda davamlı kənd təsərrüfatı təcrübələrinə artan tələbat və effektiv su idarəçiliyinə ehtiyac səbəbindən çox vacibdir. Tədqiqatın əsas məqsədi müxtəlif axın dövrlərində kanal suyunun kimyəvi, fiziki və bakterioloji parametrlərini təhlil etməklə suvarma üçün yararlılığını müəyyən etməkdir. Bu tədqiqatın elmi yeniliyi, mövsümi dəyişikliklərin suyun mövcudluğuna necə təsir etdiyini daha dərindən anlamaq üçün aşağı və yüksək axın şəraitinin müqayisəsini əhatə edən hərtərəfli su keyfiyyəti təhlili yanaşmasındadır. Bu tədqiqatın praktik əhəmiyyəti həm məhsul sağlamlığını, həm də torpağın keyfiyyətini təmin etməklə kənd təsərrüfatında suyun düzgün istifadəsi üçün tövsiyələr verməkdədir. Nəticələr göstərir ki, yüksək axınlı su suvarma üçün yararlıdır, aşağı axınlı su isə duzluluğu və mikrobioloji çirklənməni azaltmaq üçün təmizlənmə tələb edir. Nəticələr regionda su idarəetmə strategiyalarının və kənd təsərrüfatının dayanıqlığının təkmilləşdirilməsi üçün dəyərli məlumatlar verir.
Açar sözlər*: Samur-Abşeron kanalı, su keyfiyyəti, suvarma, kimyəvi analiz, mikrobioloji analiz.*
Abstract: This study investigates the water quality of the Samur-Absheron canal and determines its suitability for irrigation. The study is very important due to the increasing demand for sustainable agricultural practices and the need for effective water management in Azerbaijan, given the limited water resources and seasonally variable quality. The main objective of the study is to determine the suitability for irrigation by analyzing the chemical, physical and bacteriological parameters of the canal water during different flow periods. The scientific novelty of this study lies in the comprehensive water quality analysis approach, which includes a comparison of low and high flow conditions to better understand how seasonal changes affect water availability. The practical significance of this study lies in providing recommendations for the proper use of water in agriculture, ensuring both crop health and soil quality. The results show that high-flow water is suitable for irrigation, while low-flow water requires treatment to reduce salinity and microbiological contamination. The results provide valuable information for improving water management strategies and agricultural sustainability in the region.
Keywords*: Samur-Absheron Canal, water quality, irrigation, chemical analysis, microbiological analysis.*

I. GİRİŞ

Bu tədqiqat Samur-Abşeron kanalından suvarma üçün istifadə edilən suyun keyfiyyət parametrlərinin təhlilinə yönəlmişdir. Suvarma suyunun keyfiyyəti kənd təsərrüfatı məhsuldarlığı və suvarma sistemlərinin dayanıqlığı üçün çox vacibdir. Suvarma suyunun keyfiyyətinin monitorinqi və təhlili torpağın şoranlaşmasının qarşısını almaqda, məhsuldarlığı artırmaqda və uzunmüddətli kənd təsərrüfatının inkişafını təmin etməkdə mühüm rol oynayır. Buna görə də, Samur-Abşeron kanalından suyun kimyəvi və mikrobioloji xüsusiyyətlərinin qiymətləndirilməsi onun suvarma üçün yararlılığını müəyyən etmək üçün vacibdir.

Bu tədqiqatın əhəmiyyəti suvarma suyunun keyfiyyəti ilə bağlı bilik boşluqlarını aradan qaldırmaqdadır. Suyun keyfiyyətinin dəqiq qiymətləndirilməsi daha yaxşı idarəetmə təcrübələrinin tətbiqinə imkan verir və beləliklə, torpağın şoranlaşması kimi mənfi nəticələrin qarşısını alır və sağlam məhsul böyüməsini təmin edir. Samur-Abşeron kanalından suyun keyfiyyəti ilə bağlı əvvəllər tədqiqatlar aparılsa da, suyun keyfiyyət parametrlərinin zamanla necə dəyişdiyinin və onların kənd təsərrüfatı təcrübələrinə təsirinin daha dərindən təhlili tələb olunur. Buna görə də, bu tədqiqatın əsas məqsədi keyfiyyət göstəricilərinə əsaslanaraq Samur-Abşeron kanalından götürülən suyun suvarma məqsədləri üçün yararlılığını qiymətləndirməkdir.

Bu məqsədə çatmaq üçün tədqiqat zamanı müxtəlif vaxtlarda götürülmüş su nümunələri üzərində fiziki, kimyəvi və bakterioloji analizlər aparılmışdır. Bu analizlər pH, elektrik keçiriciliyi (EC), natrium adsorbsiya nisbəti (SAR), ümumi həll olmuş bərk maddələr (TDS), maqnezium və natrium tərkibi, xlorid, sulfat və qalıq natrium karbonat (RSC) kimi əsas parametrlərə yönəlmişdir. Bundan əlavə, kənd təsərrüfatı

istifadəsi üçün təhlükəsizliyini təmin etmək məqsədilə suda zərərli mikroorqanizmlərin mövcudluğunu qiymətləndirmək üçün bakterioloji analiz aparılmışdır.

TABLE I. CƏDVƏL 1. AŞAĞI AXIN ŞƏRAITINDƏ SUYUN KEYFIYYƏT PARAMETRLƏRI (NÜMUNƏ 1)

Göstəricinin (analiz) adı	**İstinad olunan metod**	**Ölçü vahidi**	**Sınağın nəticəsi**	**Norma**	**Dəyərləndirmə**
Ph	ГОСТ26423-85		7.97	6.5-8.4	normal
EC	ГОСТ26423-85	mS/sm	0.480	<0.250	orta duzlu II-sinif
Codluq	titr	mel/l	0	<4	yumşaq su
Maqnezium faizi	titr	%	0	<50	normal
Natrium faizi	AAS pinAAcle500	%	0.91	<20	çox yaxşı I-sinif
Xlor	titr	mel/l	1.47	0-4	çox yaxşı I-sinif
RSC	titr	mel/l	4.6	<1.25	qələvilik yarana bilər
SO4	hesablama	mel/l	2.99	<4	çox zəif I-sinif
SAR	hesablama	mel/l	0.98	0-10	az natrumlu I-sinif

Mənbə: *Samur-Abşeron kanalının aşağı axınlı dövründəki şəraiti əks etdirən nəticələrinə əsasən aparılmış tədqiqat*

Cədvəl 2*. Yüksək Axın Şəraitləri Zamanı Su Keyfiyyəti Parametrləri (Nümunə 2)*

Göstəricinin (analiz) adı	**İstinad olunan metod**	**Ölçü vahidi**	**Sınağın nəticəsi**	**Norma**	**Dəyərləndirmə**
Ph	ГОСТ26423-85		8.4	6.5-8.4	normal
EC		mS/sm	0.610	<0.25	orta duzlu (II-sinif)
Codluq	titr	mel/l	5	<4	orta cod
Maqnezium faizi	titr	%	20	<20	normal
Natrium faizi	AAS pinAAcle500	%	1.99	<50	çox yaxşı (I-sinif)
Xlor	titr	mel/l	3.58	0-4	çox yaxşı (I-sinif)
RSC	titr	mel/l	-4.52	<1.25	qələvilik yaranmaz
SO4	hesablama	mel/l	1.88	<4	az (I-sinif)
SAR	hesablama	mel/l	1.32	0-10	az natrumlu (I-sinif)

Mənbə: *Samur-Abşeron kanalının aşağı axınlı dövründəki şəraiti əks etdirən nəticələrinə əsasən aparılmış tədqiqat.*

II. ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİ (EK): DUZLULUQ SƏVİYYƏLƏRİNİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Elektrik Keçiriciliyi (EK) suyun suvarma üçün yararlılığının müəyyən edilməsində vacib bir parametrdir, çünki bu, birbaşa suyun duzluluğu ilə əlaqədardır. Duzluluq suda həll olmuş duzların konsentrasiyasına aiddir və yüksək olduqda, torpaq quruluşuna, su saxlama qabiliyyətinə və bitkilərin ümumi sağlamlığına əhəmiyyətli dərəcədə mənfi təsir göstərə bilər. EK suyun elektrik keçirmə qabiliyyətini ölçür və bu qabiliyyət natrium, xlorid və sulfat kimi həll olmuş ionların olması ilə artır. Bu ionlar suyun duzluluğuna kömək edir və yüksək EK dəyərləri ümumiyyətlə həll olmuş duzların yüksək konsentrasiyası ilə əlaqələndirilir.

Duzluluq kənd təsərrüfatı ərazilərində torpağın deqradasiyasının ən çox yayılmış səbəblərindən biridir və torpağın şoranlaşmasına səbəb olur. Duzlaşma torpaqda həll olmuş duzların toplanması deməkdir ki, bu da torpağın su saxlama qabiliyyətini pozur və onun münbitliyini azaldır. Bundan əlavə, suvarma suyunda həddindən artıq duzluluq bitkilərdə osmotik stressə səbəb ola bilər; bu halda bitkilər torpaqda yüksək duz konsentrasiyası səbəbindən suyu effektiv şəkildə uda bilmirlər. Bu stress bitkilərin böyüməsini ləngidə, məhsuldarlığı azalda və ekstremal hallarda bitkilərin ölümünə səbəb ola bilər (Hacıyev və b., 2022).

EK suyun duzluluğunu qiymətləndirmək üçün geniş istifadə olunan bir göstəricidir və müxtəlif EK səviyyələri duzluluq potensialına əsasən müxtəlif kateqoriyalara bölünür. Suvarma məqsədləri üçün EK

dəyərləri 0,0 ilə 0,25 mS/sm arasında olan su aşağı duzluluq, EK dəyərləri 0,25 ilə 0,75 mS/sm arasında olan su isə orta dərəcədə duzlu hesab olunur. EK səviyyəsi 0,75 mS/sm-dən yüksək olan su yüksək duzluluq kimi təsnif edilir və həm torpaq, həm də bitki sağlamlığı üçün daha yüksək risk yaradır.

Samur-Abşeron Kanalı nümunəsində, müxtəlif vaxtlarda götürülmüş iki nümunə duzluluqdakı dəyişiklikləri və onların suvarmaya təsirini qiymətləndirmək üçün imkan yaradır. Su axınının az olduğu bir dövrdə götürülmüş 1 nömrəli nümunədə EK dəyəri 0,610 mS/sm olaraq qeydə alınıb. Bu, suyu "orta dərəcədə duzlu" kateqoriyasına yerləşdirir. Orta dərəcədə duzlu su nümunəsi suda həll olmuş duzların orta dərəcədə konsentrasiyasını göstərir. Bu duzluluq səviyyəsi dərhal zərərli olmasa da, torpağın sağlamlığına uzunmüddətli təsirləri zərərli ola bilər. Zamanla, eyni orta dərəcədə duzlu su suvarma üçün davamlı olaraq istifadə edilərsə, torpaqda duz yığılması riski əhəmiyyətli dərəcədə artır (Allahverdiyev, İbrahimov, 2012). Bu yığılma torpağın şoranlaşmasına gətirib çıxarır ki, bu da torpağın keçiriciliyini azaldır və suyun torpağa effektiv şəkildə nüfuz etməsinə mane olur. Nəticədə, suyun saxlanması çətinləşir və torpaq quruluşu pisləşir. Bundan əlavə, şoranlaşma bitkinin vacib qida maddələrini udma qabiliyyətinə mane ola bilər və məhsuldarlığa təsirini daha da pisləşdirir. Bu duzluluq səviyyəsi qısa müddətdə təhlükə yaratmasa da, torpaqdan artıq duzu çıxarmaq üçün əlavə su istifadə etməyi əhatə edən yuma kimi idarəetmə təcrübələri olmadan uzun müddət istifadə edildikdə narahatedici hala gəlir (Aghayev, Karimov, 2018).

Əksinə, yüksək su axını dövründə toplanan 2-ci nümunədə 0,480 mS/sm2 daha aşağı EC dəyəri qeydə alınıb. Bu dəyər 1-ci nümunədən daha aşağıdır və suyun daha az duzlu olduğunu göstərir. Daha aşağı EK dəyəri olan su ümumiyyətlə suvarma üçün daha uyğun hesab olunur, çünki torpağın şoranlaşma riskini azaldır. Suvarma suyunda duzluluq səviyyəsinin aşağı olması, zamanla torpaqda duz yığılması potensialının azalması deməkdir. Həll olmuş duzların daha az olması bitkilərin suyu daha səmərəli şəkildə mənimsəməsinə imkan verir və torpaq strukturunun qorunmasına kömək edir. Bundan əlavə, duzluluğun aşağı olması bitkilər tərəfindən qida maddələrinin daha yaxşı mənimsənilməsinə və mənimsənilməsinə imkan verir, ümumi bitki sağlamlığını və məhsuldarlığı artırır (Yusifov, Abbasov, 2017).

Aşağı EK dəyəri göstərir ki, bu su, xüsusən də torpağın duzlaşmasının narahatlıq doğurduğu ərazilərdə uzunmüddətli suvarma üçün daha uyğundur. Yüksək su axını dövrləri ümumiyyətlə daha böyük su həcmi və kanal boyunca suyun daha sürətli hərəkəti ilə əlaqəli olduğundan, Nümunə 2-nin su axınının artması səbəbindən duzların daha az konsentrasiyalı olduğu durulaşdırma effektindən faydalandığı ehtimal olunur. Bu, Nümunə 2-ni yalnız suvarma üçün daha uyğun deyil, həm də uzunmüddətli perspektivdə daha davamlı edir, çünki aşağı duzluluq yuyulma kimi korreksiyaedici tədbirlərə ehtiyacı azaldır.

Ümumi həll olmuş bərk maddələr (ÜBM): Suyun mineral tərkibinin qiymətləndirilməsi

Ümumi Həll Olmuş Bərk Maddələr (ÜBM) suyun keyfiyyətinin qiymətləndirilməsində mühüm amildir, çünki o, həll olmuş duzların və mineralların konsentrasiyasını göstərir. Yüksək ÜBM dəyərləri torpaqda duzluluğun artmasına səbəb ola bilər ki, bu da qida maddələrinin mənimsənilməsini məhdudlaşdırmaqla və su stressi yaratmaqla bitkilərin böyüməsinə mənfi təsir göstərə bilər (Samur-Abşeron kanalı, 2020).

Nümunə 1-in ÜBM dəyəri 754 mq/L-dir ki, bu da suvarma suyu üçün nisbətən yüksək hesab olunur. Bu dəyər suvarma üçün məqbul hədlər daxilində olsa da, düzgün idarə olunmadan təkrar istifadə zamanla torpağın şoranlaşmasına səbəb ola bilər. Yüksək ÜBM-li su diqqətli monitorinq tələb edir və torpaqda duz yığılmasının qarşısını almaq üçün yuyulma kimi təcrübələr lazım ola bilər. Digər tərəfdən, Nümunə 2-nin ÜBM dəyəri açıq şəkildə göstərilməyib, lakin onun daha aşağı EK dəyərinə əsasən, onun ÜBM dəyərinin də Nümunə 1-dən aşağı olması ehtimalı var. Bu, Nümunə 2-nin uzunmüddətli suvarma üçün daha uyğun olduğunu göstərir, çünki onun aşağı ÜBM-i torpağın şoranlaşma riskini azaldır.

Natrium Absorbsiya Dərəcəsi (NAD): Natrium səviyyələrinin qiymətləndirilməsi

Natrium Absorbsiya Dərəcəsi (NAD) suda natriumun kalsium və maqneziuma nisbətən konsentrasiyasını ölçür. Yüksək NAD dəyərləri torpaqda natriumun toplanmasına səbəb ola bilər ki, bu da torpağın strukturunu pozur, suyun infiltrasiyasını azaldır və nəticədə bitkilərin böyüməsinə mənfi təsir göstərir. 10-dan aşağı NAD dəyəri suvarma üçün təhlükəsiz hesab olunur və Samur-Abşeron Kanalından götürülmüş hər iki nümunə bu təhlükəsiz diapazonda idi. 1-ci nümunənin NAD dəyəri 1.32, 2-ci nümunənin NAD dəyəri isə 0.98 idi. Hər iki dəyər aşağıdır, bu da heç bir nümunənin natriumla əlaqəli torpaq deqradasiyası baxımından əhəmiyyətli bir risk yaratmadığını göstərir. Bu, hər iki su nümunəsini natrium tərkibi baxımından suvarma üçün uyğun edir.

Xloridlər və sulfatlar adətən suvarma suyunda olur və bu ionların yüksək konsentrasiyaları torpağa və bitkilərə mənfi təsir göstərə bilər. Xüsusilə xloridlər həssas bitkilər üçün zəhərli ola bilər, sulfatlar isə torpağın pH-nı dəyişdirə və qida maddələrinin mövcudluğuna təsir göstərə bilər (Fikrətzadə, Əliyev, 2022).

Samur-Abşeron Kanalı suyunun təhlili 1-ci nümunədə xlorid konsentrasiyalarının 3,58 mq/L, sulfat konsentrasiyalarının isə 1,88 mq/L olduğunu göstərdi. Hər iki dəyər suvarma üçün məqbul həddədir və suyun xlorid və ya sulfat toksikliyi ilə bağlı əhəmiyyətli problemlər yaratmayacağını göstərir. 2-ci nümunədə xlorid səviyyələri daha aşağı (1,47 mq/L), sulfat konsentrasiyaları isə bir qədər yüksək (2,99 mq/L) idi. Lakin bu səviyyələr məqbul həddə qalır və bitkilərə və ya torpağa zərər verməsi ehtimalı azdır.

Qalıq Natrium Karbonat (QNK): Qələvilik potensialı

Qalıq Natrium Karbonat (QNK) suyun torpaqda qələviliyə səbəb olma potensialının ölçüsüdür ki, bu da torpaq strukturunun zəifləməsinə və suyun infiltrasiyasının azalmasına səbəb ola bilər (Aliyeva, Ismayilov, 2019). Yüksək QNK dəyərləri suyun zamanla torpağın qələviliyini artıra biləcəyini, potensial olaraq bitki köklərinə zərər verə biləcəyini və torpağın münbitliyini azalda biləcəyini göstərir.

1-ci nümunədə QNK dəyəri -4,52 idi ki, bu da suyun qələvilik problemlərinə səbəb olma ehtimalının aşağı olduğunu göstərir. Bu mənfi dəyər suyun suvarma üçün təhlükəsiz olduğunu və torpağın pH-na və ya strukturuna mənfi təsir göstərməyəcəyini göstərir. Lakin, Nümunə 2-nin RSC dəyəri 4.6 idi ki, bu da suyun zamanla torpağın qələviliyinin artmasına səbəb ola biləcəyini göstərir. Bu, Nümunə 2-ni suvarma üçün yararsız hala gətirməsə də, bu suyun uzunmüddətli istifadəsi torpağın qələviləşməsinin qarşısını almaq üçün əlavə idarəetmə təcrübələri tələb edə biləcəyini göstərir.

Bakterioloji keyfiyyət kənd təsərrüfatı istifadəsi üçün suyun təhlükəsizliyini müəyyən etməkdə vacib amildir. Escherichia coli (E. coli) kimi zərərli bakteriyaların olması ciddi sağlamlıq riskləri yarada bilər və lazımi təmizlənmə olmadan suyu suvarma üçün yararsız hala gətirə bilər. Birinci nümunədə E. coli 10^5 ilə 10^6 CFU/100 ml arasında dəyişən konsentrasiyalarda aşkar edilmişdir. Bu, əhəmiyyətli dərəcədə nəcis çirklənməsini göstərir və təmizlənmədən suyun həm məişət, həm də kənd təsərrüfatı istifadəsi üçün təhlükəli olduğunu göstərir. Yüksək bakteriya səviyyələri bitkiləri və torpağı çirkləndirə bilər və həm insanlar, həm də heyvanlar üçün sağlamlıq riskləri yaradır. Bunun əksinə olaraq, ikinci nümunədə E. coli aşkar edilmədi, bu da bakterial çirklənmə ilə bağlı narahatlıq olmadan suvarma üçün təhlükəsiz olduğunu göstərir (Rüstəmov, 2020).

II.Nəticə

Samur-Abşeron kanalından götürülən suyun keyfiyyəti ilə bağlı aparılan tədqiqatlar onun suvarma üçün yararlılığı ilə bağlı mühüm məlumatlar ortaya qoyur. Kimyəvi, fiziki və bakterioloji parametrlərin təhlili göstərir ki, yüksək axın dövrlərində su aşağı duzluluq, balanslaşdırılmış pH və zərərli bakteriyaların olmaması səbəbindən suvarma üçün yararlıdır, aşağı axın dövrlərində isə çətinliklər yaranır. Yüksək ümumi həll olmuş bərk maddələr (HBQ), orta duzluluq və Escherichia coli-nin olması suyu təmizlənmədən birbaşa suvarma üçün yararsız hala gətirir. Nəticələr, torpağın şoranlaşması və çirklənməsi kimi potensial riskləri azaltmaq üçün, xüsusən də aşağı axın dövrlərində suyun keyfiyyətinin davamlı monitorinqinin vacibliyini vurğulayır. Tədqiqatın gücü, bir çox su keyfiyyəti parametrlərini birləşdirən, ətraflı qiymətləndirmə təmin edən və kənd təsərrüfatında davamlı su idarəetməsi üçün praktik tövsiyələr təqdim edən hərtərəfli yanaşmasındadır. Bu tədqiqat daha yaxşı su resurslarının idarə edilməsi təcrübələrinə töhfə verir və regionda kənd təsərrüfatı təcrübələrinin uzunmüddətli dayanıqlığını dəstəkləyir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Aliyeva, S., Ismayilov, N. M. (2019). Study of quality of the irrigation canals in Azerbaijan. Science Review, 10(2), pp. 10-14. file:///C:/Users/User/Downloads/Study_of_quality_of_the_irrigation_canals_in_Azerb.pdf
2. Allahverdiyev E. R., İbrahimov A. Q. (2012). Suvarma əkinçiliy (dərs vəsaiti). Bakı, "MBM" nəşriyyatı, 224 s.
3. Fikrətzadə F. F., Əliyev P. F. (2022). Azərbaycan Respublikasında suvarma suyu üzrə tənzimləmə sisteminin təkmilləşdirilməsi istiqamətləri, Kənd təsərrifatı iqtisadiyyatı, N1 (39), 9. 20 s.
4. Rüstəmov Z. (2020). Abşeron yarimadasi su təchizatinin əsas mənbəyi, https://anl.az/down/meqale/respublika/2020/sentyabr/719592.htm
5. Samur-Abşeron kanalı. (2020). https://az.geoview.info/samurabseron_kanali,585149
6. Aghayev, N., Karimov, A. (2018). Water quality analysis of irrigation canals in Azerbaijan: A case study of the Samur-Abşeron Canal. Environmental Science and Policy, 44(3), 45-58. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.02.001
7. Yusifov, R., & Abbasov, V. (2017). Microbiological contamination in irrigation water: Case study in Azerbaijan. Water Research, 120(1), 35-40. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.022

BAKI ŞƏHƏRİNİN PARK VƏ BAĞLARINDA İNTRODUKSİYA OLUNMUŞ DEKORATİV BİTKİLƏRİN EKOLOJİ QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Şəbnəm Əşrəfova
"Landşaft memarlığı və sistematika" laboratoriyası
"Dendrologiya Bağı" publik hüquqi şəxs
Bakı, Azərbaycan
shabnam_ashrafova@mail.ru

Sevinc Yusifova
"Landşaft memarlığı və sistematika" laboratoriyası
"Dendrologiya Bağı" publik hüquqi şəxs
Bakı, Azərbaycan
sevincrehimova9@gmail.com

Xülasə: Məqalədə Bakı şəhərinin park və bağlarında landşaft dizaynı tərtibatında tətbiq olunan dekorativ bitkilərin ekoloji rolu, uyğunlaşma xüsusiyyətləri və şəhər mühitinə təsiri kompleks şəkildə təhlil edilmişdir. Tədqiqatın məqsədi şəhərin iqlim və torpaq şəraitinə uyğun bitkilərin adaptasiya potensialını müəyyənləşdirmək, düzgün dekorativ kompozisiyaların yaradılması üçün elmi əsaslar təklif etməkdir. Tədqiqatlar zamanı ərazinin iqlim şəraiti, torpaq strukturu və ekoloji amillər nəzərə alınmaqla, bitki seçiminin funksional prinsipləri təhlil edilmiş, yerli bitki növlərinin adaptasiya qabiliyyəti və davamlılığı ilə yanaşı, ekzotik növlərin dekorativ dəyəri müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmişdir. Park-bağlarda yerli və ekzotik floranın harmonik sintezi, suvarma sistemlərinin səmərəli təşkili, kompozisiyaların elmi planlanması və bitkilərin dizayn potensialı müəyyənləşdirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, Bakı şəraitində davamlı və estetik cəhətdən cəlbedici landşaftın formalaşdırılması üçün yerli və ekzotik bitki növlərinin harmonik sintezi əsas prinsip kimi qəbul edilməlidir.

Açar sözlər*: Yaşıl infrastruktur, introduksiya, ekoloji dayanıqlıq, adaptasiya qabiliyyəti*

I. GİRİŞ

Müasir urbanizasiya proseslərinin sürətlə inkişaf etdiyi şəraitdə şəhər mühitinin ekoloji tarazlığının qorunması və davamlı yaşıllaşdırma sistemlərinin formalaşdırılması əsas prioritetlərdən biridir. Şəhər yaşıllıqları mikroiqlimin tənzimlənməsi, havanın keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması, biomüxtəlifliyin qorunması baxımından mühüm rol oynayır. Bitkilərin həyat fəaliyyəti dövründə xarici mühit amillərinə tələbatı olmaqla yanaşı, eyni zamanda onunla qarşılıqlı əlaqədə olur. Məhz buna görə, yerli və ekzotik bitkilərin düzgün seçimi Bakı kimi yarımsəhra iqlim zonasında xüsusi aktuallıq kəsb edir. Bu amillər növlərin bioloji tələbatına uyğun olmadıqda bitki orqanizmində gedən fizioloji proseslər pozulur, inkişaf zəifləyir, hətta bitkinin məhv olmasına gətirib çıxarır. Bitkilər lazım olan xarici mühit amilləri ilə təmin olunduqda, normal böyüyərək inkişaf edir və yüksək məhsul verirlər [7].

Yarımsəhra iqlim xüsusiyyətlərinə malik olan ərazilərdə, o cümlədən Bakı şəhərində, bitki assortimentinin seçimi su ehtiyatlarının səmərəli istifadəsi, torpaq eroziyasının qarşısının alınması və külək təsirinin zəiflədilməsi baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bu baxımdan, yerli flora növlərinə üstünlük verilməsi onların adaptasiya qabiliyyəti və ekoloji sabitliyə verdiyi töhfə ilə izah olunur. İntroduksiya olunan ekzotik növlərin seçimi elmi əsaslandırılmalı, onların invazivlik potensialı və mövcud ekosistemə təsiri əvvəlcədən qiymətləndirilməlidir. Bitkilərin həyat fəaliyyəti dövründə temperatur, rütubət, işıqlanma və torpaq tərkibi kimi abiotik amillərə olan tələbatı landşaft planlaşdırılmasında əsas meyarlardan biri kimi çıxış edir. Bu amillərin optimal uyğunlaşdırılması fotosintez intensivliyinə, vegetasiya müddətinə və ümumi bioloji məhsuldarlığa birbaşa təsir göstərir.

Əkin apararkən ağac-kol cinslərinin bioloji xüsusiyyətlərinə, onların qarışdırılma sxeminə xüsusi fikir verilməlidir. Abşeronun quru subtropik iqliminə və spesifik torpaq şəraitinə daha uyğun gələn şərq çinarı, uzunsaplaq palıd, tut, qarağac, saqqız ağacı və digər qiymətli, uzun ömürlü ağac cinsləri ilə yanaşı, həmişəyaşıl zeytun ağacından, daş palıddan, sərvdən geniş istifadə edilməlidir [6]. Bu səbəbdən, landşaft dizaynı yanaşması təbii və antropogen komponentlər arasında balansın yaradılmasına, şəhər mühitində ekoloji dayanıqlığın təmin olunmasına xidmət edir.

II.TƏHLİL və müzakİrə metodu

Tədqiqatlar Bakı şəhərinin iki əsas yaşıllıq ərazisində, Filarmoniya bağı və Səməd Vurğun parkında aparılmışdır. Tədqiqat zamanı sahə müşahidələri, müqayisəli analiz və bitkilərin morfoloji vəziyyətinin qiymətləndirilməsi metodlarından istifadə edilmişdir. Bitki növlərinin taksonomik tərkibi, mənşəyi, adaptasiya səviyyəsi və ekoloji funksiyaları təhlil olunmuşdur. Bitki seçiminin ekoloji uyğunluq, dekorativlik, fenoloji xüsusiyyətlər və resurs qənaəti prinsipləri əsasında qiymətləndirilməsi aparılmışdır.

Sahəsi 4,6 hektar olan Filarmoniya bağı 1830-cu ildə Bakının mərkəzində, Qala divarları yaxınlığında salınmışdır. Bağda əsaslı yenidənqurma işlərinə 2009-cu ildə başlanılıb. Ərazinin özünəməxsus bitki örtüyü olduğu kimi qorunub saxlanılıb, yaşıllıq zolağının artırılmasına daha çox diqqət yetirilib. Bağın ərazisi zəngin floraya malikdir. Yenidənqurma zamanı burada nadir ağac növləri Quercus L., Pinus pumila Regel və Fraxinus L. introduksiya edilmişdir. Tədqiqatlar zamanı ərazidə müşahidələr aparılmış, dekorativ bitkilərin taksonomik tərkibi və mənşəyi araşdırılmış, istifadə perspektivliyi öyrənilmişdir (şəkil 1).



Şək. 2. Filarmoniya bağı ərazisində dekorativ növlərin tədqiqi.

Tədqiq edilən bitkilər yaşıllaşdırma üçün perspektivlidir və müxtəlif formalı kompozisiyaların tərtibatında geniş istifadə oluna bilər (cədvəl 1).

CƏDVƏL 1. FILARMONIYA BAĞI ƏRAZISINDƏ DEKORATIV NÖVLƏRIN TAKSONOMIK TƏRKIBI VƏ LANDŞAFT MEMARLIĞINDA ISTIFADƏ PERSPEKTIVLIYI

Fəsilə	**Cins**	**Növ**	**Əkin formaları**
Buxaceae Dumort.	*Buxus* L.	*Buxus sempervirens* L.	Qrup, border
Aquifoliaceae DC.	*İlex* L.	*İlex hyrcana* Pojark.	Tək, cüt, qrup, border
Magnoliaceaae Juss.	*Magnolia* L.	*Magnolia grandiflora* L.	Tək
Sapindaceae Juss.	*Koelreuteria* Laxm.	*Koelreuteria paniculata* Laxm.	Tək, qrup, border
Oleaceae Lindl.	*Olea* L.	*Olea europae* L.	Tək, cüt
	Ligustrum L.	*Ligustrum japonicum* Thunb.	Qrup, border
Apocynaceae Juss.	*Nerium* L.	*Nerium oleander* "Little Red"	Tək, qrup, border
Moraceae Gaudich.	*Maclura* Nutt.	*Maclura pomifera* Schneid.	Tək, qrup
Pittosporacea R.Br.	*Pittosporum* Banks.	*Pittosporum tobira* W.T.Aiton.	Cüt, qrup, border
Ulmaceae Mirb.	*Ulmus* L.	*Ulmus carpinifolia* Suckow	Tək, cüt, qrup,
Fabaceae Lindl.	*Gleditschia* L.	*Gleditschia triacanthos* L.	Tək, qrup

Digər tədqiqat ərazisi olan Səməd Vurğun parkı paytaxtın ən köhnə yaşıl məkanlarından biridir. 2009-cu ildə əsaslı şəkildə yenidən qurulmuşdur. Səməd Vurğun parkı daha sərbəst planlaşdırma, açıq məkan strukturu və yüksək rekreasiya funksiyası ilə fərqlənir. Bu fərqlər bitki seçimi və yerləşdirilməsində də öz əksini tapır. Tədqiqatlar zamanı park ərazisində dekorativ növlərin müxtəlif əlamətlərə görə qruplaşdırılması və kompozisiyaların tərtibatı formaları təhlil edilmişdir (cədvəl 2).

CƏDVƏL 2. SƏMƏD VURĞUN PARKINDA DEKORATIV NÖVLƏRIN TAKSONOMIK TƏRKIBI VƏ LANDŞAFT MEMARLIĞINDA ISTIFADƏ PERSPEKTIVLIYI

Fəsilə	**Cins**	**Növ**	**Əkin formaları**
Cupressaceae Bartlett	*Juniperus* L.	*Juniperus communis* L.	tək, qrup, bordur
Cupressaceae Bartlett	*Thuja* L.	*Thuja occidentalis* L.	bordur, qrup
Cupressaceae Bartlett	*Cupressus* L.	*Cupressus sempervirens* L.	tək, qrup
Rosaceae Juss.	*Prunus L.*	*Laurocerasus officinalis* Roem.	qrup, bordur
Oleaceae Hoffmanns. & Link	*Ligustrum* L.	*Ligustrum vulgaris* L.	bordur, qrup
Platanaceae T. Lestib.	*Platanus* L.	*Platanus acerifolia* Willd.	Tək
Moraceae Gaudich.	*Morus L.*	*Morus rubra* L.	Tək, qrup
Apocynaceae Juss.	*Nerium L.*	*Nerium oleander* L.	bordur, qrup
Fabaceae Lindl.	*Styphnolobium japonicum* L.	*Sophora japonica* L.	Tək

Müəyyən edilmişdir ki, Bakı şəhəri ərazisində park və bağ ərazilərində rast gəlinən yerli növlər Eldar şamı (Pinus eldarica Medw.), Zeytun (Olea europaea L.), Nar (Punica granatum L.), həmişəyaşıl şaquli sərv (Cupressus sempervirens L.) iqlimə yüksək adaptasiya, aşağı su tələbatı, uzunömürlülük və davamlılıq göstəməklə ekoloji tarazlığın qorunmasına töhfə verir. Xüsusilə, Eldar şamı küləyə davamlılığı və dekorativliyi ilə Bakı landşaftında geniş istifadə olunur. Bu növlər torpaq eroziyasının qarşısını almaqla yanaşı, mikroiqlimin tənzimlənməsində və ekoloji sabitliyin qorunmasında mühüm rol oynayır [3]. İntroduksiya olunmuş lifli vaşinqtoniya palması (Washingtonia filifera De Bary), maqnoliya (Magnolia grandiflora L.), Kanar finiki (Phoenix canariensis H.Wildpret), Leyland sərvi (Cupressus × leylandii A. B. Jacks. & Dallim.) kimi növlər estetik görünüşü, həmişəyaşıl formaları ilə şəhər mühitinə dekorativ dinamika qatır. Lakin, bu növlər yerli iqlim şəraitinə tam adaptasiya olunmadığından daha çox aqrotexniki qulluq, suvarma və mühafizə tədbirləri tələb edir. Müqayisəli təhlil göstərir ki, yerli bitkilər ekoloji baxımdan daha sabit və davamlı sistem yaradır, introduksiya olunmuş növlər isə əsasən, dekorativ və funksional-estetik rol oynayır. Bu baxımdan optimal yanaşma kimi hər iki qrup bitkilərin balanslı və elmi əsaslandırılmış istifadəsi tövsiyə olunur.

Landşaft memarlığında istifadə olunan bir sıra üslubların tətbiqi park və ya bağların vizual görünüşünü zənginləşdirmək üçün istifadə olunur. Müasir, klassik, mənzərə, qarışıq, meşə, kənd və digər üslublar landşaft dizaynının əvəz olunmaz hissəsidir. Müasir üslublu landşaft müxtəlif asimmetrik düz xəttli elementlərin tətbiqindən yaranır. Burada müxtəlif forma və üslublardan, müasir material sistemlərindən istifadə olunur. Müsəlman üslublu bağ bir neçə xüsusiyyəti ilə digər üslublardan seçilir. Həndəsi fiqurlar, dekorativ memarlıq elementləri də əsas xüsusiyyətlərdəndir.

Filarmoniya bağında landşaft üslubları daha çox klassik Avropa park ənənələrinə uyğun olaraq formalaşmış və strukturlaşdırılmışdır. Bağın daha erkən formalaşmış tarixi landşaft nümunəsi kimi simmetrik-planlaşdırma quruluşu, memarlıq elementləri ilə uzlaşdırılmış yaşıl kompozisiyası və nizamlı alleya sistemi ilə səciyyələnir. Burada, dendroloji struktur əsasən, uzunömürlü, həmişəyaşıl və kölgəyaradan növlər üzərində qurulmuşdur. Bağ əsasən, estetik və rekreasiya funksiyasını yerinə yetirən klassik şəhər bağıdır və burada dekorativ-ekzotik növlərin vizual effekti ön plandadır.

Səməd Vurğun parkı isə daha açıq planlı, geniş vizual perspektivlərə malik və intensiv rekreasiya funksiyası daşıyan şəhər parkı kimi xarakterizə olunur. Burada yaşıllıq elementləri daha sərbəst kompozisiya prinsipi əsasında yerləşdirilmiş, ağac və kol qrupları funksional zonalaşdırmaya uyğun şəkildə təşkil edilmişdir.

III. Nəticə

Tədqiqatlar nəticəsində məlum olmuşdur ki, Bakı şəraitində davamlı və estetik cəhətdən cəlbedici landşaftın formalaşdırılması üçün yerli və ekzotik bitki növlərinin harmonik sintezi əsas prinsip kimi qəbul edilməlidir. Bu zaman damcı suvarma və suya qənaət edən sistemlərin tətbiqi, küləkdən mühafizə zolaqlarının təşkili və torpağın strukturunun yaxşılaşdırılması və şoranlığın azaldılması kimi amillər prioritet hesab olunur. Filarmoniya bağı daha çox qoruyucu-klassik landşaft modeli əsasında formalaşmış, dendroloji sabitlik və mikroiqlim balansı priotetlik təşkil etmişdir. Səməd Vurğun parkı isə müasir şəhərsalma prinsiplərinə uyğun olaraq, funksional rekreasiya yükünü daşıyan, açıq məkan dominantlı park kimi inkişaf etmişdir. Birinci tədqiqat ərazisində strukturlaşdırılmış, kölgəyaradan və ekoloji sabit kompozisiya üstünlük təşkil etdiyi halda, digər ərazidə isə estetik müxtəliflik və sosial istifadə intensivliyi ön plana çıxır, introduksiya olunmuş növlər landşaftın estetik dəyərini artırır.

Bakı şəhərində yaşıllaşdırma layihələrinin effektivliyi bitki seçiminin elmi əsaslandırılmasından asılıdır. Yerli bitki növləri ekoloji dayanıqlığın təmin edilməsində əsas rol oynadığı halda, introduksiya olunmuş növlər estetik zənginlik yaradır. Beləliklə, şəhər yaşıllaşdırma layihələrində yerli və introduksiya olunmuş bitkilərin balanslı istifadəsi, iqlimə uyğun növlərin prioritetləşdirilməsi və resursların səmərəli idarə olunması müasir ekoloji mühəndislik yanaşmalarının əsas istiqamətlərindən biri kimi qiymətləndirilməlidir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Əliyev F.Ş. “Landşaft memarlığı və şəhər yaşıllıqları”. Bakı, 2018, 54 s.
2. Qasımova L. “Ekzotik bitkilərin Abşeron şəraitinə introduksiyası”. Azərbaycan Botanika Jurnalı, 2022, 70 s.
3. Qədirov H.M. Azərbaycanda şəhər və kəndlərin yaşıllaşdırılması. Bakı. Azərbaycan SSR EA nəşriyyatı. 1948, 105 s.
4. Məmmədov Q. “Azərbaycan florasının dekorativ növləri”. Bakı, 2020, 85 s.
5. Məmmədov T.S. Ekoloji amillərə görə Abşeronda yaşıllaşdırma. Bakı. Elm. 2004, 76 s.
6. Гасанова А.А. Сады и парки Азербайджана .Баку. Ишыг, 1996, 304 с.
7. Brown R. “Urban Landscape Design in Dry Climates”. London, 2016, 45 p.

EKOŞƏHƏRLƏRİN İNKİŞAFINDA BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN ROLU: AZƏRBAYCAN PERSPEKTİVİ

Rəvanə Qənbərli
Mühəndislik, fakültəsi
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xırdalan, Azərbaycan
qenberlirevane10@gmail.com

Xülasə: Bu tədqiqat ekoşəhərlərin inkişafında bərpa olunan enerji mənbələrinin rolunu Azərbaycan perspektivində kompleks şəkildə təhlil edir. Mövzunun aktuallığı urbanizasiya proseslərinin sürətlənməsi, iqlim dəyişiklikləri və enerji təhlükəsizliyi məsələlərinin kəskinləşməsi ilə şərtlənir. Tədqiqatın məqsədi bərpa olunan enerji mənbələrinin ekoşəhər modelinə inteqrasiya imkanlarını və təsir mexanizmlərini müəyyənləşdirməkdir. İşin elmi yeniliyi Azərbaycanın enerji potensialı əsasında ekoşəhər yanaşmasının sistemli qiymətləndirilməsi ilə bağlıdır. Praktiki əhəmiyyəti isə nəticələrin enerji siyasətində, şəhərsalma planlaşdırılmasında və “yaşıl enerji zonaları”nın inkişafında tətbiq oluna bilməsidir. Nəticələr göstərir ki, bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqi enerji səmərəliliyini artırır, karbon emissiyalarını azaldır və dayanıqlı şəhər inkişafını təmin edir, eyni zamanda iqtisadi diversifikasiyanı və ekoloji təhlükəsizliyi gücləndirir.

Açar sözlər*: ekoşəhər, bərpa olunan enerji, dayanıqlı inkişaf, enerji səmərəliliyi, Azərbaycan*

Abstract: This study provides a comprehensive analysis of the role of renewable energy sources in the development of eco-cities from the perspective of Azerbaijan. The relevance of the topic is driven by rapid urbanization, increasing climate change impacts, and growing concerns over energy security. The aim of the research is to identify the integration mechanisms and impacts of renewable energy within eco-city models. The scientific novelty lies in the systematic evaluation of eco-city development based on Azerbaijan's energy potential. The practical significance of the study is related to its applicability in energy policy, urban planning, and the development of green energy zones. The findings indicate that renewable energy enhances energy efficiency, reduces carbon emissions, and supports sustainable urban development, while also strengthening economic diversification and environmental security.

Keywords*: eco-city, renewable energy, sustainable development, energy security, energy efficiency, Azerbaijan*

I. GİRİŞ

Müasir dövrdə urbanizasiya proseslərinin sürətlənməsi, əhalinin şəhərlərdə cəmləşməsi və sənaye fəaliyyətinin genişlənməsi nəticəsində ekoloji problemlərin miqyası daha da artmışdır. Bu baxımdan "ekoşəhər" konsepsiyası dayanıqlı şəhər inkişafının əsas istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir. Ekoşəhərlər ətraf mühitə minimal təsir göstərən, resurslardan səmərəli istifadə edən və sosial-iqtisadi balansı qoruyan şəhər modelləridir. Bu modelin formalaşmasında bərpa olunan enerji mənbələrinin (günəş, külək, hidroenerji, bioenerji və s.) rolu xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Enerji sektorunun qlobal karbon emissiyalarının əsas mənbəyi olması (Beynəlxalq Enerji Agentliyinin – IEA məlumatlarına əsasən dünya üzrə CO_2 emissiyalarının təxminən 70%-i enerji istehsalı ilə bağlıdır) ekoşəhərlərdə alternativ enerji mənbələrinin tətbiqini zəruri edir. Azərbaycan da enerji resursları ilə zəngin ölkə olmaqla yanaşı, son illərdə "yaşıl enerji" siyasətinə keçid istiqamətində mühüm addımlar atır ki, bu da mövzunun aktuallığını daha da artırır.

Tədqiqat işinə olan ehtiyac, ilk növbədə, Azərbaycanda urban inkişaf strategiyalarında bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyasının hələ tam sistemli şəkildə həyata keçirilməməsi ilə bağlıdır. Mövcud ədəbiyyatlarda (məsələn, BMT-nin Dayanıqlı İnkişaf Məqsədləri çərçivəsində hesabatlar, Dünya Bankının enerji sektoruna dair araşdırmaları və IRENA-nın statistik məlumatları) bərpa olunan enerjinin şəhər inkişafına təsiri geniş şəkildə tədqiq olunsa da, Azərbaycan kontekstində ekoşəhər yanaşması ilə bağlı kompleks elmi tədqiqatlar məhduddur. Halbuki ölkədə Qarabağ və Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonlarının "yaşıl enerji zonası" elan edilməsi, həmçinin Xəzər dənizində külək enerjisi potensialının (təxminən 157 GW texniki potensial) mövcudluğu bu sahədə geniş imkanların olduğunu göstərir. Mövcud problemlər sırasında normativ-hüquqi bazanın təkmilləşdirilməsi, texnoloji infrastrukturun inkişafı və investisiya mexanizmlərinin yetərsizliyi xüsusi yer tutur.

Bu tədqiqat işinin əsas məqsədi ekoşəhərlərin inkişafında bərpa olunan enerji mənbələrinin rolunu elmi əsaslarla təhlil etmək və Azərbaycan şəraitində bu istiqamətdə tətbiq imkanlarını müəyyənləşdirməkdir. Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı vəzifələr müəyyən edilmişdir: ekoşəhər konsepsiyasının nəzəri əsaslarının araşdırılması; bərpa olunan enerji mənbələrinin şəhər mühitində tətbiq mexanizmlərinin təhlili; beynəlxalq təcrübənin öyrənilməsi; Azərbaycanın enerji potensialının qiymətləndirilməsi və mövcud layihələrin (məsələn, günəş və külək elektrik stansiyalarının qurulması) analizi; həmçinin ekoşəhər modelinin tətbiqi üçün təkliflərin hazırlanması. Tədqiqat zamanı müqayisəli analiz, sistemli yanaşma, statistik təhlil və məzmun analizi metodlarından istifadə edilmişdir. Metodoloji əsas kimi dayanıqlı inkişaf nəzəriyyəsi, yaşıl iqtisadiyyat prinsipləri və enerji keçidi konsepsiyası götürülmüşdür. İşin elmi yeniliyi Azərbaycanın urban inkişaf kontekstində bərpa olunan enerjinin ekoşəhər modeli ilə inteqrasiyasının kompleks şəkildə təhlil olunmasıdır. Praktiki əhəmiyyəti isə əldə olunan nəticələrin şəhərsalma siyasətində və enerji strategiyalarında tətbiq oluna bilməsi ilə bağlıdır.

Məqalə struktur baxımından giriş, əsas hissə və nəticədən ibarətdir. Girişdə mövzunun aktuallığı, məqsəd və vəzifələr, metodologiya və elmi yenilik əsaslandırılmışdır. Əsas hissədə ekoşəhər konsepsiyasının nəzəri aspektləri, bərpa olunan enerji mənbələrinin rolu və Azərbaycan üzrə mövcud vəziyyət geniş şəkildə təhlil edilmişdir.

II.Ekoşəhərlərin İnkİşafında alternatİv enerjİ mənbələrİ

Ekoşəhər konsepsiyasının nəzəri-metodoloji əsasları və enerji komponenti

Ekoşəhər anlayışı müasir urbanizasiya proseslərinin yaratdığı ekoloji və sosial-iqtisadi problemlərə cavab olaraq formalaşmışdır. Bu konsepsiya ilk dəfə XX əsrin sonlarında dayanıqlı inkişaf nəzəriyyəsinin praktik tətbiqi kimi irəli sürülmüş və şəhərsalma sahəsində yeni yanaşma kimi qəbul edilmişdir. Ekoşəhərlər

"dayanıqlı inkişafın üç sütunu" – iqtisadi səmərəlilik, sosial inklüzivlik və ekoloji balans prinsiplərinə əsaslanır [1]. Bu şəhərlərdə əsas məqsəd resurslardan rasional istifadə, ətraf mühitə təsirin minimuma endirilməsi və gələcək nəsillərin ehtiyaclarının qorunmasıdır.

Enerji sektoru ekoşəhər modelinin mərkəzi elementlərindən biri hesab olunur. Ənənəvi enerji mənbələri – fosil yanacaqlar (neft, qaz, kömür) – yüksək karbon emissiyası ilə xarakterizə olunur və iqlim dəyişikliklərinin əsas səbəblərindən biridir. BMT-nin məlumatlarına görə, qlobal istiləşmənin qarşısını almaq üçün enerji sistemlərinin dekarbonizasiyası vacibdir [2]. Bu baxımdan bərpa olunan enerji mənbələri (BEM) ekoşəhərlərin enerji təminatında əsas alternativ kimi çıxış edir:

- Bərpa olunan enerji sistemlərinin tətbiqi ekoşəhərlərdə aşağıdakı üstünlükləri təmin edir:
- Karbon emissiyalarının azalması və iqlim dəyişikliklərinin təsirinin zəiflədilməsi;
- Enerji təhlükəsizliyinin artırılması və xarici enerji asılılığının azaldılması;
- Uzunmüddətli iqtisadi səmərəlilik və enerji xərclərinin optimallaşdırılması;
- İnnovativ texnologiyaların tətbiqi və yeni iş yerlərinin yaradılması.

Ekoşəhərlərdə enerji sistemləri "decentralizasiya olunmuş enerji istehsalı" prinsipi əsasında qurulur. Bu modeldə enerji istehsalı mərkəzləşdirilmiş iri stansiyalar əvəzinə kiçik və orta güclü yerli mənbələr hesabına həyata keçirilir. Günəş panelləri, külək turbinləri və mikrohidro qurğular bu sistemin əsas komponentləridir. Bu yanaşma enerji itkilərini azaldır və sistemin dayanıqlığını artırır [3].

Bununla yanaşı, ekoşəhərlərdə "ağıllı enerji idarəetməsi" (smart energy management) və "ağıllı şəbəkələr" (smart grids) tətbiq edilir. Bu texnologiyalar real vaxt rejimində enerji istehsalı və istehlakını tənzimləyərək enerji səmərəliliyini artırır. Enerji saxlanma sistemləri (batareyalar, hidrogen texnologiyaları və s.) isə bərpa olunan enerji mənbələrinin fasiləli xarakterini kompensasiya edir [4].

1.2. Beynəlxalq təcrübə: ekoşəhərlərdə bərpa olunan enerjinin tətbiqi modelləri və çağırışlar

Qlobal təcrübə göstərir ki, ekoşəhərlərin uğurlu inkişafı bərpa olunan enerji mənbələrinin geniş tətbiqi ilə sıx bağlıdır. İnkişaf etmiş ölkələrdə bu sahədə müxtəlif modellər tətbiq olunmuşdur və bu modellər urban inkişaf siyasətində mühüm rol oynayır.

Məsələn, Danimarkanın Kopenhagen şəhəri karbon neytrallığı strategiyası çərçivəsində külək enerjisinə əsaslanan enerji sistemi qurmuşdur. Şəhərin enerji istehsalının böyük hissəsi külək turbinləri hesabına təmin edilir və bu model şəhərin karbon emissiyalarını əhəmiyyətli dərəcədə azaltmışdır [5]. Digər nümunə kimi Almaniyanın Frayburq şəhəri göstərilə bilər ki, burada günəş enerjisi texnologiyaları geniş tətbiq olunur və şəhər "günəş şəhəri" kimi tanınır.

Birləşmiş Ərəb Əmirliklərində yerləşən Masdar City layihəsi isə tamamilə bərpa olunan enerji mənbələrinə əsaslanan innovativ ekoşəhər modelidir. Bu şəhərdə günəş enerjisi əsas enerji mənbəyi kimi istifadə olunur və enerji səmərəliliyi yüksək texnologiyalar vasitəsilə təmin edilir [6]. Bundan əlavə, şəhərdə tullantıların təkrar emalı və su resurslarının idarə olunması da yüksək səviyyədə təşkil edilmişdir.

Lakin bu uğurlu təcrübələrlə yanaşı, bir sıra problemlər və çağırışlar da mövcuddur:

- Yüksək kapital qoyuluşu və uzun geri dönüş müddəti;
- Enerji saxlama texnologiyalarının məhdud inkişafı;
- Bərpa olunan enerji istehsalının iqlim şəraitindən asılılığı;
- Texnoloji bilik və kadr potensialının çatışmazlığı.

Beynəlxalq Bərpa Olunan Enerji Agentliyinin (IRENA) hesabatlarına görə, bərpa olunan enerji layihələrinin genişlənməsi üçün dövlət dəstəyi və effektiv tənzimləmə mexanizmləri vacibdir [7]. Bu baxımdan subsidiya siyasəti, vergi güzəştləri və dövlət-özəl tərəfdaşlığı kimi alətlər mühüm rol oynayır.

1.3. Azərbaycan şəraitində bərpa olunan enerji potensialı və ekoşəhər inkişaf perspektivləri

Azərbaycan Respublikasında enerji sektoru uzun müddət neft və qaz ehtiyatlarına əsaslanmışdır. Lakin qlobal enerji keçidi və iqlim dəyişiklikləri ilə mübarizə kontekstində ölkədə bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafı prioritet istiqamətlərdən birinə çevrilmişdir. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin müəyyən etdiyi strateji yol xəritələrində "yaşıl enerji"nin inkişafı xüsusi yer tutur [8].

Azərbaycanın coğrafi mövqeyi bərpa olunan enerji baxımından əlverişlidir. Günəş radiasiyası səviyyəsinin yüksək olması (illik 1600–2000 kWh/m²) günəş enerjisinin geniş tətbiqinə imkan yaradır. Eyni zamanda, Xəzər dənizinin sahil zonalarında və açıq dəniz ərazilərində külək enerjisi potensialı olduqca yüksəkdir. Dünya Bankının məlumatına görə, Xəzər dənizində Azərbaycanın texniki külək enerjisi potensialı təxminən 157 GW təşkil edir [9].

İşğaldan azad edilmiş Qarabağ və Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonlarının "yaşıl enerji zonası" elan edilməsi ekoşəhər modelinin tətbiqi üçün mühüm imkanlar yaradır. Bu ərazilərdə ağıllı şəhər və ağıllı kənd layihələri həyata keçirilir ki, burada bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqi əsas prioritet kimi müəyyən edilmişdir. Bu layihələr çərçivəsində günəş və hidroenerji stansiyalarının qurulması, enerji səmərəli infrastrukturun yaradılması və rəqəmsal idarəetmə sistemlərinin tətbiqi nəzərdə tutulur.

Son illərdə Azərbaycanda bir sıra iri bərpa olunan enerji layihələri həyata keçirilmişdir. Məsələn, günəş və külək elektrik stansiyalarının tikintisi üzrə beynəlxalq enerji şirkətləri ilə əməkdaşlıq qurulmuşdur. Bu layihələr ölkənin enerji balansında bərpa olunan enerjinin payını artırmağa və karbon emissiyalarını azaltmağa xidmət edir [10].

Bununla yanaşı, ölkədə ekoşəhər inkişafına mane olan müəyyən problemlər mövcuddur:

- Bərpa olunan enerji texnologiyalarının idxaldan asılılığı;
- Maliyyə resurslarının məhdudluğu və investisiya riskləri;
- Normativ-hüquqi bazanın tam formalaşmaması;
- Enerji səmərəliliyi üzrə maarifləndirmənin yetərsizliyi.

Bu problemlərin aradan qaldırılması üçün kompleks yanaşma tələb olunur. Dövlət siyasətinin gücləndirilməsi, beynəlxalq əməkdaşlığın genişləndirilməsi və innovativ texnologiyaların tətbiqi əsas prioritetlər kimi çıxış edir. Eyni zamanda, yerli kadr potensialının inkişafı və elmi-tədqiqat fəaliyyətinin gücləndirilməsi də mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

1.4. Ekoşəhər modelinin tətbiqi üçün strateji yanaşmalar və tövsiyələr

Azərbaycan şəraitində ekoşəhərlərin inkişafı üçün strateji yanaşma aşağıdakı istiqamətləri əhatə etməlidir:

1. Enerji siyasətinin diversifikasiyası – bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji balansında payının artırılması və fosil yanacaqlardan asılılığın azaldılması.
2. Ağıllı şəhər texnologiyalarının tətbiqi – enerji idarəetməsi, nəqliyyat və kommunal xidmətlərdə rəqəmsal həllərin genişləndirilməsi.
3. İnvestisiya mühitinin yaxşılaşdırılması – xarici və daxili investorlar üçün əlverişli şəraitin yaradılması.
4. Normativ-hüquqi bazanın təkmilləşdirilməsi – bərpa olunan enerji sektorunu tənzimləyən qanunvericiliyin inkişaf etdirilməsi.
5. İctimai maarifləndirmə və təhsil – əhalinin ekoloji şüurunun artırılması və yaşıl həyat tərzinin təşviqi.

Beləliklə, bərpa olunan enerji mənbələri ekoşəhərlərin inkişafında əsas rol oynayır və Azərbaycanın bu sahədə böyük potensialı mövcuddur. Mövcud imkanların effektiv istifadəsi ölkənin dayanıqlı inkişafına və qlobal ekoloji problemlərin həllinə mühüm töhfə verə bilər.

III. Nəticə

Aparılmış tədqiqatın nəticələri göstərir ki, ekoşəhər konsepsiyasının effektiv tətbiqi bərpa olunan enerji mənbələrinin (BEM) şəhər energetika sisteminə inteqrasiyası ilə birbaşa bağlıdır və bu inteqrasiya dayanıqlı urban inkişafın əsas determinantlarından biri kimi çıxış edir. Tədqiqat çərçivəsində aparılmış müqayisəli və sistemli təhlillər əsasında müəyyən edilmişdir ki, bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqi şəhər mühitində karbon emissiyalarının azaldılmasına, enerji səmərəliliyinin yüksəldilməsinə və ekoloji tarazlığın qorunmasına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Xüsusilə beynəlxalq təcrübənin analizi göstərir ki, ekoşəhərlərdə enerji istehsalının diversifikasiyası və "ağıllı şəbəkə" texnologiyalarının tətbiqi enerji itkilərini minimuma endirməklə yanaşı, enerji sistemlərinin dayanıqlığını artırır [1].

Tədqiqat nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqi yalnız ekoloji deyil, həm də iqtisadi baxımdan səmərəli nəticələr verir. Belə ki, ilkin investisiya xərclərinin yüksək olmasına baxmayaraq, uzunmüddətli perspektivdə əməliyyat xərclərinin azalması və enerji idxalından asılılığın zəifləməsi iqtisadi dayanıqlılığı təmin edir. Beynəlxalq Enerji Agentliyinin məlumatlarına əsasən, bərpa olunan enerji texnologiyalarının maya dəyəri son onillikdə əhəmiyyətli dərəcədə azalmış və bu sahədə investisiyaların cəlbediciliyi artmışdır [2]. Bu tendensiya ekoşəhərlərin iqtisadi modelinin davamlılığını təsdiq edir.

Azərbaycan kontekstində aparılan təhlillər göstərir ki, ölkənin bərpa olunan enerji potensialı ekoşəhər modelinin tətbiqi üçün kifayət qədər genişdir. Xüsusilə günəş və külək enerjisi sahəsində mövcud olan yüksək texniki potensial (müvafiq olaraq yüksək günəş radiasiyası və Xəzər dənizində təxminən 157 GW külək enerjisi ehtiyatı) ölkənin enerji sisteminin diversifikasiyası üçün mühüm əsas yaradır [8]. Qarabağ və

Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonlarının "yaşıl enerji zonası" elan edilməsi isə bu potensialın praktiki reallaşdırılması istiqamətində strateji addım kimi qiymətləndirilə bilər.

Eyni zamanda, tədqiqat nəticələri göstərir ki, Azərbaycanda ekoşəhərlərin inkişafı üçün institusional və texnoloji çağırışlar mövcuddur. Bunlara normativ-hüquqi bazanın təkmilləşdirilməsinə ehtiyac, investisiya mühitinin məhdudluğu, texnoloji asılılıq və ixtisaslı kadr potensialının yetərsizliyi daxildir. Bu problemlərin mövcudluğu bərpa olunan enerji layihələrinin genişmiqyaslı tətbiqini müəyyən dərəcədə məhdudlaşdırır [14]. Lakin aparılmış təhlillər göstərir ki, dövlət siyasətinin gücləndirilməsi, beynəlxalq əməkdaşlığın genişləndirilməsi və innovativ texnologiyaların transferi bu maneələrin aradan qaldırılmasına imkan verə bilər.

Eksperimental və analitik nəticələrin ümumiləşdirilməsi əsasında belə qənaətə gəlinir ki, ekoşəhər modelinin Azərbaycan şəraitində tətbiqi üçün aşağıdakı əsas istiqamətlər prioritet hesab edilməlidir: enerji sisteminin dekarbonizasiyası, bərpa olunan enerji mənbələrinin payının artırılması, ağıllı şəhər texnologiyalarının inteqrasiyası və enerji səmərəliliyinin yüksəldilməsi. Bu istiqamətlər üzrə həyata keçiriləcək tədbirlər yalnız ekoloji problemlərin azaldılmasına deyil, həm də ölkənin sosial-iqtisadi inkişafına müsbət təsir göstərəcəkdir.

Nəticə etibarilə, aparılmış tədqiqat sübut edir ki, bərpa olunan enerji mənbələri ekoşəhərlərin formalaşmasında strateji rol oynayır və Azərbaycanın mövcud resurs potensialı bu modelin uğurla tətbiqinə imkan verir. Bu baxımdan, ölkədə həyata keçirilən "yaşıl enerji" siyasəti və müvafiq layihələr gələcəkdə dayanıqlı şəhər inkişafının təmin olunmasında əsas hərəkətverici qüvvə kimi çıxış edə bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2020). World Cities Report 2020: The value of sustainable urbanization. UN-Habitat.
2. International Energy Agency (IEA). (2023). World Energy Outlook 2023. IEA.
3. World Green Building Council. (2019). Bringing embodied carbon upfront. WorldGBC.
4. C40 Cities. (2019). Copenhagen Climate Plan 2025. C40 Cities Climate Leadership Group.
5. Masdar City. (2021). Masdar City project overview. Abu Dhabi Future Energy Company.
6. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). World Energy Transitions Outlook 2022. IRENA.
7. Azərbaycan Respublikası Energetika Nazirliyi. (2023). Enerji sektoru üzrə statistik məlumatlar. Bakı.
8. World Bank. (2020). Offshore wind roadmap for Azerbaijan. World Bank Group.
9. United Nations. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press.
10. World Bank. (2018). Sustainable cities initiative overview. World Bank Group.
11. International Energy Agency (IEA). (2020). Smart grids: Tracking report. IEA.
12. Azərbaycan Respublikası. (2022). Energetika sektorunun inkişafı üzrə strateji yol xəritəsi. Bakı.
13. World Bank. (2021). Caspian Sea offshore wind potential study. World Bank Group.
14. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). Renewable energy market analysis: Eurasia. IRENA.

AZƏRBAYCANDA TƏBİİ SU EHTİYATLARININ EKOLOJİ MÜHAFİZƏSİ VƏ SƏMƏRƏLİ İDARƏ OLUNMASI: QARABAĞ VƏ ŞƏRQİ ZƏNGƏZUR REGİONU NÜMUNƏSİNDƏ

Ülkər Vəlizadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xırdalan, Azərbaycan
ulvalizada@beu.edu.az

Xülasə: Bu məqalədə Azərbaycanın təbii su ehtiyatlarının qorunması və səmərəli idarə olunması məsələləri Qarabağ və Şərqi Zəngəzur regionları nümunəsində geniş şəkildə təhlil olunur. Regionun hidroqrafik xüsusiyyətləri, su ehtiyatlarının formalaşma mənbələri, mövcud ekoloji problemlər və onların həlli istiqamətində ekoloji mühəndislik yanaşmaları araşdırılır. Eyni zamanda, su resurslarının davamlı istifadəsi, müasir texnologiyaların tətbiqi və ekoloji təhlükəsizliyin təmin olunması məsələləri ön plana çəkilir.

Açar sözlər*: su ehtiyatları, ekoloji mühəndislik, davamlı inkişaf, su idarəçiliyi, Qarabağ, Şərqi Zəngəzur*

Abstract: This article comprehensively analyzes the issues of protection and efficient management of Azerbaijan's natural water resources, using the regions of Karabakh and Eastern Zangezur as a case study. The hydrographic characteristics of the region, sources of water resource formation, existing environmental problems, and ecological engineering approaches to their solution are examined. At the same time, particular attention is given to the sustainable use of water resources, the application of modern technologies, and ensuring environmental safety.
Keywords*: water resources, ecological engineering, sustainable development, water management, Karabakh, Eastern Zangezur*

I. GİRİŞ

Su ehtiyatları hər bir ölkənin strateji əhəmiyyət daşıyan əsas təbii resurslarından biri olmaqla yanaşı, biosferdə mövcud olan ekosistemlərin sabitliyinin qorunmasında, təbii tarazlığın saxlanılmasında və sosial-iqtisadi inkişafın uzunmüddətli perspektivdə təmin olunmasında həlledici rol oynayır. Su yalnız həyat mənbəyi kimi deyil, eyni zamanda kənd təsərrüfatı, sənaye, energetika və xidmət sektorlarının dayanıqlı fəaliyyətinin əsas şərtlərindən biri kimi çıxış edir. Bu baxımdan su ehtiyatlarının keyfiyyəti və kəmiyyət baxımından əlçatanlığı dövlətlərin milli təhlükəsizliyi və iqtisadi dayanıqlılığı ilə birbaşa əlaqəlidir.

Müasir dövrdə, xüsusilə XXI əsrdə qlobal miqyasda baş verən iqlim dəyişiklikləri, atmosfer proseslərinin qeyri-sabit xarakter alması, yağıntı rejimində müşahidə olunan dəyişikliklər, eləcə də dünya əhalisinin sürətlə artması və urbanizasiya proseslərinin genişlənməsi su ehtiyatlarına olan təzyiqi əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır. Bununla yanaşı, sənayeləşmənin intensivləşməsi, suyun istehsalat proseslərində geniş istifadə olunması və çirkab suların kifayət qədər təmizlənmədən təbiətə buraxılması su ehtiyatlarının keyfiyyətinin pisləşməsinə səbəb olmuşdur. Bütün bu amillər birlikdə su resurslarının idarə olunmasını daha mürəkkəb və çoxşaxəli problemə çevirərək, yeni yanaşmaların və innovativ texnologiyaların tətbiqini zəruri edir.

Azərbaycan Respublikası da qeyd olunan qlobal problemlərin təsir dairəsində olan ölkələrdən biridir. Xüsusilə ölkənin Qarabağ və Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonları həm təbii-coğrafi xüsusiyyətlərinə, həm də zəngin su ehtiyatlarına görə xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bununla belə, uzun illər davam etmiş silahlı münaqişə nəticəsində bu ərazilərdə su təsərrüfatı infrastrukturu ciddi zərər görmüş, hidrotexniki qurğuların əksəriyyəti yararsız vəziyyətə düşmüş və su ehtiyatlarının idarə olunması sistemində ciddi boşluqlar yaranmışdır. Bu proseslər yalnız suyun kəmiyyət baxımından itirilməsinə deyil, eyni zamanda onun keyfiyyətinin aşağı düşməsinə və ekoloji tarazlığın pozulmasına səbəb olmuşdur.

Eyni zamanda, regionda torpaq eroziyası, meşə örtüyünün azalması, çay hövzələrinin deqradasiyası və su mənbələrinin çirklənməsi kimi ekoloji problemlər də su ehtiyatlarının davamlı istifadəsinə mənfi təsir göstərir. Bu baxımdan Qarabağ və Şərqi Zəngəzur regionlarında su ehtiyatlarının bərpası və müasir tələblərə uyğun idarə olunması yalnız ekoloji məsələ deyil, həm də iqtisadi və sosial inkişafın təmin edilməsi baxımından strateji əhəmiyyət kəsb edir.

Belə bir şəraitdə ekoloji mühəndislik yanaşmalarının tətbiqi xüsusi aktuallıq qazanır. Müasir texnologiyalara əsaslanan su idarəetmə sistemlərinin qurulması, inteqrasiya olunmuş resurs idarəetmə

prinsiplərinin tətbiqi, suyun təkrar istifadəsi və itkilərin minimuma endirilməsi istiqamətində tədbirlərin həyata keçirilməsi regionun dayanıqlı inkişafına mühüm töhfə verə bilər. Nəticə etibarilə, su ehtiyatlarının qorunması və səmərəli idarə olunması Qarabağ və Şərqi Zəngəzurun yenidən qurulması prosesində əsas prioritetlərdən biri kimi çıxış edir və bu sahədə elmi əsaslandırılmış yanaşmaların tətbiqi zəruri hesab olunur.

Su ehtiyatlarının iqtisadi və sosial əhəmiyyəti.

Su ehtiyatları Qarabağ və Şərqi Zəngəzur regionlarının sosial-iqtisadi inkişafının əsas dayaqlarından biri kimi çıxış edir və bu resursların düzgün, elmi əsaslara söykənən idarə olunması regionun uzunmüddətli inkişaf strategiyasında həlledici rol oynayır. Xüsusilə post-münaqişə dövründə həyata keçirilən genişmiqyaslı bərpa və yenidənqurma işləri fonunda su ehtiyatlarının səmərəli istifadəsi daha da aktuallaşmışdır. Bu baxımdan su yalnız təbii resurs deyil, həm də iqtisadi artımın, sosial rifahın və ekoloji tarazlığın təmin olunmasının əsas komponentlərindən biri kimi çıxış edir.

İlk növbədə, kənd təsərrüfatı sektorunda su ehtiyatlarının rolu əvəzsizdir. Qarabağ və Şərqi Zəngəzur bölgələri əlverişli torpaq-iqlim şəraitinə malik olmaqla yanaşı, su təminatı baxımından düzgün idarəetmə tələb edir. Müasir suvarma texnologiyalarının, o cümlədən damcı suvarma və yağmurlama sistemlərinin tətbiqi su itkilərinin minimuma endirilməsinə və məhsuldarlığın artırılmasına imkan yaradır. Su ehtiyatlarının optimal bölgüsü kənd təsərrüfatında diversifikasiyanı stimullaşdırır, yeni əkin sahələrinin dövriyyəyə cəlb olunmasına şərait yaradır və ərzaq təhlükəsizliyinin möhkəmləndirilməsinə xidmət edir.

Sənaye sektorunda da su mühüm istehsal amili kimi çıxış edir. Regionda yaradılan yeni sənaye parkları və istehsal müəssisələri üçün suyun həm kəmiyyət, həm də keyfiyyət baxımından təmin olunması vacibdir. Suyun təkrar emalı, qapalı su dövriyyəsi sistemlərinin tətbiqi və innovativ texnologiyaların istifadəsi sənayedə su sərfiyyatını azaltmaqla yanaşı, ekoloji yükü də azaldır. Bu isə davamlı sənaye inkişafına və ətraf mühitin qorunmasına müsbət təsir göstərir.

Enerji sektorunda su ehtiyatlarının əhəmiyyəti xüsusilə hidroenergetika sahəsində özünü göstərir. Qarabağ və Şərqi Zəngəzur regionu zəngin su resursları və dağ çayları ilə seçildiyindən burada kiçik və orta güclü su elektrik stansiyalarının yaradılması üçün böyük potensial mövcuddur. Bu potensialın reallaşdırılması regionun enerji təminatının gücləndirilməsinə, alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafına, həmçinin enerji təhlükəsizliyinin artırılmasına töhfə verir.

Əhalinin keyfiyyətli içməli su ilə təmin olunması isə sosial rifahın yüksəldilməsi baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Müasir su təchizatı və kanalizasiya sistemlərinin qurulması, suyun təmizlənməsi və sanitariya standartlarına uyğun şəkildə paylanması insanların sağlam həyat şəraitinin təmin edilməsinə xidmət edir. Bu istiqamətdə həyata keçirilən layihələr həm də regiona qayıdan əhalinin məskunlaşma prosesini sürətləndirir və yaşayış səviyyəsini yüksəldir.

Bununla yanaşı, su ehtiyatları turizm sektorunun inkişafında da mühüm rol oynayır. Qarabağ və Şərqi Zəngəzurun zəngin su mənbələri — çaylar, bulaqlar, göllər və mineral sular — ekoturizm və sağlamlıq turizmi üçün geniş imkanlar yaradır. Bu resursların qorunması və düzgün idarə olunması regionun turizm potensialının reallaşdırılmasına, yeni iş yerlərinin yaradılmasına və yerli iqtisadiyyatın canlanmasına şərait yaradır.

Mövcud ekoloji problemlərin təhlili.

Regionda su ehtiyatlarının idarə olunması ilə bağlı mövcud problemlər çoxşaxəli xarakter daşıyır və onların hər biri ekosistemlərə, iqtisadi fəaliyyətə və əhalinin rifahına birbaşa təsir göstərir. Bu problemlərin effektiv həlli yalnız ayrı-ayrı tədbirlərlə deyil, elmi əsaslara söykənən, uzunmüddətli və inteqrasiya olunmuş yanaşma ilə mümkündür.

Su mənbələrinin çirklənməsi ən ciddi ekoloji təhdidlərdən biri olaraq qalır. Məişət tullantılarının nizamsız şəkildə su hövzələrinə axıdılması, sənaye müəssisələrindən çıxan təmizlənməmiş çirkab sular və kənd təsərrüfatında istifadə olunan gübrə və pestisidlərin yuyularaq çay və göllərə qarışması suyun kimyəvi və bioloji tərkibini pozur. Bu isə içməli su ehtiyatlarının azalmasına, su ekosistemlərində oksigen çatışmazlığına və nəticədə balıq və digər su canlılarının kütləvi məhvinə səbəb ola bilər. Eyni zamanda, uzunmüddətli çirklənmə torpaq və yeraltı suların da keyfiyyətini aşağı salaraq insan sağlamlığı üçün risk yaradır.

Hidrotexniki infrastrukturun zədələnməsi və köhnəlməsi də su idarəçiliyində ciddi maneələr yaradır. Su anbarlarının lil ilə dolması onların faydalı həcmini azaldır, kanalların sızdırması və qeyri-səmərəli quruluşu isə suyun böyük hissəsinin itirilməsinə səbəb olur. Bəzi ərazilərdə nasos stansiyalarının və paylayıcı sistemlərin işlək vəziyyətdə olmaması suyun kənd təsərrüfatı sahələrinə vaxtında və lazımi həcmdə

çatdırılmasını çətinləşdirir. Nəticədə suyun qeyri-bərabər paylanması, məhsuldarlığın azalması və iqtisadi itkilər qaçılmaz olur.

Su çatışmazlığı və qeyri-bərabər paylanma problemi xüsusilə iqlim və relyef xüsusiyyətləri ilə sıx bağlıdır. Yaz və yay aylarında suya tələbatın artdığı dövrdə çaylarda suyun səviyyəsinin aşağı düşməsi suvarma sistemlərinə ciddi təzyiq yaradır. Dağlıq ərazilərdə su ehtiyatlarının nisbətən çox olmasına baxmayaraq, düzən zonalara ötürülməsində texniki və logistiki çətinliklər mövcuddur. Bu isə region daxilində su balansının pozulmasına və bəzi ərazilərdə xroniki su qıtlığının yaranmasına gətirib çıxarır.

İqlim dəyişiklikləri bu problemləri daha da mürəkkəbləşdirən əsas amillərdən biridir. Climate change nəticəsində temperaturun artması buxarlanmanı sürətləndirir, yağıntıların mövsümlər üzrə qeyri-bərabər paylanması isə su ehtiyatlarının proqnozlaşdırılmasını çətinləşdirir. Quraqlıq dövrlərinin uzanması və ekstremal hava hadisələrinin (sel, daşqın və s.) artması həm su ehtiyatlarının idarə olunmasına, həm də mövcud infrastruktura əlavə risklər yaradır. Bu proseslər uzunmüddətli perspektivdə regionun su təhlükəsizliyini ciddi şəkildə təhdid edir.

Ekoloji mühəndislik yanaşmaları və innovativ həllər.

Mövcud problemlərin aradan qaldırılması üçün müasir ekoloji mühəndislik yanaşmalarının tətbiqi zəruridir. Bu yanaşmalar yalnız texniki həllərlə məhdudlaşmır, eyni zamanda institusional idarəetmə, hüquqi mexanizmlər və ictimai iştirakçılıq kimi komponentləri də özündə birləşdirir. Belə kompleks yanaşma su ehtiyatlarının qorunması və davamlı istifadəsi baxımından daha effektiv nəticələr əldə etməyə imkan verir. İnteqrasiya olunmuş su resurslarının idarə edilməsi konsepsiyası (Integrated Water Resources Management) suyun iqtisadi, sosial və ekoloji aspektlərini vahid sistem çərçivəsində əlaqələndirir. Bu model çay hövzəsi səviyyəsində planlaşdırmanı əsas götürərək müxtəlif sektorlar – kənd təsərrüfatı, sənaye və məişət istifadəsi arasında balansın təmin olunmasına xidmət edir. IWRM çərçivəsində maraqlı tərəflərin – dövlət qurumlarının, yerli icmaların və özəl sektorun birgə iştirakı qərarların daha şəffaf və effektiv qəbulunu təmin edir.

Müasir su təmizləmə texnologiyalarının tətbiqi suyun keyfiyyətinin yüksəldilməsində mühüm rol oynayır. Xüsusilə bioloji təmizləmə sistemləri tullantı sularında olan üzvi maddələrin mikroorqanizmlər vasitəsilə parçalanmasını təmin edir. Membran filtrasiya üsulları, o cümlədən ultrafiltrasiya və tərs osmos texnologiyaları suyun tərkibindəki zərərli maddələrin yüksək dəqiqliklə ayrılmasına imkan yaradır. Bundan əlavə, Ultraviolet disinfection texnologiyası kimyəvi maddələrdən istifadə etmədən patogen mikroorqanizmlərin zərərsizləşdirilməsini təmin edərək ekoloji cəhətdən daha təhlükəsiz həll kimi çıxış edir. Kənd təsərrüfatında su itkisinin minimuma endirilməsi məqsədilə innovativ suvarma texnologiyalarının tətbiqi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Damcı suvarma sistemləri suyun birbaşa bitki kök zonasına ötürülməsini təmin edərək buxarlanma və sızma itkilərini azaldır. Yağmurlama üsulu isə geniş sahələrdə bərabər su paylanmasını təmin edir. Sensor əsaslı ağıllı sistemlər torpaq rütubətini, temperaturu və hava şəraitini real vaxt rejimində analiz edərək suvarmanı avtomatik tənzimləyir və resursların optimallaşdırılmasına kömək edir.

Rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi su ehtiyatlarının idarə olunmasında yeni mərhələ yaradır. Geographic Information System vasitəsilə su obyektlərinin xəritələşdirilməsi, çirklənmə mənbələrinin müəyyən edilməsi və risk zonalarının təhlili mümkün olur. Peyk müşahidələri və dron texnologiyaları geniş ərazilərdə operativ məlumat toplamağa imkan verir. Real vaxt monitorinq sistemləri isə suyun səviyyəsi, keyfiyyəti və axın sürəti kimi göstəriciləri fasiləsiz izləyərək operativ qərar qəbulunu dəstəkləyir.

Eyni zamanda, ekoloji bərpa və rekultivasiya tədbirləri regionun ekoloji tarazlığının bərpasında mühüm rol oynayır. Çay hövzələrinin bərpası suyun təbii axın rejiminin qorunmasına və biomüxtəlifliyin artırılmasına şərait yaradır. Yaşıllaşdırma layihələri torpaq eroziyasının qarşısını alır, karbon emissiyalarını azaldır və mikroiqlimi yaxşılaşdırır. Bundan əlavə, deqradasiyaya uğramış torpaqların rekultivasiyası kənd təsərrüfatı üçün yararlı sahələrin genişlənməsinə və ekosistem xidmətlərinin bərpasına imkan verir.

Davamlı inkişaf və gələcək perspektivlər.

Qarabağ və Şərqi Zəngəzur regionlarının gələcək inkişafı birbaşa su ehtiyatlarının düzgün və davamlı idarə olunmasından asılıdır. Bu istiqamətdə "yaşıl enerji" layihələrinin su resursları ilə inteqrasiyası, ekoloji təhlükəsizliyin təmin olunması və beynəlxalq təcrübənin tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Bununla yanaşı, su ehtiyatlarının hüquqi tənzimlənməsi mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi və institusional idarəetmənin gücləndirilməsi bu sahədə effektivliyin artırılmasına imkan verəcəkdir. Davamlı inkişaf prinsiplərinə əsaslanan yanaşma regionun uzunmüddətli sosial-iqtisadi və ekoloji dayanıqlığını təmin edə bilər.

II. Nəticə

Aparılan təhlillər göstərir ki, Qarabağ və Şərqi Zəngəzur regionları zəngin su ehtiyatlarına malik olmaqla böyük inkişaf potensialına sahibdir. Lakin mövcud ekoloji problemlər, infrastruktur çatışmazlıqları və iqlim dəyişikliklərinin təsiri bu resursların qorunmasını və səmərəli idarə olunmasını zəruri edir.

Müasir ekoloji mühəndislik yanaşmalarının tətbiqi, innovativ texnologiyalardan istifadə və effektiv idarəetmə strategiyalarının həyata keçirilməsi su ehtiyatlarının davamlı istifadəsini təmin edə bilər. Bu isə öz növbəsində regionun iqtisadi dirçəlişinə, əhalinin rifahının yüksəlməsinə və ekoloji tarazlığın bərpasına mühüm töhfə verəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Azərbaycan Respublikasının Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi (2022). Azərbaycanın su ehtiyatları və onların idarə olunması. Bakı.
2. Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası (2019). Azərbaycanın hidroqrafiyası və su ehtiyatları. Bakı: Elm.
3. Azərbaycan Dövlət Statistika Komitəsi (2023). Ətraf mühit və təbii ehtiyatlar üzrə statistik məcmuə. Bakı.
4. Bakı Dövlət Universiteti (2018). Hidrologiya və su ehtiyatlarının idarə olunması. Bakı.
5. Əliyev, F. (2018). Azərbaycanın su ehtiyatlarının müasir vəziyyəti və istifadəsi problemləri. Bakı.
6. Rza Mahmudov (2022). Azərbaycanda regional iqlim dəyişmələri və təhlükəli hidrometeoroloji hadisələr. Bakı.
7. Azərbaycan Hidrometeorologiya Xidməti (2022). İqlim dəyişiklikləri və su ehtiyatlarına təsiri. Bakı.

XƏZƏR DƏNIZININ MÜHAFIZƏSININ TƏKMILLƏŞDIRILMƏSI ISTIQAMƏTLƏRI

Aydan Raziyeva
"Mühəndislik fakültəsi"
Xırdalan, Azərbaycan
araziyeva@std.beu.edu.az

Rəşail İsmayılov
"Mühəndislik fakültəsi,
Kimya mühəndisliyi kafedrası
Xırdalan, Azərbaycan
raismayilov1@beu.edu.az

Xülasə: Bu tədqiqat Xəzər dənizinin ətraf mühitin qorunmasının təkmilləşdirilməsinə təcili ehtiyacı araşdırır, onun ekoloji kövrəkliyini və insan tərəfindən artan təzyiqləri vurğulayır. Tədqiqatın əhəmiyyəti həm ekosistemləri, həm də regional iqtisadiyyatları təhdid edən artan çirklənmə, biomüxtəlifliyin itirilməsi və iqlim dəyişikliyindən qaynaqlanır. Tədqiqatın əsas məqsədi inteqrasiya olunmuş, elmi əsaslı yanaşmalar vasitəsilə davamlı idarəetmə və qorunma üçün effektiv istiqamətləri müəyyən etməkdir. Tədqiqatın elmi yeniliyi ekoloji, texnoloji və idarəetmə perspektivlərini vahid çərçivədə birləşdirərək ətraf mühit problemlərinin hərtərəfli təhlilini təmin etməkdən ibarətdir. Tədqiqat müasir monitorinq texnologiyalarının, ekosistem əsaslı idarəetmənin və Tehran Sazişi kimi regional əməkdaşlıq mexanizmlərinin rolunu vurğulayır. Tədqiqat həmçinin qapalı hövzə sistemlərində ətraf mühitlə bağlı qərar qəbuletmə proseslərinə daha uyğunlaşa bilən və məlumatlara əsaslanan yanaşma təqdim edir. Praktik baxımdan, tədqiqat siyasətçilər və maraqlı tərəflər üçün çirklənməyə nəzarət sistemlərinin təkmilləşdirilməsi, biomüxtəlifliyin qorunmasının gücləndirilməsi və sərhədlərarası əməkdaşlığın təşviqi daxil olmaqla, praktik tövsiyələr təklif edir.

Açar sözlər*: Xəzər dənizi, ətraf mühitin mühafizəsi, çirklənməyə nəzarət, biomüxtəlifliyin qorunması, iqlim dəyişikliyi.*

DIRECTIONS FOR IMPROVING THE PROTECTION OF THE CASPIAN SEA

Abstract: This study examines the urgent need to improve the environmental protection of the Caspian Sea, highlighting its ecological fragility and increasing human pressures. The importance of the study stems from the increasing pollution, biodiversity loss and climate change that threaten both ecosystems and regional economies. The main objective of the study is to identify effective directions for sustainable management and protection through integrated, science-based approaches. The scientific novelty of the study lies in providing a comprehensive analysis of environmental problems by combining ecological, technological and management perspectives in a single framework. The study emphasizes the role of modern monitoring technologies, ecosystem-based management and regional cooperation mechanisms such as the Tehran Agreement. The study also provides a more adaptable and data-based approach to environmental decision-making processes in closed basin systems. From a practical perspective, the study offers practical recommendations for policymakers and stakeholders, including improving pollution control systems, strengthening biodiversity protection, and promoting transboundary cooperation.

Keywords: Caspian Sea, environmental protection, pollution control, biodiversity protection, climate change.

I. GİRİŞ

Xəzər dənizi zəngin təbii sərvətləri, biomüxtəlifliyi və ətraf sahil dövlətləri üçün iqtisadi əhəmiyyəti sayəsində unikal və strateji cəhətdən əhəmiyyətli bir ekosistem təmsil edir. Lakin son illərdə sənaye çirklənməsi, neft hasilatı, həddindən artıq balıq ovu və iqlim dəyişikliyi kimi artan insan təzyiqləri ətraf mühitin əhəmiyyətli dərəcədə pisləşməsinə səbəb olmuşdur. Bu tədqiqatın əhəmiyyəti Xəzər dənizinin üzləşdiyi artan ekoloji risklərdədir; bu risklər təkcə dəniz biomüxtəlifliyini təhdid etmir, həm də regional sosial-iqtisadi sabitliyə mənfi təsir göstərir. Buna görə də, ətraf mühitin mühafizəsi mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi həm milli, həm də beynəlxalq səviyyələrdə prioritet məsələyə çevrilmişdir.

Əvvəlki tədqiqatlar çirklənmə, biomüxtəlifliyin itirilməsi və hidroloji dəyişikliklər kimi fərdi aspektləri hərtərəfli araşdırmışdır; lakin bu məsələlər ümumiyyətlə təcrid olunmuş şəkildə həll edilmişdir. Hazırkı mühafizə tədbirləri ölkələr arasında qeyri-kafi koordinasiya, ətraf mühit qaydalarının zəif tətbiqi və inteqrasiya olunmuş idarəetmə yanaşmalarının olmaması ilə məhdudlaşır. Bu çatışmazlıqlar Xəzər dənizindəki ekoloji problemlərin bir-biri ilə əlaqəli təbiətini həll edən hərtərəfli və çoxsahəli tədqiqatın zəruriliyini vurğulayır.

Bu məqsədə çatmaq üçün hazırkı tədqiqat elmi ədəbiyyatın keyfiyyət təhlilini, regional ekoloji siyasətlərin müqayisəli qiymətləndirilməsini və ətraf mühitin monitorinqində istifadə olunan texnoloji vasitələrin qiymətləndirilməsini birləşdirən sistemli və inteqrativ metodologiyadan istifadə edir. Tədqiqatın məqsədi mövcud problemləri təhlil etməklə və davamlı həllər təklif etməklə ətraf mühitin mühafizəsinin təkmilləşdirilməsinin əsas aspektlərini müəyyən etməkdir. Bu tədqiqatın elmi yeniliyi ekoloji, texnoloji və idarəetmə perspektivlərini vahid analitik çərçivəyə inteqrasiya edən vahid yanaşmasındadır. Bundan əlavə, tədqiqatın praktik əhəmiyyəti siyasətçilərə və maraqlı tərəflərə daha effektiv ekoloji strategiyalar və idarəetmə təcrübələri hazırlamaqda dəstək olmaq potensialında əks olunur.

Xəzər dənizinin əsas ekoloji problemləri

Xəzər dənizi Yer kürəsindəki ən böyük qapalı daxili su hövzəsidir və böyük ekoloji, iqtisadi və geosiyasi əhəmiyyətə malikdir. Azərbaycan, İran, Qazaxıstan, Rusiya və Türkmənistanla əhatə olunmuş dəniz balıqçılıq, nəqliyyat və enerji istehsalı üçün həyati əhəmiyyətli bir mənbə kimi xidmət edir. Xəzər suitiləri və kürü istehsalı üçün qlobal əhəmiyyət kəsb edən müxtəlif nərə balığı növləri kimi endemik növlər də daxil olmaqla, misilsiz biomüxtəlifliyə ev sahibliyi edir. Əhəmiyyətinə baxmayaraq, Xəzər dənizi son onilliklərdə əsasən insan fəaliyyəti və iqlim dəyişikliyi səbəbindən ciddi ekoloji deqradasiya ilə üzləşib. Onun qorunmasının yaxşılaşdırılması inteqrasiya olunmuş, elmi əsaslı və əməkdaşlıq edən regional yanaşma tələb edir.

Xəzər dənizi üçün ən vacib ekoloji təhdidlərdən biri çirklənmədir. Qapalı hövzə quruluşuna görə dənizə daxil olan çirkləndiricilər zamanla toplanır və çirklənməni xüsusilə davamlı edir və aradan qaldırılmasını çətinləşdirir. Çirklənmənin əsas mənbələrinə sənaye tullantıları, kənd təsərrüfatı axıntıları, təmizlənməmiş bələdiyyə çirkab suları və neftlə əlaqəli fəaliyyətlər daxildir. Dənizə axan suyun təxminən 80%-ni təşkil edən Volqa çayı yuxarı hövzə bölgələrindən əhəmiyyətli sənaye və kənd təsərrüfatı çirkləndiriciləri daşıyır. Bölgədə intensiv neft və qaz hasilatı fəaliyyətləri nəzərə alınmaqla, neft çirklənməsi xüsusilə narahatedicidir. Həm dənizdə qazma, həm də karbohidrogenlərin daşınması dağılmalar və xroniki sızmalar riski yaradır. Peyk monitorinq metodlarından istifadə edən elmi tədqiqatlar dənizin müxtəlif hissələrində

geniş yayılmış neft çirklənməsini aşkar etmiş və bu çirklənmənin yalnız təcrid olunmuş hadisələrlə məhdudlaşmadığını, həm də sistemli bir problem olduğunu göstərmişdir. Ətraf mühit standartlarında və monitorinqində əhəmiyyətli irəliləyişlər edilmədikcə, bu çirkləndiricilərin kümülatif təsiri dəniz ekosistemlərini pisləşdirməyə və insan sağlamlığına təhlükə yaratmağa davam edəcəkdir (UNEP, 2023).

Digər əsas narahatlıq biomüxtəlifliyin sürətlə azalmasıdır. Xüsusilə nərə balığı növlərinin həddindən artıq balıq ovu balıq populyasiyalarını əhəmiyyətli dərəcədə azaltmış və ekoloji tarazlığı pozmuşdur. Qanunsuz balıq ovu və kvotaların zəif tətbiqi problemi daha da ağırlaşdırır. Sahil inkişafı, çirklənmə və dəyişkən su səviyyələrinin səbəb olduğu yaşayış yerlərinin məhv edilməsi də biomüxtəlifliyin itirilməsinə səbəb olmuşdur. Bölgənin yeganə dəniz məməlisi olan Xəzər suitisi hazırda çirklənmə, xəstəlik və yaşayış yerinin kiçilməsi kimi amillərin birləşməsi səbəbindən nəsli kəsilməkdə olan hesab olunur. Gəmiçilik fəaliyyəti vasitəsilə gətirilən invaziv növlər qida zəncirlərini dəyişdirmiş və yerli növlər üçün rəqabəti gücləndirmişdir. Bu inkişaflar qorunmaya, eləcə də iqtisadi istifadəyə üstünlük verən ekosistem əsaslı idarəetmə yanaşmalarına təcili ehtiyacı vurğulayır (Leroy, 2013).

İqlim dəyiyikliyi Xəzər dənizinin üzləşdiyi ekoloji problemlərə daha bir mürəkkəblik qatı əlavə edir. Son illərdə dəniz səviyyələri əhəmiyyətli dərəcədə aşağı düşüb; bu tendensiya buxarlanma sürətinin artması və çay axınının azalması ilə əlaqələndirilir. Bu azalma sahil ekosistemləri, bataqlıq ərazilər və insan məskənləri üçün ciddi nəticələrə səbəb olur. Daha yüksək su səviyyələri üçün tikilmiş limanlar və infrastruktur daha az funksional hala gəlir, yeni yaranan dəniz dibi əraziləri isə səhralaşma və toz çirklənməsi riski altındadır. Temperatur və duzluluqdakı dəyişikliklər də növlərin paylanmasına və reproduktiv dövrlərə təsir göstərir və ekosistemi daha da qeyri-sabitləşdirir. Bu problemlərin həlli yalnız yerli uyğunlaşma tədbirlərini deyil, həm də daha geniş iqlim yumşaldıcı səylərini tələb edir (World Bank, 2021).

Bu çətinliklərə cavab olaraq, regional əməkdaşlıq Xəzər dənizinin qorunmasının təməl daşına çevrilib. 2003-cü ildə qəbul edilmiş Tehran Konvensiyası (Xəzər dənizinin dəniz mühitinin qorunması haqqında Çərçivə Konvensiyası) regionda ətraf mühitin idarə olunması üçün əsas hüquqi sənəddir. O, çirklənmənin idarə edilməsi, biomüxtəlifliyin qorunması və ətraf mühitə təsirin qiymətləndirilməsi kimi sahələrdə beş sahilyanı dövlət arasında əməkdaşlıq üçün çərçivə təmin edir. Neft dağılmalarına hazırlıq və transsərhəd ətraf mühitə təsirin qiymətləndirilməsi də daxil olmaqla sonrakı protokollar kollektiv cavab mexanizmlərini gücləndirməyi hədəfləyir. Lakin, bu müqavilələrin effektivliyi onların tam tətbiqindən, icrasından və yaranan çətinliklərə uyğun olaraq müntəzəm olaraq yenilənməsindən asılıdır (Tehran Convention Secretariat, 2003).

Texnoloji yeniliklər ətraf mühitin mühafizəsini yaxşılaşdırmaq üçün əhəmiyyətli imkanlar təqdim edir. Uzaqdan zondlama, peyk görüntüləri və məlumat analitikasında irəliləyişlər çirklənmənin, suyun səviyyəsinin və ekosistem dəyişikliklərinin daha dəqiq monitorinqinə imkan verir. Coğrafi İnformasiya Sistemləri və ətraf mühit modelləşdirmə vasitələri tədqiqatçılara və siyasətçilərə yüksək riskli sahələri müəyyən etməyə və hədəflənmiş müdaxilələr hazırlamağa imkan verir. Məsələn, ətraf mühitin həssaslıq xəritələşdirilməsi qorunma üçün prioritet sahələri müəyyən etməyə və neft dağılması halında müdaxilə strategiyalarına rəhbərlik etməyə kömək edə bilər. Rəqəmsal texnologiyaların ətraf mühitin idarəetmə sistemlərinə inteqrasiyası qərar qəbuletmə proseslərini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdıra və şəffaflığı artıra bilər. Davamlı resursların idarə edilməsi Xəzər dənizinin mühafizəsinin digər təməl daşıdır. Buraya çirkab sularının təmizlənməsi infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi, sənaye tullantılarının azaldılması və daha təmiz istehsal texnologiyalarının təşviqi daxildir. Enerji sektorunda daha sərt ətraf mühit qaydaları və qazma və nəqliyyatda ən yaxşı təcrübələrin tətbiqi çirklənmə riskini azalda bilər. Balıqçılıq idarəçiliyi dəqiq müəyyən edilmiş kvotalara və həddindən artıq istismarın qarşısını almaq üçün güclü icra mexanizmlərinə malik elmi məlumatlara əsaslanmalıdır. Davamlı şəkildə idarə olunarsa, akvakulturanın inkişafı vəhşi balıq populyasiyalarına təzyiqin azaldılmasına da kömək edə bilər (International Union for Conservation of Nature, 2022).

İctimaiyyətin məlumatlandırılması və maraqlı tərəflərin iştirakı eyni dərəcədə vacibdir. Ətraf mühitin mühafizəsinə yalnız hökumətin tədbirləri ilə nail olmaq olmaz; bu, yerli icmaların, müəssisələrin və QHT-lərin fəal iştirakını tələb edir. Təhsil proqramları, media kampaniyaları və icma əsaslı təşəbbüslər ətraf mühit məsələləri barədə məlumatlılığı artıra və daha məsuliyyətli davranışı təşviq edə bilər. Maraqlı tərəflərin qərar qəbuletmə proseslərinə daxil edilməsi də ətraf mühit siyasətlərinin effektivliyini və legitimliyini artıra bilər.

Xəzər dənizinin uzunmüddətli qorunması vahid və uyğunlaşa bilən idarəetmə yanaşmasının qəbul edilməsindən asılıdır. Bu, ətraf mühit, iqtisadi və sosial amillərin qarşılıqlı əlaqəsini nəzərə almaq və dəyişən şərtlərə cavab olaraq çevik olmaq deməkdir. İnteqrasiya olunmuş sahil zonasının idarə edilməsi, ekosistem əsaslı idarəetmə və sərhədyanı əməkdaşlıq çərçivələri bu yanaşmanın vacib komponentləridir. Sahilyanı dövlətlər arasında davamlı elmi tədqiqatlar və məlumat mübadiləsi inkişaf edən problemləri anlamaq və effektiv həllər hazırlamaq üçün çox vacib olacaqdır (European Environment Agency, 2022).

II.Nəticə

Nəticə olaraq, tədqiqat göstərir ki, Xəzər dənizinin effektiv şəkildə qorunması üçün çirklənmənin qarşısının alınması, biomüxtəlifliyin qorunması və iqlimlə bağlı problemlərin eyni vaxtda həllinə yönəlmiş inteqrasiya olunmuş və əlaqələndirilmiş yanaşma tələb olunur. Nəticələr təsdiqləyir ki, Tehran Sazişi də daxil olmaqla mövcud mexanizmlər dəyərli bir təməl yaradır, lakin daha güclü tətbiq, texnoloji dəstək və regional əməkdaşlıq olmadan qeyri-kafidir. Tədqiqatın əsas üstünlüyü onun ətraf mühit, texnoloji və idarəetmə aspektlərini vahid çərçivədə birləşdirən hərtərəfli və çoxsahəli perspektivindədir. Bu yanaşma təklif olunan həllərin səmərəliliyini və mümkünlüyünü artırmaqla siyasətçilər və maraqlı tərəflər üçün praktik dəyər təklif edir. Ümumilikdə, nəticələr müasir monitorinq alətləri və əməkdaşlıq tədbirləri ilə dəstəklənən davamlı idarəetmə strategiyalarının Xəzər dənizinin ekoloji vəziyyətini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdıra və uzunmüddətli dayanıqlığını təmin edə biləcəyini vurğulayır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). Protecting the Caspian Sea Environment. Retrieved from https://www.unep.org
2. Tehran Convention Secretariat. (2003). Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea. Tehran.
3. World Bank. (2021). Caspian Sea Environmental Challenges and Opportunities. Washington, DC.
4. International Union for Conservation of Nature. (2022). Biodiversity Status of the Caspian Sea. Gland, Switzerland.
5. European Environment Agency. (2022). Water Resources and Pollution Assessment in the Caspian Basin.
6. Leroy, S. A. G., et al. (2013). Climate change and the Caspian Sea level fluctuations. Quaternary International, 302, 1–15.

XƏZƏR DƏNIZININ MÜHAFIZƏSI: EKOLOJI ÇAĞIRIŞLAR VƏ DAYANIQLI INKIŞAF PERSPEKTIVLƏRI

Aydan Raziyeva
"Mühəndislik fakültəsi"
Xırdalan, Azərbaycan
araziyeva@std.beu.edu.az

Pərviz Məmmədov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Mühəndislik/Sənaye mühəndisliyi
Xırdalan, Azərbaycan
pmemmedov@beu.edu.az

Xülasə: Bu tədqiqat, Xəzər dənizinin ekoloji problemlərini və davamlı inkişaf perspektivlərini araşdırır və çirklənmə, həddindən artıq balıq ovu və iqlim dəyişikliyi kimi məsələlərə diqqət yetirir. Tədqiqatın məqsədi regional iqtisadi inkişafı dəstəkləyərkən dəniz ekosistemini qorumaq üçün effektiv qoruma strategiyalarını və davamlı resursların idarə edilməsi təcrübələrini araşdırmaqdır. Tədqiqatın elmi yeniliyi ekoloji təhlil və siyasət icmalını birləşdirən inteqrasiya olunmuş yanaşmadadır. Onun praktik əhəmiyyəti Xəzər dənizinin qorunması üçün uyğun həllər təqdim etməsində aydın şəkildə özünü göstərir. Nəticələr dənizin uzunmüddətli dayanıqlığını təmin etmək üçün daha güclü regional əməkdaşlığa, daha sərt ekoloji qaydalara və icmaların iştirakına ehtiyac olduğunu vurğulayır.

***Açar sözlər**: Xəzər dənizi, ekoloji çətinliklər, davamlı inkişaf, qoruma strategiyaları, regional əməkdaşlıq.*
Abstract: This study examines the environmental challenges and sustainable development prospects of the Caspian Sea, focusing on issues such as pollution, overfishing, and climate change. The aim of the study is to explore effective conservation strategies and sustainable resource management practices to protect the marine ecosystem while supporting regional economic development. The scientific novelty of the study lies in the integrated approach that combines ecological analysis and policy review. Its practical significance is clearly demonstrated in providing appropriate solutions for the protection of the Caspian Sea. The results highlight the need for stronger regional cooperation, stricter environmental regulations, and community participation to ensure the long-term sustainability of the sea.
Keywords: Caspian Sea, environmental challenges, sustainable development, conservation strategies, regional cooperation.

III. GİRİŞ

Dünyanın ən böyük daxili su hövzələrindən biri olan Xəzər dənizi biomüxtəlifliyini, suyun keyfiyyətini və ümumi dayanıqlığını təhdid edən getdikcə daha ciddi ekoloji problemlərlə üzləşir. Bu həyati əhəmiyyətli su hövzəsinin ekoloji qorunması çirklənmə, həddindən artıq balıq ovu, iqlim dəyişikliyi və yaşayış mühitinin məhv edilməsi kimi insan fəaliyyətinin yaratdığı təzyiqlər səbəbindən əsas narahatlıq doğuran sahəyə çevrilib. Bu təhdidlər Xəzər dənizi ekosisteminin uzunmüddətli sağlamlığını və canlılığını təmin etmək üçün təcili və hərtərəfli tədbirləri zəruri edir. Bu kontekstdə, tədqiqat Xəzər dənizinin üzləşdiyi təcili ekoloji problemləri araşdırmaq və mövcud təhlükələri azalda və ekoloji dayanıqlığı artıra biləcək effektiv qoruma strategiyalarına diqqət yetirərək davamlı inkişaf perspektivlərini müzakirə etmək məqsədi daşıyır.

Bu tədqiqatın zəruriliyi, ilk növbədə, təcrid olunmuş ekoloji məsələlərə yönəlmiş mövcud tədqiqatlardakı boşluqlardan irəli gəlir. Dənizin müxtəlif problemlərini hərtərəfli şəkildə həll edən inteqrasiya olunmuş qoruma strategiyaları yoxdur. Əvvəlki tədqiqatlar Xəzərin bütün ekoloji aspektləri üzrə uzunmüddətli dayanıqlılıq təcrübələrini kifayət qədər araşdırmayıb.

Tədqiqat məqsədlərinə çatmaq üçün bu tədqiqat həm keyfiyyət, həm də kəmiyyət metodlarından istifadə edir, ekoloji təhlil və siyasət icmalını birləşdirir. Davamlı idarəetmə üçün uyğun həllər təklif etmək üçün mövcud elmi ədəbiyyata əsaslanır. Bu məqalənin strukturu belədir: birincisi, Xəzər dənizinə ekoloji təhdidləri təqdim edir; ikincisi, mövcud qoruma səylərini araşdırır; üçüncüsü, regionda davamlı inkişafı təşviq etmək üçün strategiyalar təqdim edir.

Xəzər dənizinin üzləşdiyi ekoloji problemlər

Xəzər dənizi ekosistemi insan fəaliyyətinin artan təzyiqi altındadır. Xüsusilə neft və qaz əməliyyatlarından qaynaqlanan çirklənmə suyun keyfiyyətinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərib. Neft dağılmaları, təmizlənməmiş sənaye tullantıları və kənd təsərrüfatı axınları onun sularının çirklənməsinə və su mühitlərinin deqradasiyasına səbəb olur. Suyun çirklənməsi ilə yanaşı, balıq ehtiyatlarının, xüsusən də qiymətli yumurtaları üçün nərə balığının həddindən artıq ovlanması Xəzər ekosisteminin biomüxtəlifliyinə təsir edən bir çox əsas növün azalmasına səbəb olub. İqlim dəyişikliyi də əhəmiyyətli bir təhlükədir; artan temperatur regionun hidroloji balansını dəyişdirir və dənizin duzluluq səviyyəsinə təsir göstərir. Bu ətraf mühit dəyişiklikləri mövcud problemləri daha da artırır və Xəzər dənizinin idarə olunması və qorunması üçün yeni çətinliklər yaradır (Xenarios və b., 2025)

Ən aktual ekoloji problemlərdən biri Xəzərin unikal biomüxtəlifliyinin tükənməsidir. Həddindən artıq balıq ovu balıq populyasiyalarını kəskin şəkildə azaldıb, nərə balığı ehtiyatları bir vaxtlar çiçəklənən kürü sənayesini dəstəkləyirdi, indi isə çox aşağı səviyyədədir. Yaşayış yerlərinin məhv edilməsi, xüsusən də sahil xətti boyunca, su növləri üçün mövcud yetişdirmə və qidalanma sahələrini daha da azaldır. Bu növlərin azalması balıqçılıqdan asılı icmaların və daha geniş regional iqtisadiyyatın dolanışıqlarını təhdid edir.

Davamlı inkişaf perspektivləri

Davamlı inkişafa keçid Xəzər dənizinin uzunmüddətli ekoloji sağlamlığının təmin edilməsi üçün çox vacibdir. Bu, yalnız təcili ekoloji təhlükələri aradan qaldırmaqla yanaşı, həm də dənizin təbii sərvətlərinin qorunmasını təşviq etməklə yanaşı, yerli icmaların və sənaye sahələrinin ehtiyaclarını da dəstəkləyən strategiyaların tətbiqini əhatə edir.

Davamlı inkişafın əsas strategiyalarından biri daha güclü ekoloji qaydaların yaradılması və beynəlxalq müqavilələrin həyata keçirilməsidir. Xəzər dənizi ölkələri artıq Xəzər dənizinin qorunması haqqında Çərçivə Konvensiyası vasitəsilə çirklənmənin azaldılmasına və biomüxtəlifliyin qorunmasına yönəlmiş əməkdaşlıq səylərinə başlayıblar. Lakin bu qaydaların tətbiqi və monitorinqi zəif olaraq qalır və vahid,

effektiv idarəetmə sisteminin yaradılması üçün beş ölkə arasında daha da əməkdaşlıq tələb olunur (Kostianoy, Pesic, 2024).

Davamlı balıqçılıq idarəetmə yanaşması da vacib bir məsələdir. Buraya balıqçılıq kvotalarının müəyyən edilməsi, balıqçılıq təcrübələrinin daha ciddi şəkildə monitorinqi və balıq istehsalının alternativ mənbəyi kimi akvakulturanın təşviqi daxildir. Bundan əlavə, bataqlıq və sahil əraziləri kimi deqradasiyaya uğramış yaşayış yerlərinin bərpasına üstünlük verilməlidir; bu, əsas növlərin yaşamasını və ekosistemin ümumi sağlamlığını təmin etmək üçün vacibdir.

Bundan əlavə, Xəzər dənizi regionunda ətraf mühitin pisləşməsinin əhəmiyyətli bir mənbəyi olan neft və qaz hasilatından asılılığı azaltmaq üçün yaşıl texnologiyaların və bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişaf etdirilməsinə artan ehtiyac var. Külək və günəş enerjisi kimi bərpa olunan enerji mənbələri regionda enerji istehsalının ekoloji izini azaldacaq davamlı alternativlər təmin edə bilər (Yusifova, 2025).

Qoruma və inkişafa inteqrasiya olunmuş yanaşma

Xəzər dənizinin uğurlu qorunması ekoloji qorunma ehtiyacını sosial-iqtisadi inkişafla tarazlaşdıran vahid və inteqrasiya olunmuş bir yanaşma tələb edir. Bu ikili diqqət çox vacibdir, çünki Xəzər dənizi həyati əhəmiyyətli təbii sərvət olsa da, beş qonşu ölkənin iqtisadiyyatında da əhəmiyyətli rol oynayır. Davamlı yanaşma dənizin ekoloji sağlamlığının qorunmasını təmin etməklə yanaşı, eyni zamanda yerli icmaların və balıqçılıq, turizm və enerji hasilatı kimi sənaye sahələrinin dolanışıqlarını da dəstəkləməlidir.

Bu yanaşmanın ayrılmaz tərkib hissəsi yerli icmaların, müəssisələrin və dövlət qurumlarının qərar qəbuletmə proseslərində fəal iştirakıdır. Bu maraqlı tərəflər Xəzər dənizinin ehtiyatlarından davamlı istifadəni təşviq edən effektiv idarəetmə strategiyaları hazırlamaq və həyata keçirmək üçün birlikdə çalışmalıdırlar. Xüsusilə yerli icmalar dənizin ekosistemi haqqında dəyərli biliklərə malikdirlər və onların qorunma səylərində iştirakı sahiblik və məsuliyyət hissini inkişaf etdirə bilər. Onları qərar qəbuletmə prosesinə daxil etməklə regional qorunma siyasətləri daha praktik, mədəni cəhətdən uyğun və daha çox dəstəklənə bilər (Mahmudov, 2022).

Xəzər dənizinin ekoloji əhəmiyyəti barədə məlumatlılığın artırılması inteqrasiya olunmuş qorunma strategiyasının digər vacib aspektidir. Bu, ictimai münasibətlərin daha çox ekoloji məsuliyyətə yönəlməsinə və təkcə fərdi səviyyədə deyil, həm də Dənizdən asılı olan sənaye sahələrində davamlı təcrübələrin təşviqinə kömək edə bilər. Təhsil kampaniyaları, seminarlar və media işi ictimaiyyətin həddindən artıq balıq ovu, çirklənmə və yaşayış mühitinin itirilməsinin təsirləri barədə məlumatlandırılmasında mühüm rol oynaya bilər və beləliklə, daha ekoloji cəhətdən şüurlu bir cəmiyyət yarada bilər.

Bundan əlavə, UNESCO və Birləşmiş Millətlər Təşkilatının Ətraf Mühit Proqramı (UNEP) kimi beynəlxalq təşkilatların iştirakı Xəzər dənizinin qorunması üçün təcrübə, maliyyələşdirmə və müdafiə təmin etməkdə çox vacibdir. Bu təşkilatlar oxşar ekoloji problemlərlə üzləşən digər bölgələrdən bilik və ən yaxşı təcrübələrin paylaşılmasını asanlaşdıra bilər. Onlar həmçinin genişmiqyaslı qoruma layihələri üçün maliyyələşdirmə cəlb etməyə və Xəzər dənizi sahili dövlətləri arasında əməkdaşlığı təşviq edən beynəlxalq çərçivələrin inkişafına rəhbərlik etməyə kömək edə bilərlər. Onların sərhədyanı əməkdaşlığın təşviqindəki rolu Dənizin transsərhəd problemlərinin effektiv şəkildə həlli üçün vacibdir (UNEP / DHI, 2024).

Beş Xəzəryanı dövlət arasında regional əməkdaşlıq və dialoq uzunmüddətli qoruma strategiyalarının hazırlanması və həyata keçirilməsi üçün də vacibdir. Xəzər dənizinin üzləşdiyi ekoloji problemlər bir-biri ilə əlaqəlidir və milli sərhədləri aşır; buna görə də ölkələr arasında ortaq qoruma gündəliyi üzrə əməkdaşlıq vacibdir (Tehran Convention Secretariat, 2024). Ortaq siyasətlərin, ortaq elmi tədqiqatların və əlaqələndirilmiş idarəetmə təcrübələrinin hazırlanması yolu ilə Xəzəryanı ölkələr çirklənməyə nəzarət, yaşayış mühitinin bərpası və davamlı balıqçılıq idarəçiliyi kimi məsələləri daha vahid şəkildə həll edə bilərlər..

IV. Nəticə

Bu tədqiqat Xəzər dənizinin üzləşdiyi çirklənmə, həddindən artıq balıq ovu və yaşayış mühitinin deqradasiyası kimi kritik ekoloji problemləri vurğulayır. Nəticələr daha güclü regional əməkdaşlığa, daha sərt ətraf mühit qaydalarına və davamlı resursların idarə olunması təcrübələrinin tətbiqinə ehtiyac olduğunu vurğulayır. Yaşayış yerlərinin bərpası, davamlı balıqçılıq və yaşıl texnologiyalara diqqət Xəzər dənizinin ekoloji sağlamlığını qoruya bilər.

Bu tədqiqatın üstünlüyü problemlərin hərtərəfli anlaşılmasını təmin edən və praktik həllər təklif edən çoxsahəli yanaşmasındadır. Xəzər dənizinin effektiv qorunması Xəzər ölkələrinin, yerli icmaların və beynəlxalq təşkilatların əlaqələndirilmiş səylərini tələb edəcək. Tətbiq olunarsa, bu strategiyalar həm ətraf

mühitə, həm də ətraf iqtisadiyyatlara fayda verə bilər və dənizin uzunmüddətli dayanıqlığını təmin edə bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI
1. United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). Protecting the Caspian Sea Environment. Retrieved from https://www.unep.org
2. Tehran Convention Secretariat. (2003). Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea. Tehran.
3. World Bank. (2021). Caspian Sea Environmental Challenges and Opportunities. Washington, DC.
4. International Union for Conservation of Nature. (2022). Biodiversity Status of the Caspian Sea. Gland, Switzerland.
5. European Environment Agency. (2022). Water Resources and Pollution Assessment in the Caspian Basin.
6. Leroy, S. A. G., et al. (2013). Climate change and the Caspian Sea level fluctuations. Quaternary International, 302, 1–15.

İNTEQRASİYA OLUNMUŞ İDARƏETMƏ SİSTEMLƏRİNDƏ EKOLOJİ VƏ ƏMƏYİN MÜHAFİZƏSİ

Arsen Bağırov
"Ekologiya Mühəndisliyi / Ətraf mühitin mühafizəsi və təbii ehtiyatlardan səmərəli istifadə olunması"
Xırdalan, Azərbaycan
arsenbagirov7@gmail.com

Rəşail İsmayılov
"Mühəndislik fakültəsi, Kimya mühəndisliyi kafedrası
Xırdalan, Azərbaycan
raismayilov1@beu.edu.az

Xülasə: Bu tədqiqat ağır sənaye sektorunda, xüsusilə metallurgiya müəssisələrində ISO 14001 və ISO 45001 beynəlxalq standartlarının inteqrasiya olunmuş idarəetmə sistemləri çərçivəsində tətbiq metodologiyasını və səmərəliliyini araşdırır. Tədqiqatın aktuallığı metallurgiya sahəsində yüksək termal yüklənmə, toksik qaz emissiyaları, ağır mexaniki təhlükələr və resursların idarə olunması zərurəti ilə əsaslandırılır. İşin məqsədi, ayrı-ayrılıqda fəaliyyət göstərən idarəetmə sistemləri nəticəsində yaranan bürokratik yükü və sənədləşmə təkrarçılığını azaltmaq, vahid riskəsaslı yanaşma tətbiqi ilə həm işçi sağlamlığını, həm də ətraf mühiti eyni vaxtda qorumaqdır.
Elmi yenilik, metallurgiya istehsalat proseslərinə uyğunlaşdırılmış və Annex SL strukturuna əsaslanan inteqrasiya olunmuş risk diaqnostikası və idarəetmə modelinin işlənib hazırlanmasıdır. Tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti istehsalat qəzalarının minimuma endirilməsi, audit xərclərinin azaldılması, hüquqi uyğunluğun təmin olunması və müəssisə resurs səmərəliliyinin artırılması ilə ifadə olunur. Nəticələr göstərir ki, inteqrasiya olunmuş idarəetmə sistemi metallurgiya müəssisələrində əməliyyat risklərini azaldaraq dayanıqlı inkişafı və beynəlxalq rəqabət üstünlüyünü təmin edir.
Açar sözlər*: inteqrasiya olunmuş idarəetmə sistemləri, metallurgiya sənayesi, ISO 14001, ISO 45001, əməyin mühafizəsi, sənaye təhlükəsizliyi, risklərin idarə olunması, Annex SL, HSE inteqrasiyası..*

INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEMS İN ENVİRONMENTAL PROTECTİON AND OCCUPATİONAL SAFETY

Abstract: This study investigates the methodology and effectiveness of applying the ISO 14001 and ISO 45001 international standards within integrated management systems in the heavy industry sector, with a particular focus on metallurgical enterprises. The relevance of the research is supported by the necessity to manage high thermal loads, toxic gas emissions, severe mechanical hazards, and resource consumption in metallurgy production environments. The aim of the study is to reduce the bureaucratic burden and

documentation redundancy arising from separately functioning management systems, and to simultaneously protect both employee health and the environment through a unified, risk-based approach.
The scientific novelty of the research lies in the development of an integrated risk diagnostic and management model, specifically adapted to metallurgical production processes and based on the Annex SL structure. The practical significance of the study includes minimizing industrial accidents, reducing audit costs, ensuring legal compliance, and improving overall resource efficiency. The findings demonstrate that a fully integrated management system significantly reduces operational risks in metallurgical enterprises, thereby contributing to sustainable development and enhancing international competitiveness.
***Keywords**: Integrated management systems, metallurgical industry, ISO 14001, ISO 45001, occupational safety, industrial safety, risk management, Annex SL, HSE integration.*

I. GİRİŞ

Müasir qlobal iqtisadiyyatda metallurgiya sənayesi infrastrukturun inkişafı, maşınqayırma və tikinti sektorları üçün əsas xammal mənbəyidir. Lakin bu sahə texnoloji mürəkkəbliyi və yüksək təhlükə səviyyəsi ilə seçilir. Metallurgiya müəssisələrinin istehsal prosesi yüksək temperaturlu sobalar, əridilmiş metal kütlələri, mürəkkəb kimyəvi təmizləmə əməliyyatları və ağır mexaniki yüklərlə xarakterizə olunur. Belə şəraitdə fəaliyyətin uğuru həm "Ətraf Mühitin İdarə Edilməsi", həm də "Peşə Sağlamlığı və Əməyin Mühafizəsi" standartlarının nə dərəcədə effektiv tətbiq olunmasından birbaşa asılıdır (Nunhes et al., 2021).
İnteqrasiya olunmuş idarəetmə sistemi bu iki beynəlxalq standartın ortaq struktur, sənədləşmə və resurs bazasında birləşdirilməsi prosesidir. Bu yanaşma təşkilatın davamlı inkişafını hədəfləyən qarşılıqlı əlaqəli idarəetmə proseslərinin vahid çərçivədə həyata keçirilməsini təmin edir (Nunhes et al., 2018, 2021).
Metallurgiya müəssisələrində ekoloji və əməyin mühafizəsi artıq yalnız hüquqi öhdəlik deyil, eyni zamanda strateji rəqabət üstünlüyü amilinə çevrilmişdir. Bu müəssisələr çoxlu enerji sərfi, su istifadəsi və atmosferə atılan toz, kükürd oksidləri və dəm qazı emissiyaları ilə xarakterizə olunur (Berezyuk et al., 2017). Eyni zamanda, iş qəzaları və peşə xəstəlikləri riski yüksək səviyyədə qalır. Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, idarəetmə sistemlərinin inteqrasiyası sənaye təhlükəsizliyini və resurs səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır (Berezyuk et al., 2017).
Azərbaycanın ağır sənaye sektorunda fəaliyyət göstərən metallurgiya kompleksləri üçün belə inteqrasiya olunmuş yanaşmalar beynəlxalq bazara çıxış, xarici investisiyaların cəlbi və korporativ sosial məsuliyyət baxımından xüsusilə əhəmiyyətlidir. İnteqrasiya olunmuş idarəetmə sistemi vasitəsilə müəssisələr həm ekoloji cərimələri, həm də istehsalat qəzalarının yaratdığı iqtisadi itkiləri minimuma endirə bilirlər (Iezzi et al., 2024).
Hazırda bir çox metallurgiya müəssisəsində idarəetmə sistemləri hələ də "izolyasiya olunmuş" şəkildə fəaliyyət göstərir. Bu zaman ekologiya və təhlükəsizlik üzrə prosedurlar fərqli sənədlərlə tənzimlənir, nəticədə təkrarlanma, sənəd yüklənməsi və idarəetmə xərclərinin artması baş verir (Nunhes et al., 2018; Skorek et al., 2024). Əlavə olaraq, bəzi müəssisələr ISO standartlarını yalnız sertifikatlaşdırma məqsədilə tətbiq etdiyinə görə real risk idarəçiliyi prosesləri zəif qalır (Talapatra et al., 2019). Bu faktorlar metallurgiya kimi yüksək riskli sahələrdə inteqrasiyaya əsaslanan xüsusi metodoloji çərçivənin hazırlanmasını zəruri edir (Sarkheil et al., 2020).
Tədqiqatın əsas məqsədi metallurgiya müəssisələri üçün ekoloji idarəetmə və əməyin mühafizəsi sistemlərinin inteqrasiyasına dair kompleks metodologiya işləyib hazırlamaq, həmçinin onun səmərəliliyini empirik və nəzəri əsaslarla qiymətləndirməkdir.
Tədqiqat çərçivəsində həm metodoloji yanaşma, həm də real metallurgiya müəssisəsi üzrə empirik təhlil aparılmışdır.

II.TƏDQİQAT METODU

Metallurgiya sənayesi müəssisələri üçün təklif olunan İOİS metodologiyası texnoloji mürəkkəblikləri nəzərə alan beş ardıcıl mərhələdən ibarətdir. Bu metodologiya həm texniki uyğunluğu, həm də müəssisədaxili təhlükəsizlik mədəniyyətinin transformasiyasını hədəfləyir.
1. Mərhələ: Mövcud Vəziyyətin Diaqnostikası
İnteqrasiya prosesi müəssisənin cari idarəetmə səviyyəsinin dərindən təhlili ilə başlayır. Bu mərhələdə metallurgiya prosesləri üzrə yerli qanunvericilik tələbləri və beynəlxalq standartlar arasındakı fərqlər (boşluqlar) müəyyən edilir (Sarkheil et al., 2020).

- **Hüquqi Uyğunluq:** Azərbaycan Respublikasının Əmək Məcəlləsi, "Təhlükəsizlik texnikası və sənaye təhlükəsizliyi haqqında" qanunlar və ekoloji normativlərin icra vəziyyəti yoxlanılır.

• **Texniki Audit:** Sobaların tüstü süzgəcləri, çirkab su təmizləmə qurğuları və fərdi mühafizə vasitələrinin müasir standartlara uyğunluğu qiymətləndirilir.
• **İdarəetmə Audit:** Mövcud olan bütün HSE təlimatları, qeydlər və hesabatlılıq formaları təhlil edilərək harada təkrarçılıq olduğu müəyyənləşdirilir (Talapatra et al., 2019).

2. Mərhələ: Annex SL Strukturu üzrə İnteqrasiya Bazası

Müasir ISO standartlarının hamısı vahid Annex SL əsasında qurulmuşdur (Nunhes et al., 2021).. Bu struktur inteqrasiyanı texniki cəhətdən asanlaşdıran 10 bölməli çərçivə təqdim edir (Nunhes et al., 2018).

• **Təşkilatın Konteksti:** Metallurgiya müəssisəsi fəaliyyət göstərdiyi mühitdəki daxili və xarici faktorları analiz edir. Buraya xammal tədarükçülərinin ekoloji məsuliyyəti və yerli icmaların sağlamlıq tələbləri daxildir (Tordecilla, 2018)..
• **Liderlik və Planlaşdırma (Bölmə 5 & 6):** Rəhbərlik tərəfindən həm "Sıfır zərər", həm də "Minimum ekoloji iz" hədəflərini özündə birləşdirən vahid HSE siyasəti təsdiq edilir. İnteqrasiya mərhələsində resurslar (insan, maliyyə, texnika) vahid bir HSE büdcəsi çərçivəsində idarə olunur (Nunhes et al., 2018, 2021)..

3. Mərhələ: Metallurgiya üçün İnteqrasiya Olunmuş Risk Analizi

Bu mərhələ metodologiyanın nüvəsini təşkil edir. Metallurgiyada hər bir əməliyyat (əritmə, tökmə, yayma, termik emal) həm insan, həm də ətraf mühit üçün risk daşıyır. Tədqiqatda TRA metodunun risk qiymətləndirməsi metallurgiya üçün modifikasiya olunmuş forması təklif olunur (Sarkheil et al., 2020).

Bu yanaşma riskləri balla qiymətləndirərkən həm təhlükəsizlik, həm də ekoloji zərər dərəcəsini eyni vaxtda nəzərə alır, bu isə investisiyaların daha səmərəli bölüşdürülməsinə imkan verir (Berezyuk et al., 2017)..

4. Mərhələ: Prosedurların Harmonizasiyası və Rəqəmsallaşma

Sənədləşmə yükünü azaltmaq üçün vahid prosedurlar yaradılır. Araşdırmalar göstərir ki, düzgün inteqrasiya sənəd həcmini 40%-dən çox azalda bilər (14th Annual International Bata Conference, 2017)..

• Vahid HSE Portalı: Bütün insidentlər, qeyri-uyğunluqlar və düzəldici fəaliyyətlər vahid verilənlər bazasında toplanır.
• İşə İcazə Sistemi: Metallurgiya müəssisəsində hər hansı təmir-tikinti işi üçün verilən icazə həm yanğın təhlükəsizliyini, həm də yaranacaq tullantıların idarə olunmasını eyni sənəddə əks etdirir (Skorek et al., 2024)..
• **Vahid Təlim Modulu:** İşçilərə verilən təhlükəsizlik təlimləri daxilinə ekoloji aspektlər də daxil edilir, bu isə işçilərdə daha geniş "təhlükəsizlik mədəniyyəti" formalaşdırır (Nunhes et al., 2018).
• **Mərhələ:** İnteqrasiya Olunmuş Audit və Performans Qiymətləndirmə
• Sistemin yaşaması üçün mütəmadi monitorinq keçirilir.
• **Birləşdirilmiş Auditlər:** Müəssisə daxili auditləri zamanı həm ISO 14001, həm də ISO 45001 tələbləri eyni vaxtda yoxlanılır. Bu, audit müddətini 30-40% qısaldır və menecerlərin istehsalatdan ayrılma vaxtını azaldır (14th Annual International Bata Conference, 2017; Talapatra et al., 2019).
• **KPI:** Metallurgiya müəssisəsi üçün inteqrasiya olunmuş KPI-lar təyin edilir: məsələn, istehsal olunan 1 ton metala düşən iş qəzası sayı, su sərfi və emissiya dərəcəsi (Skorek et al., 2024).

III. TƏDQİQATIN DAHA GENİŞ TƏHLİLİ: METALLURGİYADA IMS SƏMƏRƏLİLİYİ

Metallurgiya Müəssisəsində İnteqrasiya Tətbiqi

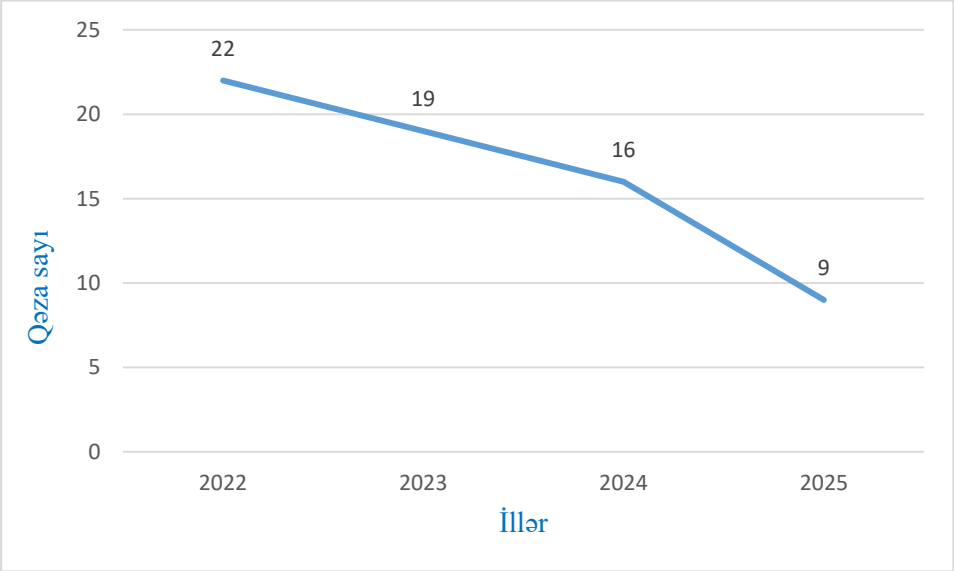
Tədqiqat çərçivəsində Azərbaycanda fəaliyyət göstərən anonim metallurgiya müəssisəsində inteqrasiya olunmuş idarəetmə sisteminin tətbiqi təhlil edilmişdir. Müəssisə metal əritmə və tökmə sahəsində fəaliyyət göstərir, illik istehsal gücü təxminən 10 000 ton təşkil edir və 300 işçi ilə fəaliyyətini davam etdirir. İstehsalat strukturu metal əritmə, kəsmə-cilalama, dəqiq emal, boya-montaj və texniki xidmət sexlərini əhatə edir. İnteqrasiyadan əvvəl müəssisədə ISO 14001 və ISO 45001 standartları mövcud olsa da, bu sistemlər ayrı-ayrı şəkildə tətbiq olunurdu və bu da idarəetmədə koordinasiya problemlərinə səbəb olurdu. Əsas risklər yüksək temperatur, soba əməliyyatları və kimyəvi təmizləmə prosesləri ilə bağlı olub, işçilər arasında yanıq halları və toz təsiri geniş yayılmışdır. Aparılan müqayisəli təhlil göstərir ki, inteqrasiya olunmuş idarəetmə sisteminin tətbiqindən sonra əməyin mühafizəsi göstəricilərində əhəmiyyətli yaxşılaşma müşahidə olunmuşdur. Belə ki, illik istehsalat qəzalarının sayı 22 hadisədən 9 hadisəyə enmiş, bu isə təxminən 59% azalma deməkdir. (Müəssisənin illik statistik hesabatları 2022-2025). Bu nəticə inteqrasiya olunmuş risk idarəetmə yanaşmasının və vahid təhlükəsizlik siyasətinin effektivliyini təsdiq edir. Bununla yanaşı, ekoloji göstəricilər üzrə fərqli dinamika müşahidə edilmişdir. Karbon oksidi (CO) emissiyası 2022-ci ildə 17,120 ton/il vahid olduğu halda, 2025-ci ildə 23,300 ton/il vahidə yüksəlmişdir ki,

bu da təxminən 36% artım deməkdir. (Müəssisənin illik statistik hesabatları 2022-2025). Bu artım müəssisədə istehsal həcminin artması və ya texnoloji yüklənmənin yüksəlməsi ilə izah oluna bilər. Bu hal onu göstərir ki, inteqrasiya prosesi zamanı təhlükəsizlik göstəricilərində sürətli irəliləyiş əldə olunsa da, ekoloji komponent üzrə əlavə texnoloji və idarəetmə tədbirlərinə ehtiyac qalmaqdadır. Ümumilikdə, əldə olunan nəticələr göstərir ki, inteqrasiya olunmuş idarəetmə sistemi əməyin mühafizəsi sahəsində yüksək effektivlik nümayiş etdirir, lakin ekoloji performansın yaxşılaşdırılması üçün paralel olaraq əlavə optimallaşdırma tədbirlərinin həyata keçirilməsi zəruridir. Bu isə inteqrasiyanın davamlı və mərhələli proses olduğunu bir daha təsdiq edir.

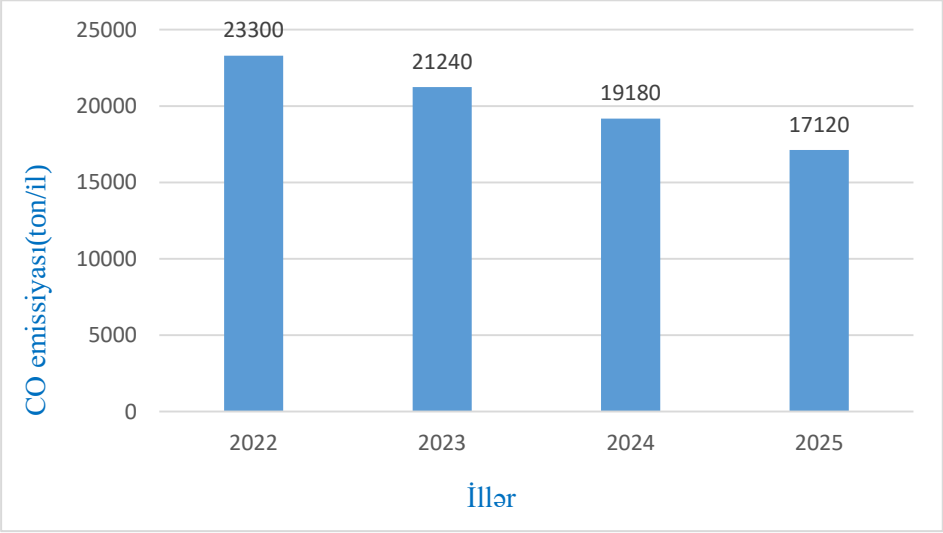
Cədvəl 1.

Göstərici	2022 (əvvəl)	2025 (sonra)	Dəyişiklik
CO emissiyası(kq/il)	17,120	23,300	↑ 36%
İllik qəza sayı	22	9	↓ 59%

Mənbə: *Müəssisə daxili SƏTƏM və Ekologiya şöbələrinin hesabatları.*



Qrafik 1: İstehsalat qəzalarının azalma dinamikası (2022-2025).



Qrafik 2: İllər üzrə karbon monoksid (CO) emissiyasının azalma dinamikası. Müəssisənin illik statistik hesabatları (2022-2025).

IV. Nəticə

İnteqrasiya öncəsi və sonrası aparılan təhlillər göstərir ki, İnteqrasiya olunmuş İdarəetmə Sistemi (ISO 14001 + ISO 45001) metallurgiya müəssisəsində əməyin mühafizəsi və ekoloji göstəricilər baxımından mühüm təsir göstərmişdir. İnteqrasiyadan əvvəl illik qəza sayı 22 hadisə təşkil edirdisə, inteqrasiyadan sonra 2025-ci ildə qəza sayı 9-a qədər azalmışdır ki, bu da təxminən 59% azalma deməkdir. Bu göstərici işçilərin təhlükəsizlik prosedurlarına riayət etməsi və risklərin sistemli idarə olunmasının nəticəsi kimi qiymətləndirilə bilər.

Digər tərəfdən, ekoloji göstəricilərdə daha mürəkkəb dinamika müşahidə olunmuşdur. Karbon oksid (CO) emissiyaları 2022-ci ildə 17,120 vahid idisə, 2025-ci ildə 23,300 vahid səviyyəsinə yüksəlmişdir. Bu artım müəssisədə artan istehsal həcmi və yüksək temperatur proseslərinin nəticəsi kimi izah oluna bilər, eyni zamanda ekoloji monitorinq və əlavə emissiya azaldıcı tədbirlərin tətbiqinin zəruriliyini göstərir.

Ümumilikdə, inteqrasiya edilmiş idarəetmə sistemi:

- işçi təhlükəsizliyində əhəmiyyətli irəliləyişlər gətirmiş,
- sənədləşmə və audit proseslərini sadələşdirmiş,
- ekoloji risklərin monitorinqini təmin etmişdir.

Bu nəticələr göstərir ki, IMS-in tətbiqi həm əməyin mühafizəsi, həm də ekoloji idarəetmə baxımından müəssisənin səmərəliliyini artırır, lakin ekoloji göstəricilərin daha da optimallaşdırılması üçün əlavə tədbirlər tələb olunur..

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Algheriani, N. M. S., Majstorović, V., Kirin, S., et al.. Risk Model for Integrated Management System. International Journal for Quality Research, 13, 1-18.
2. Barbosa, A. S., Silva, L. B., Morioka, S. N., et al.. Integrated management systems and organizational performance: a multidimensional perspective. Total Quality Management & Business Excellence, 34, 948-968.
3. Berezyuk, M., Rumyantseva, A., & Chebotareva, G.. Improvement of an integrated management system resulting in higher industrial safety efficiency. Economy of Region, 13, 1146-1156.
4. Chovancová, J., Rovňák, M., Shpintal, M., et al.. Perception of Benefits and Barriers Associated with the Management Systems Integration. TEM Journal, 11, 772-778.
5. Hernández-Vivanco, A., Domingues, P., Sampaio, P., et al.. Do multiple certifications leverage firm performance? A dynamic approach. Journal of Cleaner Production, 218, 1146-1156.
6. Iezzi, R., Araujo, G. J. C., Musci, M., et al.. Analysis of The Main NBR-ISO Standards in The Implementation of An Integrated Management System For Environment, Health, and Occupational Safety. International Journal of Environmental Research.
7. Nunhes, T. V., Barbosa, L. C. F. M., & Oliveira, O. J.. Evolution of integrated management systems research: Identification of contributions and gaps in the literature. Journal of Cleaner Production, 133, 248-259.
8. Nunhes, T. V., Bernardo, M., & Oliveira, O. J.. Guiding principles of integrated management systems: Towards unifying a starting point for researchers and practitioners. Journal of Cleaner Production.
9. Nunhes, T. V., Campos, T. L. R., Francisco, F. E., et al.. Contributions of Annex SL to Corporate Sustainability. Sustainability, 13.
10. Podrecca, M., Molinaro, M., Sartor, M., et al.. The impact of ISO 45001 on firms' performance: An empirical analysis. International Journal of Production Economics, 268, 109121.
11. Sarkheil, H., Tahery, B., Rayegani, B., et al.. Evaluating the current status of the national health, safety and environment management system for integration, harmonization, and standardization. Evaluating National HSE Management Systems.
12. Skorek, M., Molenda, M., Kaczmarczyk, A., et al.. Analysis of selected models of management system integration – previous experience and development prospects. Scientific Papers of Silesian University of Technology.
13. Talapatra, S., Santos, G., Uddin, K., et al.. Main benefits of integrated management systems through literature review. International Journal for Quality Research, 13, 1037-1054.

SƏNAYE TULLANTILARININ IDARƏ OLUNMASI VƏ ƏTRAF MÜHITƏ TƏSIRININ AZALDILMASI YOLLARI

Arsen Bağırov
"Ekologiya Mühəndisliyi / Ətraf mühitin mühafizəsi və təbii ehtiyatlardan səmərəli istifadə olunması"
Xırdalan, Azərbaycan
arsenbagirov7@gmail.com

Pərviz Məmmədov
"Bakı Mühəndislik Universiteti Mühəndislik, Sənaye mühəndisliyi kafedrası
Xırdalan, Azərbaycan
pmemmedov@beu.edu.az

Xülasə: Bu tədqiqat işi müasir sənaye istehsalı nəticəsində yaranan tullantıların effektiv idarə olunması strategiyalarını və onların ekosistemlərə mənfi təsirini azaltmaq yollarını geniş şəkildə araşdırır. Tədqiqatın aktuallığı qlobal sənayeləşmənin sürətlənməsi və 2050-ci ilə qədər dünya üzrə tullantı həcminin ciddi şəkildə artacağı proqnozları ilə əsaslandırılır. İşin məqsədi dövri İqtisadiyyat prinsiplərinin və innovativ rəqəmsal texnologiyaların sənaye sektoruna tətbiqi səmərəliliyini elmi şəkildə qiymətləndirməkdir. Elmi yenilik tullantıların resurs kimi yenidən dövriyyəyə cəlb edilməsi üçün süni intellekt və Əşyaların İnterneti əsaslı inteqrasiya olunmuş modelin təklif edilməsidir. Praktiki əhəmiyyəti xammal itkisinin qarşısının alınması və karbon emissiyalarının azaldılması üçün tətbiqi mexanizmlərin təqdim edilməsidir. Nəticələr innovativ yanaşmaların təkrar emal dərəcəsini əhəmiyyətli dərəcədə yüksəltdiyini sübut edir.
Açar sözlər*: Sənaye tullantıları, dövri İqtisadiyyat iqtisadiyyat, ətraf mühitin mühafizəsi, yaşıl texnologiyalar, ekoloji dayanıqlıq.*

INDUSTRİAL WASTE MANAGEMENT AND METHODS FOR REDUCİNG ENVİRONMENTAL IMPACT

Abstract: This research extensively examines strategies for effective management of waste generated by modern industrial production and ways to reduce its negative impact on ecosystems. The relevance of the study is justified by the acceleration of global industrialization and projections of significant increases in global waste volumes by 2050. The objective is to scientifically evaluate the efficiency of applying circular economy principles and innovative digital technologies to the industrial sector. The scientific novelty lies in the proposal of an integrated model based on artificial intelligence and the Internet of Things for reintegrating waste into the cycle as a resource. The practical significance involves presenting implementation mechanisms for preventing raw material loss and reducing carbon emissions. Results prove that innovative approaches significantly enhance recycling rates.
Keywords: Industrial waste, circular economy, environmental protection, green technologies, ecological sustainability.

I. GİRİŞ

Müasir dövrün ən kritik qlobal problemlərindən biri sürətli sənayeləşmə və əhali artımı fonunda yaranan tullantıların idarə edilməsidir. Sənaye sektoru iqtisadi inkişafın əsas hərəkətverici qüvvəsi olsa da, eyni zamanda təbii resursların tükənməsinə və ətraf mühitin ciddi çirklənməsinə səbəb olan ən böyük faktordur. Sənaye müəssisələrindən xaric olunan bərk, maye və qazvari tullantılar həm quru, həm də su ekosistemləri üçün ciddi təhlükə yaradan toksik maddələrin əsas mənbəyidir (Gaur et al., 2020). Tədqiqatlar göstərir ki, 2050-ci ilə qədər dünyada bərk tullantıların həcmi təxminən 70% artaraq 3,4 milyard metrik tona çatacaqdır (Dijmarescu, 2022). Bu artım mövcud idarəetmə metodlarının kökündən dəyişdirilməsini və daha dayanıqlı modellərə keçidi zəruri edir.

Tədqiqat işinin aktuallığı sənaye tullantılarının tərkibindəki ağır metalların, toksik kimyəvi birləşmələrin və biodüzəlməyən materialların torpaq keyfiyyətini pisləşdirməsi, biomüxtəlifliyi məhv etməsi və birbaşa insan sağlamlığını təhdid etməsi ilə bağlıdır (Yeshiwas et al., 2025). İstehsalat prosesində yaranan proteinlər, lipidlər və digər üzvi maddələrlə yanaşı, təhlükəli kimyəvi tullantıların da ətraf mühitə nəzarətsiz buraxılması ekosistemlərin özünübərpa qabiliyyətini itirməsinə gətirib çıxarır (Gaur et al., 2020). Müasir dövrdə bu tullantıların idarə edilməsi təkcə ekoloji bir öhdəlik deyil, həm də iqtisadi resursların səmərəli istifadəsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Sənaye tullantılarının idarə olunmasına olan ehtiyac həm də mövcud xətti iqtisadiyyat modelinin (istehsal et-istifadə et-at) səmərəsizliyindən irəli gəlir. Hazırkı problemlər sırasında tullantıların poliqonlara atılması

və ya dənizlərə xaric edilməsi hələ də üstünlük təşkil edir. Məsələn, bəzi statistik məlumatlar göstərir ki, tullantıların təxminən 47,3%-i dənizlərə, göllərə və ya çaylara atılır, yalnız kiçik bir hissəsi nəzarətli poliqonlarda yerləşdirilir ("Environmental Technologies," 2011). Metallurgiya və kimya sənayesi kimi sahələr ümumi sənaye tullantılarının 60%-dən çoxuna cavabdehdir və bu sahələrdə təkrar emal infrastrukturu hələ də yetərli səviyyədə deyil ("Environmental Technologies," 2011). Müəssisələrin ekoloji məsuliyyətinin artırılması və "çirkləndirən ödəyir" prinsipinin tətbiqi bu problemlərin həlli üçün kritik addımlardır (Borah & Kumar, 2024).

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün bu tədqiqat işində dövri iqtisadiyyat iqtisadiyyatın 6R konsepsiyası və rəqəmsal texnologiyaların inteqrasiyası analiz edilmişdir. İşin strukturu tullantıların azaldılması metodologiyası, texnoloji təmizləmə prosesləri, rəqəmsal monitorinq sistemlərinin səmərəliliyi və həyat dövrünün qiymətləndirilməsi nəticələrini əhatə edir. Tədqiqat sənaye tullantılarını problem deyil, "ikinci dərəcəli xammal" kimi görən yanaşmanı əsaslandırır.

II.Tədqİqat metodu

Dövri İqtisadiyyat və 6R Paradiqması

Sənaye tullantılarının azaldılması üçün tətbiq olunan döngüsel iqtisadiyyatın 6R konsepsiyası resursların qapalı dövrədə qalmasını təmin edir. Bu çərçivədə Azaltma xammal sərfinin optimallaşdırılmasını (Jakubelskas & Skvarciany, 2025), Yenidən dizayn məhsulların təkrar emala uyğunluğunu (Rimantho et al., 2023), Yenidən istehsal və Təkrari İstifadə isə komponentlərin bərpa edilərək dövriyyəyə qaytarılmasını təmin edir. Bundan əlavə, Bərpa (Recover) və Yenidən düşünmə (Rethink) prinsipləri tullantıdan enerji əldə edilməsini və resurslara yeni baxış bucağını formalaşdırır. Bu prinsiplərin müəssisə səviyyəsində tətbiqi Cədvəl 1-də ümumiləşdirilmişdir:

Bundan əlavə, tədqiqatda 7R prinsipi əsasında sənaye müəssisələrinin post-istehlak məsuliyyəti də analiz edilmişdir (Borah & Kumar, 2024). Bəzi regionlarda isə daha geniş olan 10R prinsipi (təmir etmə, yenidən bərpa etmə, texnologiyanın yenidən dizaynı və s.) tətbiq olunur ki, bu da tullantı idarəetməsində ən yüksək dayanıqlıq səviyyəsidir (Kumar et al., 2023).

1. Təhlükəli Tullantıların Təmizlənməsi və Materiallar

Sənaye tullantılarının zərərsizləşdirilməsi üçün müxtəlif fiziki, kimyəvi və bioloji metodlardan istifadə edilmişdir:

Bioloji Metodlar:

Tədqiqat zamanı ağır metallar və neft məhsulları ilə çirklənmiş ərazilərin təmizlənməsi üçün bioremediasiya metodu sınaqdan keçirilmişdir. Bu prosesdə toksik maddələri parçalaya bilən spesifik bakteriya ştammları tətbiq olunur (Hashim et al., 2025). Xüsusilə bitki mühafizə vasitələri və yağ törəmələrinin torpaqdan təmizlənməsində bu selektiv bakteriyalar yüksək səmərə göstərir (Pyssa, 2017).

Fiziki-Kimyəvi Metodlar:

- Neytrallaşdırma və çökdürmə: Turşu və qələvi tullantılarının bir-birini neytrallaşdırması və ağır metalların suda həll olmayan birləşmələr şəklində çökdürülməsi prosesləri aparılmışdır (Pyssa, 2017).
- İmmobilizasiya: Təhlükəli maddələrin konkret kütlə daxilində möhürlənməsi (sealing in concrete mass) və ya şüşələşdirmə (vitrification) yolu ilə onların ətraf mühitə sızmasının qarşısı alınır (Pyssa, 2017).
- Termal emal: Tullantıların oksigensiz mühitdə yüksək temperaturda parçalanması vasitəsilə enerjiyə çevrilməsi metodları tədqiqatın texnoloji hissəsini təşkil edir (Kumar et al., 2023).

3. Rəqəmsal və Ağıllı İdarəetmə Sistemləri

Sənaye tullantılarının idarə olunmasında effektivliyi artırmaq üçün Əşyaların İnterneti və Süni İntellekt əsaslı sistemlər tətbiq olunmuşdur:

- Ağıllı konteynerlər: Avtomatik qapaq idarəetmə mexanizmi ilə təchiz olunmuş bu konteynerlər real vaxt rejimində doluluq səviyyəsini sensorlar vasitəsilə izləyir (Abdullahi et al., 2024). Sensorlar məlumatı bulud bazasına göndərir və burada AI modelləri toplama marşrutlarını optimallaşdırır. Bu, loqistika xərclərini 25-40% azaldır və istixana qazı emissiyalarını 15%-dən çox aşağı salır (Gulyamov, 2024).
- Avtomatlaşdırılmış çeşidləmə: Dərin öyrənmə (VGG-19 modeli) vasitəsilə tullantıların növünə görə (plastik, şüşə, metal) 99,7% dəqiqliklə ayrılması təmin edilmişdir (Alourani et al., 2025). Bu sistemlər əllə çeşidləmə zamanı yaranan səhvləri aradan qaldırır və materialın təkrar emal üçün saflıq dərəcəsini artırır (Lakhouit, 2025).

4. Həyat Dövrünün Qiymətləndirilməsi Təcrübələri

Tədqiqatın bir hissəsi olaraq tullantıların təkrar emalı ilə sadə poliqona atılması ssenariləri Həyat Dövrünün Qiymətləndirilməsi metodu ilə müqayisə edilmişdir. LCA modeli qlobal istiləşmə potensialı, turşulaşma və insan sağlamlığı kimi indikatorları qiymətləndirir (Henriksen et al., 2016).

Təcrübə nəticəsində əldə edilən qrafiklər göstərir ki, təkrar emal ssenarisi poliqon ssenarisi ilə müqayisədə enerji istehlakına 85 dəfəyə qədər qənaət edir və atmosferə atılan emissiyaların 1,4 dəfə qarşısını alır (Llatas et al., 2022). Həmçinin, bəzi sənaye tullantılarının (məsələn, mis şlakı) tikintidə istifadəsi təbii resursların çıxarılmasını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır (Guman & Wegner-Kozlova, 2020).

III. Nəticə

Aparılan kompleks tədqiqatlar sənaye tullantılarının idarə olunmasında innovativ yanaşmaların yüksək səmərəliliyini təsdiq edir. Tədqiqat nəticəsində əldə edilmiş nəticələr göstərir ki, dövri iqtisadiyyat prinsipləri sənaye müəssisələrinə həm ekoloji dayanıqlıq, həm də iqtisadi mənfəət qazandırır (Gaur et al., 2020). İşin üstünlükləri və səmərəliliyi aşağıdakı əsas məqamlarda ümumiləşdirilə bilər:

1. **Resurs səmərəliliyi:** 6R konsepsiyasının tətbiqi xammal sərfinin azaldılmasına və təkrar emalın iqtisadi cəhətdən əlverişli olmasına şərait yaradır (Jakubelskas & Skvarciany, 2025)..
2. **Texnoloji üstünlük:** Süni intellekt və IoT əsaslı monitorinq sistemləri tullantı logistikasında 40%-ə qədər xərc qənaəti təmin edir və tullantı çirklənməsini 50%-dən çox azaldır (Gulyamov, 2024)..
3. **Ekoloji təsirin azaldılması:** LCA analizləri sübut edir ki, təkrar emal ssenariləri poliqonlara atma ilə müqayisədə ekoloji göstəriciləri (istixana qazları, su istehlakı) kəskin şəkildə yaxşılaşdırır (Wang et al., 2025).
4. **Təhlükəsizlik:** Bioloji və kimyəvi təmizləmə metodları toksik maddələrin neytrallaşdırılmasında yüksək effektivlik göstərərək su və torpaq resurslarının çirklənməsinin qarşısını alır (Hashim et al., 2025; Pyssa, 2017).

Nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, sənaye tullantılarının səmərəli idarə olunması təkcə texnoloji bir məsələ deyil, həm də dövlət səviyyəsində tənzimləyici mexanizmlərin və "yaşıl" investisiyaların artırılmasını tələb edən strateji bir hədəfdir. Tədqiqatda təklif olunan model sənaye müəssisələrinin dayanıqlı inkişaf məqsədlərinə çatması üçün etibarlı yol xəritəsi rolunu oynaya bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Abdullahi, A., Mohammed, A., Bonet, M. U., et al.. Development of a Smart Waste Management System with Automatic Bin Lid Control for Smart City Environment. EAI Endorsed Transactions on Smart Cities, 52.
2. Alourani, A., Ashraf, M. U., & Aloraini, M.. Smart waste management and classification system using advanced IoT and AI technologies. Scientific Reports, 188.
3. Bisinella, V., Schmidt, S., Varling, A. S., et al.. Waste LCA and the future. Waste Management, 117.
4. Borah, S. J., & Kumar, V.. Fundamental Principles of Waste Management for a Sustainable Circular Economy. Elsevier, 209.
5. Cüce, H.. Endüstriyel Üretimde Döngüsel Çevre Politikaları. NÖHÜ Müh. Bilim. Derg., 94.
6. Dijmarescu, E.. How “Circular” Is the Supply Chain? Impact of the Corporate Social Responsibility on the Circular Economy. BASIQ International Conference, 45.
7. Gaur, V. K., Sharma, P., Sirohi, R., et al.. Assessing the impact of industrial waste on environment and mitigation strategies: A comprehensive review. Journal of Hazardous Materials, 398, 123019.
8. Gulyamov, S.. Intelligent waste management using IoT, blockchain technology and data analytics. E3S Web of Conferences, 72.
9. Hashim, M., Tabassum, B., Khan, T., et al.. Managing Hazardous Industrial Waste: Effective Treatment and Disposal Approaches. Springer, 70.
10. Henriksen, T., Astrup, T. F., & Damgaard, A.. Influence of data choices in Life Cycle Assessment of waste management systems. Journal of Cleaner Production, 127.
11. Jakubelskas, U., & Skvarciany, V.. Evaluation of circular economy indicators seeking sustainable development goals. Journal of Business Economics and Management, 187.
12. Kumar, A., Thakur, A. K., Gaurav, G. K., et al.. A critical review on sustainable hazardous waste management strategies: a step towards a circular economy. Environmental Science and Pollution Research, 120.
13. Lakhouit, A.. Revolutionizing urban solid waste management with AI and IoT: A review of smart solutions for waste collection, sorting, and recycling. Environmental Science, 107.
14. Llatas, C., Quiñones, R., & Bizcocho, N.. Environmental Impact Assessment of Construction Waste Recycling versus Disposal Scenarios Using an LCA-BIM Tool. Resources, Conservation and Recycling, 17.
15. Oyeranmi, S., & Sorokin, P. A.. Interaction between waste management and energy generation systems in terms of material properties and environmental impact in the European Union. Environmental Impact, 79.
16. Pyssa, J.. Environmental, technical and technological aspects of hazardous waste management in Poland. Technical Transactions, 71.
17. Rimantho, D., Suyitno, B. M., & Pratomo, V. A.. Circular Economy: Barriers and Strategy to Reduce and Manage Solid Waste. International Journal of Sustainable Development, 101.
18. Turkish Statistical Institute.. Statistical data of the Turkish Statistical Institute on industrial waste disposal. TUIK Reports, 221.

19. Wang, Y., Mu, X., Hu, G., et al.. Life Cycle Assessment-Based Analysis of Environmental and Economic Benefits in Construction Solid Waste Recycling. Sustainability, 148.
20. Yeshiwas, A. G., Bayeh, G. M., & Tsega, T. D.. Scoping Review on Mitigating the Silent Threat of Toxic Industrial Waste. Journal of Environmental Management, 125.

UTILIZATION OF EARTH HEAT FOR SUSTAINABLE ENERGY

Aslan Aslanli
Baku Engineering University
Xirdalan, Azərbaycan
aaslanli3@std.beu.edu.az

Abstract: The increasing global energy demand and associated environmental impacts necessitate the development of sustainable energy sources. This paper examines geothermal energy as a reliable and clean alternative to fossil fuels. The operational principles of geothermal systems, including dry steam, flash, binary cycle, and enhanced geothermal systems, are analyzed along with their efficiency characteristics. The results indicate that, despite moderate conversion efficiency, geothermal power plants provide high-capacity factors and stable baseload generation. Geothermal energy is therefore a promising solution for sustainable energy development, although challenges related to resource exploration and capital costs remain.

Açar Keywords: geothermal energy, renewable energy, power generation, energy efficiency, sustainable development.

I. Introduction

Energy demand is increasing, and the reasons for it are population growth, industrialization and development of urban sector. In attempt to cover the energy demand energy sector became responsible for the main part of the CO_2 emissions in atmosphere. The impact of such a large portion of emissions is unavoidable for human health and environment. Contaminated air from burning biomass and traditional fossil fuels annually cause around 2 million deaths due to lung infections. These factors make it necessary to develop new, sustainable and clean energy sources that are able to replace fossil fuels. Lack of energy is the main barrier to global development. Therefore, countries develop renewable energy sources such as solar, wind and geothermal energy to achieve energy security. Geothermal energy has many advantages like reliability, security and availability.

II.Operation principle and efficiency

There are several types of geothermal electricity plants in terms of technology:

1. Dry steam
2. Flash
3. Binary
4. Enhanced geothermal systems (EGS)

The oldest and the simplest are the dry steam plants (1); this type of plant is directly connecting geothermal steam to turbines; however, their applicability is dependent on rare high temperatures, dry steam fields such as The Geysers in California. The dominant in global capacity is the flash plants (2), particularly in Philippines and Indonesia, using high-enthalpy reservoirs, where liquid water flashes into steam at reduced



temperatures. The range of suitable locations is significantly increased by binary plants (3), which use Organic Rankine Cycles (ORC) to produce energy from lower temperature sources. According to the data,

binary plants currently make up over 20% of newly constructed geothermal facilities, indicating a move toward wider geographic applicability. Efficiency data shows various patterns for different kinds of plants. Conversion efficiencies range from 15-21% for dry steam plants, 12-17% for flash plants, 8-12% for binary systems, and 10-15% for EGS (4) pilot projects under ideal circumstances. These findings are in line with resource temperature-related thermodynamic restrictions. The secondary working fluid loop and heat exchanger, which enable the efficient utilization of lower temperature geothermal brines, are highlighted in schematic diagram of a binary cycle geothermal power plant (Fig. 1). The increasing use of binary systems in places like Türkiye and Nevada, USA, is based on this structure.

Fig. 1. Chematic diagram of a binary cycle geothermal power plant, showing geothermal brine loop, heat exchanger, organic working fluid, turbine, and condenser. [2]

Fig. 2 uses a bar chart to compare geothermal technologies side by side in order to contextualize efficiency across systems. The findings show that binary systems offer flexibility at the expense of conversion performance, whereas dry steam achieves the maximum efficiency when applicable. Technical uncertainties in reservoir timulation and long-term sustainability continue to limit EGS outcomes, which fall between flash and binary plants. Crucially, all kinds of geothermal facilities have very high capacity factors—usually above 80%—beyond the average of 25–35% for onshore wind and solar PV. This dependability highlights the relevance of geothermal energy in supplying steady baseload power to networks that are becoming more and more reliant on intermittent renewable energy sources.

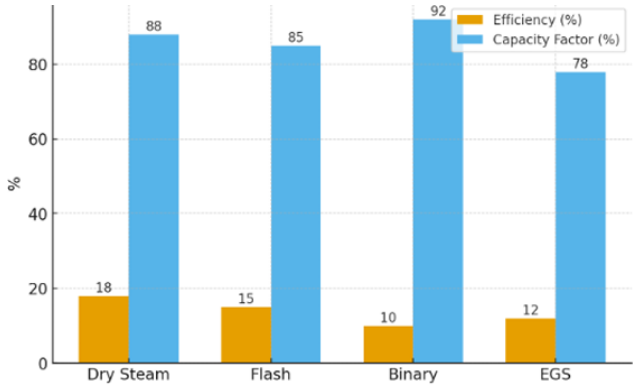


Fig. 3. Bar chart comparing conversion efficiency and capacity factor of geothermal technologies (dry steam, flash, binary, and EGS).[2].

III. Utilization of geothermal energy

Heat from the earth's molten core penetrates surrounding rocks and eventually spreads to subterranean water reservoirs through convection. The steam or water heated by geothermal energy can be accessed and directed toward various purposes using a variety of technologies. Geothermal fluid's chemical and thermodynamic characteristics are crucial for its application techniques. Depending on enthalpy, geothermal fluid can often be utilized directly or indirectly.

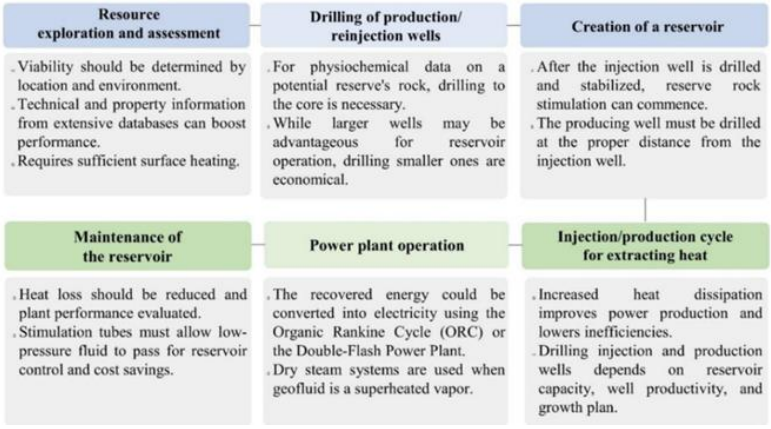


Fig. 3. Development steps of an EGS plant. [3]

Locating a reservoir with high rock temperature is the first step in an EGS plant. Rather than using hydro-geothermal reservoirs, the site uses hot, dry rocks. In order to generate a stable network of open, connected fractures that will supply the injected working fluid, the bedrock is hydraulically fractured after the wells are dug. The production extracts the fluid once heat is gathered in the permeable channels of the fractured zone. In integrated systems, the fluid's surface heat produces heat or electricity. The working fluid travels in a closed loop around the EGS. A comprehensive overview of EGS plant development is given in Fig. 3.

IV. Future outlook

Though at an uneven growth rate, geothermal energy is becoming more and more common for producing electricity. Modern equipment and inventions have improved the geothermal energy system, making geothermal power plant technology economically viable. Innovations in technology are necessary to boost electricity production. To overcome technological obstacles and improve geothermal technology, ongoing research and development is crucial. One of the biggest obstacles to the development of geothermal energy is accurately identifying and assessing geothermal resources. Conventional techniques, such drilling and geological surveys, are expensive and time-consuming. While big data analytics can expedite exploration and boost the likelihood of resource extraction, advanced technologies like remote sensing, geophysics, and machine learning can lower risks and expenses.

V. Conclusion

Geothermal energy represents a reliable and sustainable source of clean power with significant potential for future development. The analysis of different geothermal technologies, including dry steam, flash, binary cycle, and enhanced geothermal systems, demonstrates that each approach has its own operational characteristics and efficiency limitations depending on resource conditions. Despite relatively moderate conversion efficiencies compared to conventional power plants, geothermal systems provide a major advantage in the form of high-capacity factors and continuous energy generation. This makes geothermal energy particularly valuable for ensuring stable baseload power in modern energy systems that are increasingly dependent on intermittent renewable sources such as wind and solar. Furthermore, technological advancements, especially in binary cycle systems and enhanced geothermal systems, are expanding the range of usable geothermal resources and improving overall system performance. However, challenges related to resource exploration, high initial costs, and technical uncertainties still limit large-scale deployment. In conclusion, geothermal energy has strong potential to contribute to the global transition toward sustainable energy systems, provided that ongoing research and technological innovation continue to address existing limitations.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. “Geothermal energy systems and applications,” ScienceDirect. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666519025000159
2. “Energy conversion and management: geothermal systems,” Energy Conversion Management Journal. [Online]. Available: https://energyconversions.org/index.php/ecm/article/view/37
3. “Advances in geothermal energy technologies,” ScienceDirect. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666202723000423
4. “Geothermal Energy Basics,” U.S. Department of Energy. [Online]. Available:
5. https://www.energy.gov/eere/geothermal/geothermal-basics
6. “Future of geothermal energy” International Energy Agency. [Online]. Available: https://www.iea.org/reports/the-future-of-geothermal-energy

MEMBRAN ƏSASLI STRATEGİYALARLA NEFTLƏ ÇİRKLƏNMİŞ SULARIN TƏMİZLƏNMƏSİ

Pəri Seyidəliyeva Aslanova
Elm və innovasiya şöbəsi,
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xirdalan, Azərbaycan
pseyidaliyeva@beu.edu.az

Xülasə: Neft və neft məhsulları ilə çirklənmiş çirkab sularının təmizlənməsi ənənəvi təzyiqlə idarə olunan membran ayırma və kimyəvi təmizləmə ilə birlikdə qabaqcıl çirklənməyə davamlı və özünü təmizləyən membran sistemlərinə doğru inkişaf etmişdir. Ultrafiltrasiya, nanofiltrasiya və keramika membranları yüksək ayırma effektivliyi göstərsə də, membranın çirklənməsi, o cümlədən üzvi, qeyri-üzvi və biofouling daxil olmaqla, membran çirklənməsi əsas məhdudiyyət olaraq qalır və bu da keçiriciliyin azalmasına, prosesin dayandırılmasına səbəb olur (Ashaghi et al., 2007; Yahaya et al., 2024). Ənənəvi kimyəvi təmizləmə üsulları, o cümlədən turşular, qələvilər və səthi aktiv maddələr axının bərpasında effektiv olsa da, əlavə xərclər, prosesin dayandırılması və ikinci dərəcəli tullantı sularının yaranmasına səbəb olur (Liikanen et al., 2002; Yang et al., 2017; Zhang et al., 2022). Nəticə etibarilə, son tədqiqatlar çirklənməyə davamlı membran dizaynlarına və aktiv özünü təmizləyən sistemlərə doğru yönəlmişdir. Xüsusilə, sink oksidi, qrafen oksidi və qrafit karbon nitridi kimi materiallara əsaslanan multifunksional nanolifli membranlar yüksək ayırma qabiliyyətini işıqla aktivləşən özünü təmizləmə imkanları ilə birləşdirərək perspektivli nəticələr göstərir (Cao et al., 2022; Li et al., 2022; Lu et al., 2022). Bununla belə, uzunmüddətli sabitlik, katalizatorun saxlanması, miqyaslandırma və texniki-ekoloji balans problemləri hələ də qalmaqdadır (Yahaya et al., 2024)..

Açar sözlər*: yağlı tullantı suları; membran çirklənməsi; kimyəvi təmizləmə; fotokatalitik özünü təmizləmə; nanolifli membranlar*

I. GİRİŞ

Neftlə çirklənmiş çirkab suları neft hasilatı, metal emalı və qida sənayesi kimi müxtəlif sahələrdə daxil olmaqla, mürəkkəb tərkibinə və geniş çeşidli çirklənmə mənbələrinə görə davamlı ekoloji və sənaye probleminə çevrilmişdir. Bu su mühitində neft sərbəst yağ, dispers və ya emulsiya edilmiş yağ-su qarışıqları və ya həll olunmuş üzvi maddələr şəklində mövcud ola bilər. Çökmə, sentrifuqasiya, adsorbsiya, flotasiya və laxtalanma kimi ənənəvi üsullar neftin kütləvi şəkildə çıxarılmasında faydalı olur. Xüsusən yağ-su (O/W) və su-yağ (W/O) emulsiyaları, həmçinin surfanktantlarla sabitləşdirilmiş sistemlər kiçik damcı ölçülərinə və yüksək sabitliyinə görə təmizlənməsi çətin olan sistemlərdir (Yahaya et al., 2024). Kimyəvi oksigen tələbatı (KOT) və ümumi üzvi karbon (ÜÜK) kimi göstəricilər həm dispers, həm də həll olunmuş çirkləndiricilərin effektiv şəkildə aradan qaldırılmasının vacibliyini göstərir (Park & Barnett, 2001).

II.MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU

Çirkab sularının membran əsaslı təmizlənməsi əsasən təzyiqlə idarə olunan proseslərə, xüsusən mikrofiltrasiya, ultrafiltrasiya və nanofiltrasiyaya əsaslanır. Onların uyğunluğu neft damcılarının ölçüsündən, emulsiyanın dayanıqlığından, suyun keyfiyyətindən çox asılıdır. Membran texnologiyası yüksək təmizləmə effektivliyi, davamlı emal qabiliyyəti və nisbətən aşağı enerji tələbatı səbəbindən neftlə (və ya yağla) çirklənmiş çirkab sularının təmiz geniş tətbiq olunur. Mikrofiltrasiya və ultrafiltrasiya adətən daha iri yağ damcılarının ayrılması üçün istifadə edilir, nanofiltrasiya isə daha kiçik üzvi maddələrin və həll olunmuş kompanentləri saxlayaraq daha təmiz filtrat əldə etməyə imkan verir (Ashaghi et al., 2007; Motta Cabrera et al., 2021, 2022). Buna baxmayaraq, membranın çirklənməsi uzunmüddətli istismar üçün əsas problem olaraq qalır. Yağ damcıları, səthi aktiv maddələr, ionlar və mikroorqanizmlər membran səthində və məsamələrində toplanaraq axının azalmasına səbəb olur (Lu et al., 2022). Bu səbəbdən yanaşma çirklənmə baş verdikdən sonra təmizləmədən daha çox, çirklənmənin qarşısını alan membran dizaynına doğru dəyişmişdir.

Kimyəvi təmizləmə membran performansını bərpa etmək üçün vacibdir və adətən turşular, qələvilər, səthi aktiv maddələr və xelatlaşdırıcı maddələrdən istifadə edilir (Liikanen et al., 2002; Zhang et al., 2022). Bu agentlər həll olunma, hidroliz və çirkləndirici-membran qarşılıqlı təsirinin pozulması kimi mexanizmlər vasitəsilə hərəkət edir. Məsələn, SDS kimi səthi aktiv maddələr üzvi çirklənməni effektiv şəkildə aradan

qaldıra və qısamüddətli axının bərpasını yaxşılaşdıra bilər, EDTA kimi xelatlaşdırıcı maddələr isə çirkləndirici təbəqələri sabitləşdirən metal ionlarını bağlayaraq geri dönməz fouling azaldır. Effektiv olmasına baxmayaraq, kimyəvi təmizləmə strategiyaları mahiyyət etibarı ilə reaktivdir və bir sıra çatışmazlıqlar, o cümlədən prosesin dayandırılması, kimyəvi istehlakın artması, təkrar dövrlər ərzində membranın deqradasiyası və əlavə təmizlənmə tələb edən ikinci dərəcəli təmizləyici tullantı sularının əmələ gəlməsi daxildir.

Çirklənməyə davamlı strategiyalar membran səthinin xüsusiyyətlərini dəyişdirməklə çirklənmənin azalmasına yönəlmişdir. Ən vacib yanaşmalardan biri membranın səthində nəmləndirici təbəqənin əmələ gəlməsinə kömək edən membranın hidrofilliyini artırmaqdır. Bu təbəqə yağ damcıları və membran arasında hidrofobik qarşılıqlı təsirləri azaldan və bununla da çirklənməni məhdudlaşdıran maneə rolunu oynayır. Nəticədə hidrofilik səthlər su molekullarını cəlb edərək hidratasiya qatı yaradır və bu qat yağ damcılarının səthə yapışmasını zəiflədir (Cao et al., 2022; Yahaya et al., 2024).

Səth kimyasına əlavə olaraq, səthin mikro və nanostrukturu da mühüm rol oynayır. İyerarxik sturuktur superhidrofil və sualtı oleofob xüsusiyyətlərini gücləndirir, yağ damcılarının yapışmasının qarşısını alır (Ma et al., 2022). Bu cür səthlər yağ damcılarını dəf edərkən suyun asanlıqla keçməsinə imkan verir, bu da onları su-yağ sistemləri üçün xüsusilə uyğun edir. Superhidrofob membranlar isə daha çox su-yağ sistemləri üçün uyğun olsa da, lakin səthi aktiv maddə ilə stabilləşdirilmiş emulsiyalara məruz qaldıqda sürətli çirklənmədən əziyyət çəkə bilər.

Nanolifli membranlar yüksək məsaməlilik və böyük səth sahəsinə görə sayəsində bu modifikasiyalar üçün çox uyğundur (Lu et al., 2022). Bu xüsusiyyətlər nanohissəciklərlə səth modifikasiyasını asanlaşdırır, nəmlənmə qabiliyyətini və çirklənməyə qarşı performansını artırır. Bununla belə, passiv strategiyalar, xüsusilə mürəkkəb çirkab su sistemlərində uzun müddət istismar zamanı çirklənməni tamamilə aradan qaldıra bilmir.

Aktiv özünü təmizləyən membranlar əməliyyat zamanı çirkləndiricilərin yerində deqradasiyası qabiliyyətinə malikdir, bu da passiv yanaşmaların məhdudiyyətlərini aradan qaldırır. Bu sistemlər üzvi çirkləndiricilərin (o cümlədən yağlar, boyalar və səthi aktiv maddələr) oksidləşməsi və parçalanmasını təmin edən hidroksil (•OH) və superoksid (O_2^-) radikallarının əmələ gətirdiyi fotokatalizə əsaslanır. Bəzi hallarda foto-Fenton reaksiyaları dəmir əsaslı katalizatorların iştirakı ilə sinergetik redoks prosesləri vasitəsilə deqradasiya səmərəliliyini daha da artırır.

Bu mexanizm geniş xarici təmizləmə olmadan membran keçiriciliyinin qismən bərpasına imkan verir və bununla da kimyəvi istehlakı azaldır. Görünən işıqla idarə olunan sistemlər xüsusilə əlverişlidir, çünki onlar günəş enerjisindən istifadə edərək prosesi daha davamlı edir. Buna baxmayaraq, katalizatorların yuyulması, zamanla azaldılmış fəaliyyət və real iş şəraitində məhdud uzunmüddətli performans məlumatları da daxil olmaqla problemlər hələ də qalmaqdadır.

Müasir tədqiqatlar bir neçə funksiyanı özündə birləşdirən multifunksional nanolifli membranlara yönəlmişdir. Bu membranlar yağ-su ayrılma ilə yanaşı fotokataliz, antibakterial təsir və yüksək mexaniki davamlılığı təmin edir (Lu et al., 2022). Məsələn, sink oksid (ZnO), qrafen oksid (GO) və zeolitik imidazolat karkası-8 (ZIF-8) özündə birləşdirən membranlar həm ayırma səmərəliliyini artırır, həm də üzvi çirkləndiricilərin parçalanmasına səbəb olur. Bu sistemlərdə antibakterial təsir ya gümüş nanopartikulları, ya da ROS vasitəsilə əldə edilir (Ma et al., 2021). Lakin uzunmüddətli stabillik və istehsalın təkrarlanması problemləri qalır (Yahaya et al., 2024).

III. ÇƏTİNLİKLƏR VƏ GƏLƏCƏK PERSPEKTİVLƏR

Əhəmiyyətli irəliləyişlərə baxmayaraq, bir sıra problemlər yağlı çirkab suların təmizlənməsi üçün qabaqcıl membranların genişmiqyaslı tətbiqinə mane olur. Laboratoriya tədqiqatları tez-tez sadələşdirilmiş model emulsiyalarına əsaslanır ki, bu da qarışıq çirkləndiriciləri ehtiva edən real tullantı sularının mürəkkəbliyini dəqiq ifadə etmir. Nəticə etibarı ilə bildirilmiş performans birbaşa sənaye şəraitinə çevrilə bilməz.

Digər əsas məhdudiyyət, standart qiymətləndirmə metodlarının olmamasıdır ki, bu da nəticələri müxtəlif tədqiqatlar arasında müqayisə etməyi çətinləşdirir. Membran xassələri, islanma qabiliyyəti və katalitik aktivlik zamanla mexaniki gərginlik, kimyəvi təsir və ya katalizatorun yuyulması səbəbindən pisləşə biləcəyi üçün uzunmüddətli sabitlik əsas problem olaraq qalır. Bundan əlavə, kimyəvi təmizləmə ilə özünü təmizləmə sistemlərinin inteqrasiyası hələ tam öyrənilməmişdir.

Gələcək tədqiqatlar membranların real şəraitdə sınaqdan keçirilməsinə, onların uzunmüddətli performansının qiymətləndirməsinə, həmçinin passiv çirklənməyə qarşı aktiv özünütəmizləmə və optimallaşdırılmış kimyəvi təmizləmə üsullarını birləşdirən inteqrasiya olunmuş strategiyaların işlənib

hazırlanmasına diqqət yetirməlidir. Eyni zamanda texno-iqtisadi təhlilə və ətraf mühitə təsirin qiymətləndirilməsinə daha çox diqqət yetirilməlidir.

IV. Nəticə

Neftlə çirklənmiş çirkab suların təmizlənməsi üçün membran texnologiyası sadə ayırmadan daha inkişaf etmiş çirklənmənin qarşısını alan və özünü təmizləyən sistemlərə doğru irəliləmişdir. Multifunksional nanolifli membranlar ən perspektivli istiqamətlərdən birini təmsil edir, çünki onlar ayırma və özünütəmizləmə funksiyalarını bir platformada birləşdirirlər. Bununla belə, uzunmüddətli sabitliyi təmin etmək, standartlaşdırılmış performans göstəricilərini yaratmaq və sənayenin mümkünlüyünü qiymətləndirmək üçün əlavə iş tələb olunur. Gələcək inkişaf istiqamətləri passiv və aktiv yanaşmaları selektiv kimyəvi təmizləmə ilə birləşdirən, daha davamlı və tətbiq üçün xüsusi membran sistemlərinə imkan verən inteqrasiya olunmuş hibrid strategiyalara diqqət yetiriləcəkdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. K. S. Ashaghi, M. Ebrahimi, and P. Czermak, "Ceramic ultra- and nanofiltration membranes for oilfield produced water treatment: A mini review," The Open Environmental Journal, vol. 1, pp. 1–8, 2007. https://doi.org/10.2174/1876397900701010001
2. R. Liikanen, J. Yli-Kuivila, and R. Laukkanen, "Efficiency of various chemical cleanings for nanofiltration membrane fouled by conventionally-treated surface water," Journal of Membrane Science, vol. 195, pp. 265–276, 2002.
3. https://doi.org/10.1016/S0376-7388(01)00569-5
4. Y. Yang, Z. Zhou, C. Lu, Y. Chen, H. Ge, L. Wang, and C. Cheng, "Treatment of chemical cleaning wastewater and cost optimization by response surface methodology coupled nonlinear programming," Journal of Environmental Management, vol. 198, pp. 12–20, 2017.
5. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.009
6. X. Zhang, Z. Gan, Y. Wang, X. Tang, G. Li, and H. Liang, "Effect of chemical cleaning on nanofiltration process in treating surface water," Journal of Water Process Engineering, vol. 50, p. 103271, 2022.
7. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103271
8. W. Cao, W. Ma, T. Lu, Z. Jiang, R. Xiong, and C. Huang, "Multifunctional nanofibrous membranes with sunlight-driven self-cleaning performance for complex oily wastewater remediation," Journal of Colloid and Interface Science, vol. 608, pp. 164–174, 2022.
9. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.09.194
10. S. Li, L. Zhang, X. Yin, Y. Wang, X. Guo, and Y. He, "Efficient photocatalysis improves the self-cleaning property of the superwetting nanofibrous membrane toward emulsified oily wastewater," Journal of Membrane Science, vol. 650, p. 120440, 2022.
11. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2022.120440
12. T. Lu, H. Liang, W. Cao, Y. Deng, Q. Qu, W. Ma, R. Xiong, and C. Huang, "Blow-spun nanofibrous composite self-cleaning membrane for enhanced purification of oily wastewater," Journal of Colloid and Interface Science, vol. 608, pp. 2860–2869, 2022.
13. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.11.017
14. L. Ma, S. Zhang, Y. Wan, Y. Yan, L. Zhang, T. Wang, and Y. Luo, "A self-cleaning hierarchical carbon nitride-based membrane for highly efficient oily wastewater purification," Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, vol. 635, p. 128040, 2022.
15. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.128040
16. W. Ma, Y. Ding, Y. Li, S. Gao, Z. Jiang, J. Cui, C. Huang, and G. Fu, "Durable, self-healing superhydrophobic nanofibrous membrane with self-cleaning ability for highly-efficient oily wastewater purification," Journal of Membrane Science, vol. 634, p. 119402, 2021.
17. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119402
18. S. Motta Cabrera, L. Winnubst, H. Richter, I. Voigt, and A. Nijmeijer, "Industrial application of ceramic nanofiltration membranes for water treatment in oil sands mines," Separation and Purification Technology, vol. 256, p. 117821, 2021.
19. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117821
20. S. Motta Cabrera, L. Winnubst, H. Richter, I. Voigt, J. McCutcheon, and A. Nijmeijer, "Performance evaluation of an industrial ceramic nanofiltration unit for wastewater treatment in oil production," Water Research, vol. 220, p. 118593, 2022.
21. https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118593
22. E. Park and S. M. Barnett, "Oil/water separation using nanofiltration membrane technology," Separation Science and Technology, vol. 36, no. 7, pp. 1527–1542, 2001.
23. https://doi.org/10.1081/SS-100103886
24. N. Z. S. Yahaya, N. F. A. Nor Azmi, M. A. Rahman, K. H. Abas, M. H. D. Othman, and J. Jaafar, "Antifouling and self-cleaning photocatalytic membranes in oily wastewater treatment," in Advanced Ceramics for Photocatalytic Membranes, Elsevier, pp. 481–510, 2024.
25. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95418-1.00018-5

İQLIM DƏYIŞIKLIYINƏ UYĞUNLAŞMADA YAŞIL TEXNOLOGIYALARIN ROLU

Şəkər Atamova
Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Ümumi fənlər kafedrası
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xirdalan, Azərbaycan
satamova@beu.edu.az

Xülasə: İqlim dəyişikliyi müasir dövrün ən ciddi ekoloji problemlərindən biri olaraq qlobal miqyasda iqtisadi, sosial və ekoloji sistemlərə təhlükələr yaradır. Bu təhlükələrin qarşısının alınması və təsirlərinin azaldılması məqsədilə yaşıl texnologiyalar getdikcə daha çox əhəmiyyət kəsb edir. Məqalədə iqlim dəyişikliyinə uyğunlaşma proseslərində yaşıl texnologiyaların rolu təhlil edilir. Bərpa olunan enerji mənbələri, enerji səmərəliliyi, aşağı karbonlu nəqliyyat sistemləri, tullantıların idarə olunması və ekoloji mühəndislik həlləri kimi texnologiyaların iqlim dəyişikliyinin mənfi təsirlərinə qarşı dayanıqlığı necə artırdığı araşdırılır. Həmçinin, yaşıl infrastruktur, şəhər ekologiyası və ağıllı kənd təsərrüfatı təcrübələrinin uyğunlaşma qabiliyyətini gücləndirməsi müzakirə olunur. Məqalədə yaşıl texnologiyaların tətbiqinin ekosistemlərin bərpasına, təbii ehtiyatlardan səmərəli istifadəyə və sosial-iqtisadi dayanıqlığa verdiyi töhfələr vurğulanır. Nəticə olaraq, iqlim dəyişikliyinə uyğunlaşmada yaşıl texnologiyaların inteqrasiyasının zəruriliyi və bu sahədə beynəlxalq əməkdaşlığın əhəmiyyəti qeyd edilir.

Açar sözlər*: İqlim dəyişikliyi, uyğunlaşma, yaşıl texnologiyalar, ekoloji mühəndislik, dayanıqlı inkişaf, bərpa olunan enerji*

I. GİRİŞ

Müasir dövrdə bəşəriyyətin qarşısında duran ən köklü təhlükələrdən biri olan iqlim dəyişikliyi, artıq yalnız ekoloji deyil, həm də qlobal iqtisadi-sosial sabitliyi sarsıdan sistemli bir risk faktoruna çevrilmişdir. Antropogen fəaliyyətlər nəticəsində atmosferdə istixana qazlarının konsentrasiyasının artması qlobal temperaturun yüksəlməsinə, ekosistemlərin deqradasiyasına və təbii fəlakətlərin intensivləşməsinə səbəb olur. Bu mürəkkəb şəraitdə iqlim dəyişikliyinin mənfi təsirlərini yumşaltmaq və yeni reallıqlara uyğunlaşmaq üçün innovativ həll yollarının tapılması elmi və praktiki prioritet təşkil edir.

İqlim dəyişikliyinə uyğunlaşma strategiyalarının mərkəzində dayanan əsas amil yaşıl texnologiyaların tətbiqidir. Yaşıl texnologiyalar, təbii ehtiyatlardan səmərəli istifadəni təmin edən, ətraf mühitə mənfi təsirləri minimuma endirən və aşağı karbonlu iqtisadiyyata keçidi sürətləndirən texnoloji innovasiyalar toplusudur. Bu texnologiyaların inteqrasiyası təkcə enerji sektorunu deyil, həm də kənd təsərrüfatı, nəqliyyat, şəhərsalma və tullantıların idarə olunması kimi kritik sahələri əhatə edərək cəmiyyətlərin iqlim şoklarına qarşı dayanıqlığını artırır.

Təqdim olunan məqalədə iqlim dəyişikliyinə adaptasiya proseslərində yaşıl texnologiyaların rolu kompleks şəkildə təhlil edilir. Tədqiqatın əsas məqsədi bərpa olunan enerji sistemlərindən tutmuş ağıllı kənd təsərrüfatı və ekoloji mühəndislik həllərinə qədər olan innovasiyaların ekosistemlərin bərpasına və sosial-iqtisadi sabitliyin qorunmasına verdiyi töhfələri müəyyən etməkdir. Eyni zamanda, bu texnologiyaların effektiv tətbiqi üçün zəruri olan beynəlxalq əməkdaşlıq mexanizmləri və strateji yol xəritələri müzakirə obyektinə çevrilir.

İqlim dəyişikliyi qlobal miqyasda təbii fəlakətlərin tezliyini artırır, su qıtlığı, quraqlıq, dəniz səviyyəsinin qalxması və biomüxtəlifliyin azalması kimi problemlər yaradır. Yaşıl texnologiyalar bu çağırışlara cavab vermək üçün mühüm vasitədir. Məsələn, günəş və külək enerjisi qaz emissiyalarını azaltmaqla yanaşı, enerji müstəqilliyini də təmin edir. Bundan əlavə, ağıllı kənd təsərrüfatı texnologiyaları – damcı suvarma, sensorlar əsasında torpaq nəminin izlənməsi və iqlimə uyğun əkinçilik metodları iqlim dəyişikliyinə uyğunlaşmada effektiv nəticələr verir. Şəhər mühitində isə yaşıl damlar, yağış suyunun idarə olunması sistemləri və enerji səmərəli binalar istilik adalarının təsirini azaldır.

II.NƏTİCƏ

İqlim dəyişikliyinin yaratdığı qlobal təhdidlərin getdikcə daha aşkar və ciddi hala gəldiyi müasir dövrdə uyğunlaşma strategiyalarının tərkib hissəsi olan yaşıl texnologiyalar sadəcə bir seçim deyil, zərurətə çevrilmişdir. Təhlillər göstərir ki, bərpa olunan enerji mənbələrindən tutmuş enerji səmərəliliyinə, aşağı karbonlu nəqliyyat sistemlərindən ekoloji mühəndislik həllərinə, tullantıların idarə olunmasından ağıllı kənd təsərrüfatı və yaşıl infrastruktura qədər geniş spektrli yaşıl texnologiyalar iqlim dəyişikliyinin mənfi təsirlərinə qarşı dayanıqlığı əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq potensialına malikdir. Bu texnologiyaların

inteqrasiyası ekosistemlərin bərpasına, təbii ehtiyatlardan səmərəli istifadəyə, şəhər mühitinin iqlim şoklarına qarşı müqavimət qabiliyyətinin gücləndirilməsinə və sosial-iqtisadi dayanıqlığın təmin olunmasına birbaşa töhfə verir. Eyni zamanda, yaşıl texnologiyaların potensialının tam reallaşdırılması üçün sadəcə texniki həllər kifayət deyil; bu, güclü siyasi iradə, əlverişli investisiya mühiti, innovativ maliyyə mexanizmləri və beynəlxalq əməkdaşlığı tələb edir.

İqlim dəyişikliyinə uyğunlaşma proseslərində yaşıl texnologiyaların sistemli və çoxsəviyyəli inteqrasiyası, həmçinin inkişaf etmiş və inkişaf etməkdə olan ölkələr arasında bilik, texnologiya və təcrübə mübadiləsi qlobal dayanıqlığın təmin edilməsi üçün əsas şərtlərdəndir. Nəticə etibarilə, gələcək tədqiqatlar və praktiki təşəbbüslər yaşıl texnologiyaların uyğunlaşma təsirinin artırılmasına, onların əlçatanlığının genişləndirilməsinə və müxtəlif regional iqlim risklərinə uyğunlaşdırılmış həllərin işlənib hazırlanmasına yönəldilməlidir..

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Huesemann, M., & Huesemann, J. (2011). Techno-fix: Why Technology Won't Save Us or the Environment. New Society Publishers.
2. Əliyev, R. (2020). Azərbaycanda bərpa olunan enerji mənbələri və iqlim dəyişikliyinə uyğunlaşma. Bakı: Elm nəşriyyatı.
3. FAO (2019). Climate-Smart Agriculture: Building Resilience to Climate Change. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
4. Əliyeva, N. (2023). Bərpa olunan enerji mənbələri: Azərbaycan perspektivi. Azərbaycan Texniki Universitetinin Jurnalı, 15(2), 45-58.

BAKI ŞƏHƏRINDƏ TULLANTI SULARININ İDARƏ OLUNMASI: MÖVCUD PROBLEMLƏR, SISTEM BOŞLUQLARI VƏ DAVAMLI HƏLL YANAŞMALARI

Fəridə Aslanova
Bakı Mühəndislik Universiteti / İnşaat mühəndisliyi
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xirdalan, Azərbaycan
faslanova@beu.edu.az

Xülasə: Bu məqalə Azərbaycanın ən böyük urban məkanı olan Bakı və Abşeron yarımadası üzrə tullantı sularının idarə olunmasını su təhlükəsizliyi, iqlimə uyğunlaşma, ekoloji risk və dairəvi iqtisadiyyat baxımından təhlil edir. Əsas nəticə ondan ibarətdir ki, problem yalnız "çirkab suyun təmizlənməsi" məsələsi deyil; toplama, nəql, təmizləmə, onlayn monitorinq, təkrar istifadə və institusional koordinasiya arasında yaranmış zəncir qırılmalarıdır. 2023-cü ildə Hövsan mənşəli tullantı sularının təmizlənib yenidən istifadəsi üzrə pilot layihənin başlanması, 2024-cü ildə su ehtiyatlarının səmərəli istifadəsi üzrə milli strategiyanın təsdiqi və 2026–2035-ci illər üçün Bakı–Abşeron dövlət proqramının qəbulu göstərir ki, dövlət siyasəti "axıt və uzaqlaşdır" modelindən "təmizlə, nəzarət et və məqsədyönlü təkrar istifadə et" modelinə keçməyə başlayıb. Rəsmi sənədlərə görə, hazırkı yükün böyük hissəsi Hövsan istiqamətində cəmlənib, 346 km magistral kollektorun, əlavə 9 təmizləyici qurğunun, SCADA/IoT əsaslı nəzarət mexanizmlərinin və kanalizasiya əhatəsinin 95 faizə çatdırılmasının planlaşdırılması bunu təsdiqləyir.

Açar sözlər*: tullantı suları; Bakı; Hövsan; suyun təkrar istifadəsi; SCADA; IoT; dairəvi iqtisadiyyat; iqlimə uyğunlaşma; su təhlükəsizliyi.*

WASTEWATER MANAGEMENT IN BAKU: EXISTING CHALLENGES, SYSTEM GAPS AND SUSTAINABLE SOLUTION APPROACHES

Abstract: This article analyzes wastewater management in Baku and the Absheron Peninsula, the largest urban area of Azerbaijan, from the perspectives of water security, climate adaptation, environmental risk, and circular economy. The main finding is that the problem is not limited to wastewater treatment alone; rather, it stems from systemic disconnections between collection, transportation, treatment, real-time monitoring, reuse, and institutional coordination.Recent policy developments—including the launch of a

pilot wastewater reuse project in Hovsan in 2023, the adoption of the national water efficiency strategy in 2024, and the approval of the 2026–2035 state program—indicate a transition from a "discharge and dispose" model toward a "treat, monitor, and purposefully reuse" approach. According to official plans, the majority of the system load remains concentrated in the Hovsan direction, with future investments including 346 km of main collectors, nine additional treatment plants, SCADA/IoT-based monitoring systems, and expansion of sewer coverage to 95%.

***Keywords**: wastewater; Baku; Hovsan; water reuse; SCADA; IoT; circular economy; climate adaptation; water security*

I. GİRİŞ

Bakı üzrə tullantı sularının idarə olunması məsələsi son illərdə təkcə sanitariya xidməti deyil, həm də strateji su resursu idarəçiliyi məsələsinə çevrilib. 2024-cü ildə təsdiqlənmiş su ehtiyatlarının səmərəli istifadəsinə dair milli strategiya su itkilərinin azaldılması, qeyri-ənənəvi mənbələrin genişləndirilməsi və təmizlənmiş suların dövriyyəyə qaytarılmasını milli prioritet kimi müəyyən edir. Azərbaycanın ilkin uyğunlaşma planı və yeni iqlim öhdəlikləri də su çatışmazlığına cavab kimi tullantı sularının təkrar istifadəsi, monitorinqin genişləndirilməsi və infrastruktur modernləşməsini önə çəkir. Bu çərçivədə tullantı sularına yük deyil, əlavə su mənbəyi kimi baxış güclənir. İdarəetmənin institusional tərəfi də sürətli transformasiya mərhələsindədir. 2023-cü ildə Azərbaycan Dövlət Su Ehtiyatları Agentliyi yaradılıb, 2023-cü ilin noyabrında isə onun əsasnaməsi və strukturu təsdiq edilib. Paralel olaraq, Dünya Bankı 2024-cü il institusional qiymətləndirməsində Bakı və ətraf ərazilərdə qeyri-gəlir gətirən suyun azaldılması, tullantı su təmizləyici qurğularının əməliyyat səmərəliliyinin yüksəldilməsi və performans əsaslı maliyyələşmə proqramlarının vacibliyini vurğulayıb. Bu, o deməkdir ki, problem artıq yalnız tikinti layihəsi deyil; idarəetmə keyfiyyəti, məlumat infrastrukturu və xidmət modeli də əsas məsələdir. Bu məqalə üç əsas suala cavab verir: Bakı üzrə tullantı sularının idarə olunmasında əsas dar boğazlar hansılardır; hansı texnologiyalar və siyasət alətləri daha real və səmərəlidir; və hansı hibrid model şəhər üçün ekoloji, iqtisadi və institusional baxımdan daha məqsədəuyğundur. Məqalənin əsas tezisi budur ki, Bakı üçün optimal həll "bir nəhəng təmizləyici qurğuya daha çox yük vermək" deyil, toplama–təmizləmə–təkrar istifadə–rəqəmsal nəzarət zəncirini mərhələli və məqsədyönlü şəkildə yenidən qurmaqdır. Rəsmi sənədlər və elmi ədəbiyyat bir neçə ortaq nəticəyə gəlir. Birincisi, şəhər tullantı sularının idarə olunması yalnız fiziki təmizləmə prosesindən ibarət deyil; kollektor şəbəkəsi, yağış sularının ayrılması, xidmət əhatəsi, əməliyyat səmərəliliyi və çıxış suyunun hansı məqsədlə istifadə olunacağı birlikdə nəzərdən keçirilməlidir. İkincisi, təhlükəsiz təkrar istifadə üçün "fit-for-purpose" yanaşması, yəni suyun keyfiyyətini son istifadə sahəsinə uyğun seçmək ən səmərəli model hesab olunur. Üçüncüsü, sağlamlıq riskləri baxımından mikrobioloji və kimyəvi nəzarət zəruridir; buna görə həm Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatı-nın risk əsaslı çərçivəsi, həm də Avropa Komissiyası-nın 2023-cü ildən tətbiq olunan minimum su təkrar istifadəsi qaydaları mühüm istinad çərçivəsidir. Dördüncüsü, real vaxtlı məlumat toplama və rəqəmsal əkiz (digital twin) yanaşmaları artıq kanalizasiya şəbəkələri və tullantı su təmizləyici qurğular üçün əsas idarəetmə alətinə çevrilir.

Elmi ədəbiyyat Bakı üçün birbaşa tətbiq oluna bilən dörd istiqaməti xüsusilə dəstəkləyir. Wang və b. (2024) rəqəmsal əkizlərin kanalizasiya şəbəkəsi, sensorlar, hidrodinamika və proses idarəetməsini tək platformada birləşdirərək tullantı su təsərrüfatında keyfiyyət sıçrayışı yaratdığını göstərir. Nourredine və Barjenbruch (2024) şəhər miqyasında MBBR əsaslı məhəlli sistemlərin 98 faizə qədər BOD_5 azalması verdiyini və qeyri-içməli təkrar istifadə üçün uyğun effluent istehsal etdiyini göstərir. Gando-Ferreira və Quina (2023) təmizlənmiş şəhər tullantı suyunun suvarmada istifadəsinin həm su qıtlığını azaltmaq, həm də azot və fosforu dövriyyəyə qaytarmaq üçün vacib olduğunu qeyd edir. Kalmakhanova və b. (2025) isə tullantı su effluentlərinin çirkləndiricilər vasitəsilə səthi sulardan qrunt sularına keçərək içməli və suvarma suyu təhlükəsizliyinə təhdid yarada bildiyini vurğulayır.

CƏDVƏL 1.

Müəllif	İl	Region	Metod	Əsas tapıntı
Nilufar Nasırlı	2025	Bakı- Hövsan	Təkrar istifadə alternativlərinin qiymətləndirilməsi; 2019–2023 effluent göstəricilərinin təhlili	Təmizlənmiş suyun orta aylıq BOD dəyərləri 16.1–20.8 mg/L aralığında dəyişib; bu, genişmiqyaslı təkrar istifadə üçün stabilləşdirilmiş üçüncü mərhələ təmizləmə ehtiyacını göstərir.
Ai-Jie Wang və b.	2024	Beynəlxalq	Texniki icmal	Rəqəmsal əkizlər WWTP və kanalizasiya şəbəkələrində real

				vaxtlı məlumat, hibrid modelləşdirmə və optimallaşdırmanı mümkün edir.
Hajar Nourredine və Matthias Barjenbruch	2024	Berlin	Üç MBBR pilotunun müqayisəsi	MBBR sistemləri BOD_5 üzrə 98%-ə qədər azalma verib və qeyri-içməli istifadə üçün yüksək keyfiyyətli su formalaşdırıb.
Licínio M. Gando-Ferreira və Margarida J. Quina	2023	Avropa	Nəzəri icmal və normativ təhlil	Təmizlənmiş tullantı suyunun suvarmada istifadəsi su qıtlığını azaldır, lakin mikrobioloji nəzarət və risk idarəetməsi şərtdir.
Marzhan S. Kalmakhanova və b.	2025	Mərkəzi Asiya	Regional risk icmalı	WWTP effluentləri və digər mənbələrdən gələn çirkləndiricilər səthi sulardan qrunt sularına keçərək içməli və suvarma sularını risk altına sala bilər.

Cədvəl müəllifin sintezidir və burada istifadə olunan məlumatlar Nasırlı (2025), Wang və b. (2024), Nourredine və Barjenbruch (2024), Gando-Ferreira və Quina (2023), Kalmakhanova və b. (2025) əsasında hazırlanmışdır.

Bu müqayisə Bakı üçün üç praktiki nəticə verir. Birincisi, təkcə mövcud bioloji təmizləmə ilə kifayətlənmək uzunmüddətli həll deyil; üçüncü mərhələ filtrasiya və dezinfeksiya vacibdir. İkincisi, periferik yaşayış sahələri və yeni urban zonalar üçün məhəlli və ya yarım-mərkəzləşdirilmiş sistemlər iri mərkəzi qurğulara təzyiqi azalda bilər. Üçüncüsü, təkrar istifadə yalnız texnologiya məsələsi deyil; normativ çərçivə, risk əlaqələndirməsi və ictimai etimad eyni dərəcədə vacibdir

II.TədqİqatmetoduMetodoloji baxımdan məqalə "triangulyasiya" prinsipindən istifadə edir: eyni problem üzrə ən azı iki fərqli tip mənbə müqayisə olunub. Məsələn, rəsmi sənədlərdə nəzərdə tutulan investisiya istiqamətləri Dünya Bankının əməliyyat səmərəliliyi üzrə tövsiyələri və müasir texnologiya icmalları ilə tutuşdurulub. Eyni zamanda, açıq məlumat boşluqları ayrıca qeydə alınıb. Xüsusilə, Hövsan qurğusu üzrə standartlaşdırılmış, fasiləsiz və ictimai açıq əməliyyat göstəricilərinin məhdud olması səbəbindən məqalə bir tərəfdən rəsmi proqram hədəflərinə, digər tərəfdən isə açıq çıxışlı 2025-ci il effluent tədqiqatına istinad edir. Bu, müəyyən dərəcədə ehtiyatlı interpretasiya tələb edir və nəticələrdə həmin məhdudiyyət açıq şəkildə qeyd olunur. İnfrastruktur yükünün tək nöqtədə cəmlənməsi. 2026-cı il rəsmi müşavirəsində bildirilib ki, şəhərin bütün çirkab və tullantı suları hazırda Hövsan təmizləyici qurğusuna gəlir. Elə buna görə də dövlət proqramı 12 yeni kollektor, ümumilikdə 346 km magistral kollektor, əlavə 9 yeni təmizləyici qurğu, 30 küçə üzrə yağış suları sistemi və kanalizasiya əhatəsinin 95 faizə çatdırılmasını nəzərdə tutur. Birinci mərhələnin 2026–2030 üçün nəzərdə tutulmuş qısa xülasəsində də mövcud su və kanalizasiya infrastrukturunun əsaslı təmiri, yağış sularının idarə olunması, tullantı sularının təkrar istifadəsi və "ağıllı su şəbəkələri"nin tətbiqi ayrıca vurğulanır. Bu, rəsmi səviyyədə problemin əsasən mərkəzləşmiş, lakin infrastruktur baxımından qeyri-kafi və iqlim risklərinə həssas sistem kimi qəbul olunduğunu göstərir. Pilotdan sistemə keçid. 25 dekabr 2023-cü il sərəncamı ilə Hövsan aerasiya qurğusundan Xəzər dənizinə axıdılan tullantı sularının təmizlənməsi və təkrar istifadəsi üzrə Abşeron ərazisində pilot layihə başlatılıb. Sonrakı icra sənədi isə qabaqcıl beynəlxalq təcrübə nəzərə alınmaqla təkliflərin hazırlanmasını və aidiyyəti qurumlarla razılaşdırılmasını tələb edir. Bu addımın məzmunu çox vacibdir: dövlət ilk dəfə tullantı suyunu sadəcə atıq kimi deyil, alternativ su mənbəyi kimi hüquqi-siyasi səviyyədə tanıyır. 2026-cı il üzrə dövlət–özəl tərəfdaşlığı portfelinə Hövsan qurğusunun yenidən qurulması və təkrar istifadə sistemlərinin daxil edilməsi də bu dəyişimin təsadüfi deyil, sistemli istiqamət olduğunu göstərir. İnstitusional koordinasiyanın hələ də əsas problem olaraq qalması. Dövlət proqramı və yeni agentlik modeli koordinasiya baxımından irəliləyiş yaratsa da, beynəlxalq qiymətləndirmələr göstərir ki, əməliyyat səmərəliliyi, performans göstəriciləri və xidmət modelinin aydınlaşdırılması hələ də açıq məsələdir. Dünya Bankının 2024-cü il qiymətləndirməsi Bakı və ətrafında tullantı su təmizləyici qurğularının əməliyyat səmərəliliyinin yüksəldilməsi və nəticə əsaslı maliyyələşmənin zəruriliyini ayrıca vurğulayır. Deməli, yalnız yeni boru və qurğu tikmək kifayət etməyəcək; O&M, göstərici üzrə audit, enerji və kimyəvi sərfiyyat, qəza reaksiyası və məlumat idarəçiliyi də vahid sistemə çevrilməlidir.

Sahil sularına qeyri-adekvat və ya qeyri-sabit təmizlənmiş axıntıların təsiri uzunmüddətli problem olaraq qalır. Dünya Bankının 2025-ci il "Blueing the Caspian Sea" sənədi üzrə çıxarışda Abşeronun şimal və şərq hissələrindən gələn tullantı sularının dənizə axıdılması riskləri qeyd olunur, eyni zamanda Lökbatan və Pirşağıda iri qurğuların planlaşdırıldığı, Hövsan gücünün artırıldığı bildirilir. Regional elmi ədəbiyyat da bunu dəstəkləyir: Kalmakhanova və b. (2025) tullantı su effluentləri və başqa çirkləndirici mənbələrin səthi sudan qrunt sularına keçərək içməli və suvarma suyu təhlükəsizliyini poza biləcəyini göstərir. Buna görə də təkrar istifadə məsələsi yalnız su qənaəti deyil, həm də sağlamlıq və ekoloji təhlükəsizlik məsələsidir. Açıq çıxışlı 2025-ci il Hovsan tədqiqatında 2019–2023 dövrü üzrə təmizlənmiş suyun orta aylıq BOD göstəricisinin 16.1–20.8 mg/L aralığında dəyişdiyi göstərilib. Bu göstəricilər bəzi qeyri-içməli istifadə formaları üçün ümidverici bazanı göstərsə də, genişmiqyaslı və təhlükəsiz təkrar istifadə üçün xüsusən mikrobioloji nəzarət, bulanıqlıq, TSS və məqsəd sahəsinə uyğun dezinfeksiya haqqında daha sabit məlumatlara ehtiyac olduğunu düşündürür. Elmi icmallar da eyni nəticəyə gəlir: üçüncü mərhələ filtrasiya və dezinfeksiya, xüsusən şəhər yaşıllaşdırması, sənaye və kənd təsərrüfatı istiqamətli istifadə üçün həlledici rol oynayır. Rəqəmsallaşma artıq əlavə seçim deyil. Rəsmi proqram sənədi və müşavirə materiallarında SCADA, IoT, onlayn keyfiyyət monitorinqi və elektron uçot ayrıca qeyd olunur. Elmi ədəbiyyatda isə rəqəmsal əkiz yanaşması məhz WWTP və kanalizasiya şəbəkələri üçün real vaxtlı model–məlumat inteqrasiyasının əsas forması kimi təqdim edilir. Bakı kimi həm sahil ekosisteminə həssas, həm də yağış suları problemi yaşayan şəhər üçün bu, iki üstünlük verir: birincisi, qəza və keyfiyyət sapmaları erkən aşkar olunur; ikincisi, hansı axının hansı məqsədlə təkrar istifadəyə verilməli olduğu dinamik şəkildə seçilə bilir.

Tapıntılar göstərir ki, Bakı üçün optimal həll "yalnız Hövsanı böyütmək" deyil, mərkəzləşdirilmiş–yarım-mərkəzləşdirilmiş hibrid sistem qurmaqdır. Bu modeldə iri magistral kollektorlar və Hövsan kimi əsas qurğular şəhər mərkəzi yükünü daşıyır, yeni urban zonalar, sahilyanı qəsəbələr və sürətlə inkişaf edən kənar ərazilər isə MBBR, MBR və ya funksional cəhətdən oxşar məhəlli qurğularla dəstəklənir. Beləliklə, həm əsas qurğuya düşən təzyiq azalır, həm də təmizlənmiş su yerində istifadə oluna bilir; bu isə nəql xərclərini və sistem itkilərini aşağı salır. Rəsmi dövlət proqramının mərkəzləşdirilməmiş kanalizasiya sistemləri olmayan ərazilərdə yeni infrastruktur yaradılması müddəası da bu yanaşma ilə uyğundur. İkinci prinsip məqsədyönlü təkrar istifadə nərdivanı olmalıdır. Bakı üçün ən real ardıcıllıq belə görünür: əvvəlcə sənaye və texniki su, şəhər yaşıllaşdırması, yol və park suvarması, tikinti məqsədləri və istilik adası ilə mübarizə üçün istifadə; sonra risk qiymətləndirilməsi aparılmaqla kənd təsərrüfatında suvarma; yalnız uzunmüddətli monitorinq və yüksək etibar mühiti formalaşdıqdan sonra daha həssas istifadə sahələri. Bu yanaşma həm WHO risk əsaslı çərçivəsi, həm də Komissiyanın minimum su təkrar istifadəsi qaydaları ilə uyğundur. Üstün cəhəti odur ki, nisbətən daha az həssas istifadə sahələrində iqtisadi və ekoloji fayda daha tez əldə edilir. Üçüncü prinsip məlumat əsaslı idarəetmə və ictimai etimaddır. Bacarıqlı qurum, onlayn məlumat, laboratoriya yoxlaması və şəffaf hesabatlılıq olmadan təkrar istifadə layihələri texniki cəhətdən mümkün olsa da, sosial legitimlik qazana bilmir. 2023-cü il Səudiyyə Ərəbistanı tədqiqatında respondentlərin 77 faizi təmizlənmiş tullantı suyunun kənd təsərrüfatında istifadəsini dəstəkləsə də, dəstəyin daha çox ictimai parklara, yaşıl zonalara və birbaşa qida ilə əlaqəsi olmayan sahələrə yönəldiyi göstərilib. Bu, Bakı üçün də vacib siqnaldır: ilk mərhələdə "insana yaxın olmayan" qeyri-içməli istifadə sahələri üzərindən ictimai etimad qurmaq daha rasionaldır. Davranış dəyişikliyi üçün təkcə infrastruktur deyil, məlumatlılıq və ekoloji motivasiya da vacibdir. Dördüncü prinsip maliyyələşmənin mərhələləşdirilməsidir. Hovsanın yenidən qurulmasının və təkrar istifadə sistemlərinin dövlət–özəl tərəfdaşlığı portfelinə daxil edilməsi göstərir ki, dövlət özü də bu layihələri yalnız büdcə xərci kimi deyil, xidmət əsaslı idarə edilə bilən infrastruktur kimi görür. Lakin burada risk ondan ibarətdir ki, PPP və ya borc alətləri yalnız tikinti mərhələsini gücləndirsin, əməliyyat göstəricilərini isə kifayət qədər ölçməsin. Buna görə gələcək müqavilələrdə ən azı aşağıdakı performans indikatorları olmalıdır: effluent keyfiyyəti, enerji sərfi, nasazlığa reaksiya müddəti, təkrar istifadə həcmi, şəbəkə itkiləri və ictimai məlumat açıqlığı.

III. Nəticə

Bakı şəhərində tullantı sularının idarə olunması probleminin kökü təkcə "qurğu gücünün azlığı" deyil; yükün həddindən artıq mərkəzləşməsi, yağış və çirkab sularının idarəsində struktur boşluqlar, açıq əməliyyat məlumatlarının məhdudluğu, təkrar istifadə infrastrukturu ilə son istifadə tələbi arasındakı uyğunsuzluq və uzun müddət zəif qalan rəqəmsal nəzarət mexanizmləridir. 2023-cü il pilot qərarı, 2024-cü il milli strategiyası və 2026–2035-ci illər proqramı bu məsələnin artıq dövlət siyasətinin mərkəzinə keçdiyini göstərir. Əgər planlaşdırılan kollektorlar, əlavə təmizləyici qurğular, üçüncü mərhələ təmizləmə,

SCADA/IoT və risk əsaslı təkrar istifadə standartları vahid çərçivədə tətbiq edilərsə, Bakı tullantı suyu problemini ekoloji yükdən əlavə su resursuna çevirmək imkanına malikdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Alzahrani, F., Elsebaei, M. N. M., & Tawfik, R. T. (2023). Public Acceptance of Treated Wastewater Reuse in the Agricultural Sector in Saudi Arabia. Sustainability, 15(21), 15434. doi:10.3390/su152115434
2. Avropa Komissiyası. (2023). Water reuse: New EU rules improve access to safe irrigation.
3. Avropa Komissiyası. (2023). Water Reuse.
4. Azərbaycan Respublikası Nazirlər Kabineti. (2024). "Hövsan aerasiya qurğusundan Xəzər dənizinə axıdılan tullantı sularının təmizlənməsi və təkrar istifadəsi ilə bağlı pilot layihənin həyata keçirilməsi tədbirləri haqqında" Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2023-cü il 25 dekabr tarixli 4229 nömrəli Sərəncamının icrasının təmin edilməsi barədə.
5. Azərbaycan Respublikası Prezidenti. (2023). Hövsan aerasiya qurğusundan Xəzər dənizinə axıdılan tullantı sularının təmizlənməsi və təkrar istifadəsi ilə bağlı pilot layihənin həyata keçirilməsi tədbirləri haqqında Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Sərəncamı.
6. Azərbaycan Respublikası Prezidenti. (2024). "Su ehtiyatlarından səmərəli istifadəyə dair Milli Strategiya"nın təsdiq edilməsi haqqında Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Sərəncamı.
7. Azərbaycan Respublikası Prezidenti. (2026a). "Bakı şəhərində və Abşeron yarımadasında su təchizatı, yağış və tullantı suları sistemlərinin təkmilləşdirilməsinə dair 2026−2035-ci illər üçün Dövlət Proqramı"nın təsdiq edilməsi haqqında Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Sərəncamı.
8. Azərbaycan Respublikası Prezidenti. (2026b). Bakı şəhəri və Abşeron yarımadasında su təchizatı, tullantı və yağış suları sistemlərinin təkmilləşdirilməsinə dair Dövlət Proqramına həsr olunan müşavirə keçirilib.
9. Gando-Ferreira, L. M., & Quina, M. J. (2023). Urban Wastewater as a Source of Reclaimed Water for Irrigation: Barriers and Future Possibilities. Environments, 10(2), 17. doi:10.3390/environments10020017
10. Kalmakhanova, M. S., Diaz de Tuesta, J. L., Malakar, A., Gomes, H. T., & Snow, D. D. (2023). Wastewater Treatment in Central Asia: Treatment Alternatives for Safe Water Reuse. Sustainability, 15(20), 14949. doi:10.3390/su152014949
11. Kalmakhanova, M. S., Kurtebayeva, A. A., Tleuova, Z. T., Satybaldiev, B., Orynbayev, S. A., Malakar, A., Gomes, H. T., & Snow, D. D. (2025). Environmental Impact of Wastewater on Surface and Groundwater in Central Asia. Sustainability, 17(12), 5370. doi:10.3390/su17125370
12. Nasırlı, N. (2025). The Investigation of Reuse Alternatives of Hovsan Wastewater Treatment Plant Effluent.
13. Nourredine, H., & Barjenbruch, M. (2024). Graywater Treatment Efficiency and Nutrient Removal Using Moving Bed Biofilm Reactor Systems: A Comprehensive Review. Water, 16(16), 2330. doi:10.3390/w16162330
14. UNFCCC. (2024). Initial National Adaptation Plan.
15. Wang, A.-J., Li, H., He, Z., Tao, Y., Wang, H., Yang, M., Savic, D., Daigger, G. T., & Ren, N. (2024). Digital Twins for Wastewater Treatment: A Technical Review. Engineering, 36, 21–35. doi:10.1016/j.eng.2024.04.012
16. World Bank. (2024). Azerbaijan: Transitioning to Efficient Water Sector Institutions and Services.
17. World Bank. (2025). Blueing the Caspian Sea..

DAYANIQLI KƏND TƏSƏRRÜFATI ÜÇÜN İQLİM DƏYİŞİKLİYİ VƏ YAŞIL TEXNOLOGİYA

Gülhanə Umarova
Kimya mühəndisliyi kafedrası
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xirdalan, Azərbaycan
gumarova@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu məqalədə iqlim dəyişikliyinin və yaşıl texnologiyaların davamlı kənd təsərrüfatının təşviqində rolu araşdırılır. Biomüxtəlifliyin qorunmasında və təbii sərvətlərin davamlı istifadəsinin təmin edilməsində ətraf mühit texnologiyalarının əhəmiyyəti vurğulanır. Tədqiqat, xüsusən də inkişaf etməkdə olan bölgələrdə çirkab sularının idarə olunması, torpaqların deqradasiyası, şəhərləşmə və artan enerji tələbatı kimi əhəmiyyətli ekoloji problemləri həll edir. Günəş, külək, su elektrik stansiyası, biokütlə və bioyanacaqlar da daxil olmaqla bərpa olunan enerji mənbələrinin kənd təsərrüfatı məhsuldarlığını dəstəkləmək və ətraf mühitə təsirini azaltmaq potensialı vurğulanır. Məqalədə həmçinin yaşıl texnologiyaların iqtisadi inkişafa, enerji səmərəliliyinə və ətraf mühitin qorunmasına verdiyi töhfə araşdırılır. Ümumilikdə, tədqiqat göstərir ki, bərpa olunan enerji sistemlərinin və ekoloji cəhətdən təmiz texnologiyaların kənd təsərrüfatı təcrübələrinə inteqrasiyası uzunmüddətli dayanıqlığa nail olmaq və kənd yerlərində dolanışıq səviyyəsini yaxşılaşdırmaq üçün vacibdir.
Açar sözlər*: İqlim dəyişikliyi, Yaşıl Texnologiya, dayanıqlı kənd təsərrüfatı, bərpa olunan enerji, ətraf mühitin davamlılığı*

I. GİRİŞ

Ətraf mühit texnologiyaları bioloji müxtəlifliyin qorunmasını hədəfləyən ekologiya sahəsinin əsas dayaqlarından biridir. Bioloji müxtəlifliyin qorunmasına yönəlmiş bu elm sahəsi adətən Conservation Ecology və ya Conservation Biology kimi tanınır. Bu istiqamət elmi biliklərin tətbiqi vasitəsilə genlərin, populyasiyaların, növlərin və bütöv ekosistemlərin qorunmasını təmin etməyə yönəlmişdir.

İnkişaf etməkdə olan Asiya ölkələrində çirkab və kanalizasiya sularının idarə olunması problemi insan sağlamlığı üçün ən ciddi təhlükələrdən biri hesab olunur. Məişət təsərrüfatlarından, kommersiya obyektlərindən, sənaye müəssisələrindən və ya kənd təsərrüfatından yaranan maye tullantılar müxtəlif çirkləndirici maddələr ehtiva edir. İnkişaf etmiş ölkələrdə bu tullantıların tərkibindəki zərərli maddələr xüsusi texnologiyalar vasitəsilə müəyyən dərəcədə azaldılır və ya təkrar emal edilir.

Bu vəziyyət təbii olaraq bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə edən əlçatan və iqtisadi cəhətdən münasib texnologiyaların tətbiqini zəruri edir. Günəş, külək, yağış və geotermal istilik kimi mənbələr təbii şəkildə yenilənən enerji ehtiyatlarıdır. Bu sahədə geniş istifadə olunan texnologiyalar sırasında Günəş Enerjisi, Külək Enerjisi, Su Elektrik Enerjisi (və ya mikro hidroenerji), həmçinin Biomass Energy və nəqliyyat üçün istifadə edilən Biofuel kimi alternativ enerji növləri yer alır.

İlkin enerji istehlakının nəzərə alınması xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Çünki bu anlayış həm bərpa olunan, həm də bərpa olunmayan enerji mənbələrində mövcud olan ümumi enerji ehtiyatını əhatə edir. Statistik göstəricilərə əsasən, dünya üzrə istifadə olunan ilkin enerjinin təxminən 13 faizi bərpa olunan mənbələrin payına düşür və bunun böyük hissəsi ənənəvi biomassa, xüsusilə odunun yanması yolu ilə əldə olunan enerjiyə əsaslanır.

Bu enerji mənbələrinin xüsusiyyətlərini və imkanlarını düzgün dərk etmək dayanıqlı inkişaf siyasətlərinin formalaşdırılmasına kömək edir. Belə siyasətlər yalnız ekoloji tarazlığın qorunmasını deyil, eyni zamanda iqtisadi davamlılığı və sosial-siyasi sabitliyi də təmin etməyə yönəlmiş kompleks yanaşmanı əhatə edir.

II. Kənd təsərrüfatı üçün ekoloji cəhətdən dost texnologiyalar

Dünya miqyasında ətraf mühitin sürətlə deqradasiyaya uğraması, geniş yayılmış yoxsulluq və insanların yüksək həyat keyfiyyətinə nail olmaq və onu qorumaq istəyi təbii resurslara çıxışın nəsillərarası ədalət prinsipi əsasında təmin edilməsinə marağın artmasına səbəb olmuşdur. Bu yanaşma xüsusilə Sustainable Development konsepsiyası çərçivəsində mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Hazırda məhsuldar kənd təsərrüfatı torpaqlarının böyük hissəsi artıq istifadəyə cəlb edilmişdir və xüsusilə Asiya regionunda torpaqdan istifadə intensivliyi təhlükəsiz həddi keçmişdir. Bu səbəbdən yeni əkin sahələrinin genişləndirilməsi üçün mövcud təbii resurslar faktiki olaraq tükənmə həddinə çatmışdır.

Bundan əlavə, sürətli urbanizasiya, sənayeləşmə və əhali sayının artması təmiz enerji və ekoloji həllərə daha ciddi yanaşmanı zəruri edir. Bu şəraitdə alternativ enerji mənbələrinin balanslı şəkildə tətbiqi və yeni texnologiyaların inkişafı vacib hesab olunur. Günəş, külək və bioyanacaq sahələrində əldə olunan nailiyyətlər, eləcə də enerji səmərəliliyinə əsaslanan layihələr texnologiyaya əsaslanan enerji və xərclərə qənaət mexanizmlərinin inkişafını sürətləndirmişdir. Bu isə iqtisadi inkişafın davamlılığını təmin etməyə kömək edir [1].

Dövlət siyasətinin keyfiyyəti və onun effektiv həyata keçirilməsi bərpa olunan enerji mənbələrinin düzgün istifadəsini təmin etməklə yanaşı, ətraf mühitin qorunmasına da xidmət edir. Kənd təsərrüfatının inkişaf etdirilməsi yolu ilə məhsuldarlığın artırılması və fermer gəlirlərinin yüksəldilməsi, eyni zamanda ekoloji tarazlığın pozulmaması məqsədi ilə həyata keçirilən yanaşma dayanıqlı kənd təsərrüfatı kimi xarakterizə olunur.

Xüsusilə Asiya ölkələrində torpaqdan intensiv istifadə nəticəsində torpaq və su resurslarının plansız istismarı kimi problemlər daha qabarıq şəkildə ortaya çıxmışdır. Enerji və kənd təsərrüfatı üçün istifadə olunan istehsal vasitələrinin qiymətlərinin sürətlə artması isə fermerlərin gəlirliliyini azaldaraq həm iqtisadi, həm də ekoloji problemlərin dərinləşməsinə səbəb olmuşdur. Buna görə də təbii resursların imkan və məhdudiyyətlərinin düzgün qiymətləndirilməsi, dövlət siyasətlərinin təhlili və tətbiq olunan aqrotexnologiyaların uyğunluğunun müəyyən edilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir [2].

III. Tətbiqi mümkün texnologiyalar

Günəş fotovoltaik texnologiyası günəş şüalarını yarımkeçirici modullar vasitəsilə elektrik enerjisinə çevirən bir texnologiyadır. Bu sistemlər əsasən işıqlandırma ehtiyaclarını qarşılamaq üçün istifadə olunsa da, suyun nasos vasitəsilə çıxarılması, soyutma sistemləri, rabitə vasitələrinin işlədilməsi və batareyaların doldurulması kimi məqsədlər üçün də tətbiq edilə bilər. Kənd təsərrüfatında isə bu texnologiya suvarma üçün suyun vurulması, kənd yollarının işıqlandırılması, kənd evlərinin enerji təminatı və zərərvericilərlə mübarizə sistemləri üçün ekoloji cəhətdən təmiz enerji mənbəyi kimi istifadə olunur.

Külək enerjisi hazırda sürətlə inkişaf edən enerji sahələrindən biridir. Ümumi dünya elektrik enerjisi istehsalında onun payı təxminən 1% təşkil etsə də, bəzi ölkə və regionlarda bu göstərici artıq 20%-ə qədər yüksəlmişdir. Külək enerjisinin əhəmiyyəti getdikcə artır, çünki o, ənənəvi enerji mənbələri ilə müqayisədə daha az hava çirkləndiricisi və istixana qazı emissiyası yaradır.

Bioyanacaq - xüsusilə bioetanol və biodizel gələcək enerji sistemində mühüm rol oynaya biləcək alternativ enerji mənbələrindən biridir. Lakin kənd təsərrüfatı ilə bioyanacaq istehsalı arasındakı əlaqənin davamlılığı qiymətləndirilərkən ərzaq təhlükəsizliyi, ətraf mühit və biomüxtəlifliyə mümkün təsirlər diqqətlə araşdırılmalıdır. Digər tərəfdən, istifadəsiz torpaq sahələrinin müəyyən bitkilərin becərilməsi üçün kənd təsərrüfatına cəlb edilməsi müsbət nəticələr verə bilər. Bu istiqamət gələcəkdə elmi tədqiqatların ən aktual sahələrindən biri hesab olunur. Bioyanacaq isə üzvi maddələrin metanogen bakteriyalar vasitəsilə anaerob parçalanması nəticəsində əldə olunur. Bu texnologiyanın əsas üstünlüyü kənd təsərrüfatı tullantılarından enerji və gübrə əldə etməyə imkan yaratmasıdır. Biqazın istifadəsi yanacaq ağacına tələbatı azaldır, kənd təsərrüfatı qalıqlarının idarə olunmasını yaxşılaşdırır, heyvan peyininin səmərəli istifadəsini təmin edir və kerosinə olan ehtiyacı azaldır. Bundan əlavə, torpaq münbitliyinin və məhsuldarlığın artması da müşahidə edilmişdir [3].

Hidroenerji gücü təxminən 500 kVt-dan 25 MVt-a qədər olan elektrik stansiyaları vasitəsilə əldə olunan və bərpa olunan enerji mənbələri sırasına daxil edilən enerji növüdür. Bu cür stansiyalar əsasən kənd ərazilərinin elektrikləşdirilməsində istifadə edilir. Eyni zamanda onlar suvarma sistemlərinin inkişafına və kənd təsərrüfatı məhsullarının istehsal yerində emalına dəstək verməklə də mühüm rol oynayır. Bundan əlavə, kənd təsərrüfatında ekoloji baxımdan təhlükəsiz hesab olunan digər müasir texnologiyalar da mövcuddur. Bunlara Biomass Energy, ənənəvi su dəyirmanlarının prinsiplərinə əsaslanan təkmilləşdirilmiş su dəyirmanları, Geothermal Energy və həmçinin Bt Crops kimi biotexnoloji yanaşmalar daxildir [4].

IV. Aqromeşəçilik və ekoloji cəhətdən davamlı kənd təsərrüfatı

Aqromeşəçilik texnologiyasının tətbiqi kənd təsərrüfatı ekosisteminin müxtəlif ekoloji komponentlərinin yaxşılaşmasına mühüm töhfə verir. Bu yanaşma təbii resursların qorunmasına, Karbon Sekvestrasiyası prosesinin gücləndirilməsinə, biomüxtəlifliyin mühafizəsinə, həmçinin torpağın münbitliyinin və strukturunun yaxşılaşmasına şərait yaradır. Aqromeşəçilik sistemləri torpaq münbitliyinin artırılmasına bir neçə mexanizm vasitəsilə təsir göstərir [5]:

a) Sistem daxilində qida maddələrinin dövranı daha səmərəli şəkildə həyata keçirilir və nəticədə torpaqda mövcud olan və ya əlavə olaraq verilən qida elementlərindən daha effektiv istifadə olunur.

b) Bioloji azot fiksasiyası baş verir və bitkilər üçün çətin mənimsənilən bəzi qida elementləri daha əlçatan formaya çevrilir. Bu proses əsasən Bioloji Azot Fiksasiyası vasitəsilə reallaşır.
c) Bitkilər tərəfindən dövriyyəyə daxil edilən qida maddələrinin payı artır və bunun nəticəsində həmin maddələrin torpağın qida maddələrinin sorulma zonasından kənara çıxaraq itirilməsi azalır.
d) Sistemə daxil olan müxtəlif bitki növləri arasında qarşılıqlı tamamlayıcı əlaqələr formalaşır və bu, qida maddələrinin daha səmərəli bölüşdürülməsinə imkan yaradır.
e) Bitkilərin kök sistemlərinin torpağın müxtəlif qatlarında yerləşməsi qida maddələrinin mənimsənilməsini daha effektiv edir və beləliklə qida ehtiyatlarından daha rasional istifadə təmin olunur [6].
f) Torpaqda üzvi maddələrin miqdarının artması torpağın kimyəvi reaksiyalarını tənzimləyir və nəticədə qida maddələrinin bitkilər üçün əlçatan formada ayrılma prosesi yaxşılaşır.
Aqromeşəçilik sistemi kənd təsərrüfatında ekoloji cəhətdən dost yanaşmanın formalaşmasına dolayı təsir mexanizmi vasitəsilə də töhfə verir. Bu proses aşağıdakı zəncirvari əlaqə ilə izah olunur:
aqromeşəçilik → heyvandarlıq → biqaz istehsalı → ekoloji cəhətdən davamlı kənd təsərrüfatı

Bu yanaşma kənd təsərrüfatı tullantılarının səmərəli istifadəsinə, enerji istehsalına və ətraf mühitə təsirin azalmasına imkan yaradır. Məsələn, Biogas texnologiyası heyvandarlıq tullantılarından enerji əldə etməklə yanaşı, torpaq üçün üzvi gübrə mənbəyi də yaradır [7].

V.Yaşil texnologiyanin təsiri

Dünyada müxtəlif ölçülü və fəaliyyət sahələrinə malik bütün qurumlara – dövlət strukturlarına, qeyri-hökumət təşkilatlarına və qeyri-kommersiya təşkilatlarına – dayanıqlı və ekoloji məsuliyyətli biznes təcrübələrinin təşviqi ilə bağlı beynəlxalq çağırış edilir. Bu qurumlar birlikdə fəaliyyət göstərərək "yaşıl" təşəbbüslərin inkişafına töhfə verə bilərlər. Ətraf mühitin qorunmasına yönəlmiş maarifləndirmə proqramları vasitəsilə müəssisələrin məhsulları üçün yeni bazar imkanları barədə məlumatların yayılması mümkündür. Yeni texnologiyalar haqqında məlumatlılığın artırılması isə iqlim dəyişikliyinin təsirlərini azaltmaq üçün karbon izinin azaldılmasının əhəmiyyətini daha aydın şəkildə izah etməyə kömək edir. Bu cür məlumatlandırma tədbirləri bazar tendensiyalarını, ekoloji təhlükələri və mövcud imkanları daha yaxşı anlamağa şərait yaradır [8].
Son dövrlərdə Yaşıl Texnologiya adlı yeni təşəbbüs fəaliyyətə başlamışdır. Bu təşəbbüsün əsas məqsədi informasiya texnologiyaları sahəsində fəaliyyət göstərən tərəfdaşlara IT infrastrukturunun ətraf mühitə təsirini azaltmaq istiqamətində dəstək göstərməkdir. Başqa sözlə, bu, kompüter və digər texnoloji avadanlıqların istifadəsi nəticəsində yaranan karbon emissiyalarının məhdudlaşdırılması deməkdir. Karbon izinin azaldılması Britaniya hökuməti tərəfindən müəyyən edilmiş və 2020-ci ilə qədər istixana qazı emissiyalarını 20% azaltmağı nəzərdə tutan hədəflərlə də uyğunluq təşkil edir. Sistemlərin daha ekoloji yönümlü hala gətirilməsinə böyük maraq olsa da, bir çox qurumlar bunu praktiki olaraq necə həyata keçirə biləcəkləri barədə kifayət qədər məlumata malik deyillər.
Bir çox bölgələrində kənd təsərrüfatı məhsuldarlığının aşağı səviyyədə qalmasının əsas səbəblərindən biri dayanıqlı olmayan torpaq istifadəsi üsulları və musson yağışlarının yaratdığı güclü eroziya proseslərıdir. Bu amillər həm də yoxsulluğun geniş yayılmasına və onun daha kəskin formalar almasına səbəb olur. Davamlı kənd təsərrüfatı haqqında müzakirələr aparılarkən inkişaf prosesləri ilə əlaqədar yaranan ətraf mühitin deqradasiyası məsələsini nəzərə almadan bu mövzunu tam şəkildə izah etmək mümkün deyil. Dayanıqlılıq anlayışı yalnız resurslardan istifadəni deyil, həm də onların qənaətli və balanslı şəkildə qorunmasını ehtiva etməlidir [8].
Urbanizasiyanın sürətlə artması və resurslara olan tələbatın yüksəlməsi nəticəsində xüsusilə azməminatlı əhali təbii resursların tükənməsinin mənfi təsirlərini daha çox hiss edir. Bu problemlər əsasən yanacaq, heyvandarlıq üçün yem və içməli su çatışmazlığı kimi formalarda özünü göstərir. Enerji iqtisadiyyatın əsas sahələrində məhsuldarlığın artmasına mühüm təsir göstərdiyi üçün ümumi daxili məhsulun artımına da töhfə verir. Bununla yanaşı, enerji təminatı yeni iş yerlərinin yaradılmasına və gəlirlərin artmasına şərait yaradır. Kənd təsərrüfatının geridə qaldığı və yoxsulluğun yüksək səviyyədə olduğu ölkələrdə uyğun alternativ enerji texnologiyalarının seçilməsi ilə bağlı düzgün siyasətin formalaşdırılması xüsusilə vacibdir. Statistik məlumatlara görə, inkişaf etməkdə olan ölkələrdə adambaşına düşən enerji istehlakı təxminən 400 vahid təşkil edir, halbuki inkişaf etmiş ölkələrdə bu göstərici minimum 8000 vahid səviyyəsindədir. Bu fərqin azaldılması və enerji istehlakının artırılması isə əsasən bərpa olunan enerji texnologiyalarının tətbiqi vasitəsilə mümkün hesab olunur [9].

VI. Nəticə

Nəticə olaraq, yaşıl texnologiyaların və bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası kənd təsərrüfatı sistemlərinin dayanıqlılığının təmin edilməsində mühüm rol oynayır. Günəş, külək, biokütlə və su elektrik stansiyası kimi ekoloji cəhətdən təmiz texnologiyalar təkcə ətraf mühitin deqradasiyasını azaltmır, həm də kənd təsərrüfatı məhsuldarlığının və enerji səmərəliliyinin artmasına kömək edir. Effektiv siyasətlər və texnoloji yeniliklərlə dəstəklənən davamlı təcrübələrin tətbiqi təbii sərvətlərin qorunmasına, kənd yerlərinin inkişafının təşviq edilməsinə və iqlim dəyişikliyinin təsirlərinin azaldılmasına kömək edə bilər. Buna görə də, yaşıl texnologiyaların daha geniş tətbiqi uzunmüddətli ekoloji tarazlıq və davamlı kənd təsərrüfatı inkişafı üçün vacibdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Attanayake, K. (2024). Renewable energy as a solution to climate change. Renewable Energy and Environmental Sustainability Journal.
2. Daraz, U., et al. (2024). Synergies between sustainable farming, green technologies and energy policies for carbon neutrality. Agriculture Journal, 14(7).
3. Erdoğdu, A. (2025). Innovative solutions for combating climate change through sustainable energy technologies. Sustainability Journal.
4. Farah, A. A., et al. (2025). The multifaceted impact of climate change on agricultural productivity. Environmental Research and Climate Studies.
5. Iurchenko, O., et al. (2025). The impact of renewable energy implementation on agricultural sustainability in the context of climate change. Scientific Horizons, 28(8).
6. Zhang, L., et al. (2025). The role of green technologies in enhancing agricultural sustainability. E3S Web of Conferences.
7. Hussain, A., et al. (2025). Environmental awareness, renewable energy and green innovation for climate mitigation. Scientific Reports.
8. Rehman, A., et al. (2025). Food production and environmental sustainability: technological and policy perspectives. Cogent Food & Agriculture.
9. Khalili, S., et al. (2026). Technologies, trends, and trajectories across 100% renewable energy systems. Renewable & Sustainable Energy Reviews.

XAÇMAZ RAYONU ƏKİNALTI TORPAQLARININ AQROKİMYƏVİ XASSƏLƏRİNİN GİS ƏSASLI TƏDQİQİ

Yusif Məmmədli Adil oğlu
Sumqayit Dövlət Üniversiteti
Sumqayit, Azərbaycan
yusiifmammadli@gmail.com

Xülasə: Təqdim olunan məqalədə Xaçmaz rayonunun əkinaltı torpaqlarının aqrokimyəvi xassələri, xüsusilə humus və ümumi azotla təmin olunma dərəcəsi Coğrafi İnformasiya Sistemləri (CİS/GİS) texnologiyaları tətbiq edilməklə tədqiq edilmişdir. Tədqiqat işində torpaq nümunələri 0-30 sm və 30-60 sm dərinliklərdən götürülərək laboratoriya şəraitində analiz edilmişdir. Əldə olunan məlumatlar əsasında tədqiqat ərazisinin rəqəmsal aqrokimyəvi xəritələri tərtib olunmuşdur. Nəticələr göstərir ki, torpaqların üst qatında (0-30 sm) humus və azotun miqdarı alt qatlara (30-60 sm) nisbətən daha yüksəkdir. CİS əsaslı bu yanaşma torpaq münbitliyinin idarə edilməsi, gübrələrin diferensial tətbiqi və kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlığının artırılması üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Açar sözlər*: Xaçmaz rayonu, CİS texnologiyaları, aqrokimyəvi xassələr, humus, ümumi azot.*

I. Giriş

Azərbaycan Respublikasının Quba-Xaçmaz iqtisadi rayonu ölkənin mühüm kənd təsərrüfatı bazalarından biri hesab olunur. Xüsusilə Xaçmaz rayonu meyvəçilik, tərəvəzçilik və dənli bitkilərin becərilməsi

sahəsində böyük potensiala malikdir. Kənd təsərrüfatı istehsalının intensiv inkişafı və torpaqlara artan antropogen təsirlər fonunda torpaq münbitliyinin qorunması və bərpası aktual məsələyə çevrilmişdir [1]. Torpağın münbitliyini müəyyən edən əsas aqrokimyəvi göstəricilərdən biri onun tərkibindəki üzvi maddələrin, xüsusən də humusun və ümumi azotun miqdarıdır. Müasir dövrdə bu göstəricilərin məkan üzrə paylanmasının öyrənilməsində Coğrafi İnformasiya Sistemləri (CİS) texnologiyalarından geniş istifadə olunur [4]. CİS texnologiyaları torpaqların aqrokimyəvi xəritələrinin tərtib edilməsinə, deqradasiya proseslərinin qarşısının alınmasına və aqrotexniki tədbirlərin düzgün planlaşdırılmasına imkan verir.

II.Tədqİqat obyekti və metodikası

Tədqiqat obyekti olaraq Xaçmaz rayonunun əkinaltı torpaqları seçilmişdir. Çöl-tədqiqat işləri zamanı torpaq kəsimləri qoyulmuş və müxtəlif dərinliklərdən (0-30 sm və 30-60 sm) torpaq nümunələri götürülmüşdür. Laboratoriya şəraitində torpaqda humusun miqdarı İ.V. Tyurin üsulu ilə, ümumi azotun miqdarı isə Kjeldahl metodu ilə təyin edilmişdir [2]. Əldə edilmiş aqrokimyəvi analiz nəticələri ArcGIS proqram təminatına daxil edilmiş və məkan interpolyasiyası (Kriging) metodu tətbiq edilərək rəqəmsal xəritələr hazırlanmışdır.

Torpaqda humusun ehtiyatının hesablanması aşağıdakı düstur vasitəsilə həyata keçirilmişdir:

$$E = (H \times d \times h) / 10 \qquad (1)$$

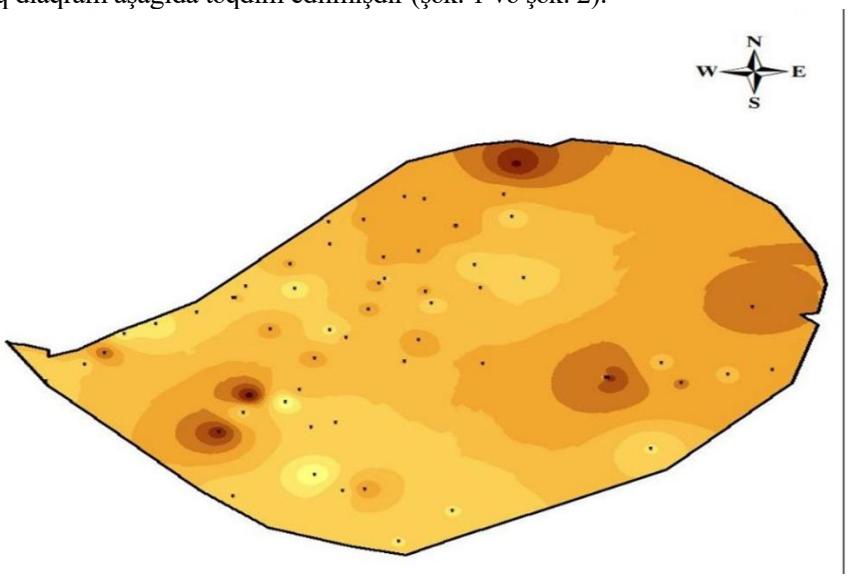
Burada: E – humusun ehtiyatı (t/ha); H – humusun miqdarı (%); d – torpağın həcm kütləsi (q/sm³); h – torpaq qatının qalınlığıdır (sm).

Tədqiqatın nəticələri və onların müzakirəsi. Aparılmış analizlər nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, Xaçmaz rayonunun tədqiq olunan əkinaltı torpaqlarında humus və azotun miqdarı torpaq profili üzrə qeyri-bərabər paylanmışdır. Torpağın üst qatında (0-30 sm) bitki qalıqlarının və mikroorqanizmlərin fəaliyyətinin intensivliyi səbəbindən üzvi maddələrin toplanması daha yüksəkdir.

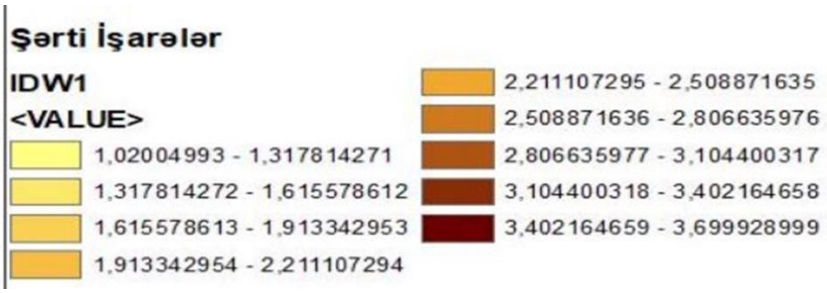
Cədvəl 1

Torpaq qatı (sm)	Humusun miqdarı (%)	Ümumi azotun miqdarı (%)	pH göstəricisi
0 - 30	2.15 - 3.45	0.12 - 0.25	7.2 - 7.6
30 - 60	1.10 - 1.85	0.06 - 0.14	7.4 - 7.8

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, 0-30 sm dərinlikdə humusun miqdarı 2.15-3.45% arasında dəyişir. Bu qatda torpaqların münbitlik potensialı kənd təsərrüfatı bitkilərinin normal inkişafı üçün qənaətbəxş hesab edilə bilər. Tədqiqat ərazisinin 0-30 sm dərinlik üzrə humusla təmin olunma dərəcəsini əks etdirən CİS əsaslı xəritə və müvafiq diaqram aşağıda təqdim edilmişdir (şək. 1 və şək. 2).



Şək. 1. Tədqiqat ərazisinin Humus xəritəsi (0-30 sm).

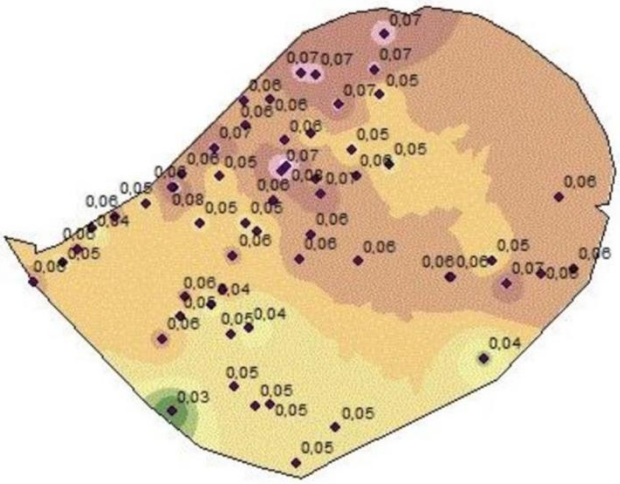


Şək. 2. 0-30 sm torpaq qatında humusun paylanma diaqramı

Torpaq profilinin aşağı qatlarına doğru getdikcə üzvi maddələrin miqdarında kəskin azalma müşahidə olunur. 30-60 sm dərinlikdə humusun miqdarı 1.10-1.85% təşkil edir. Bu azalma bioloji aktivliyin zəifləməsi və kök sisteminin əsas kütləsinin üst qatda cəmlənməsi ilə əlaqədardır [3]. 30-60 sm dərinlik üçün tərtib edilmiş humus xəritəsi və diaqramı şək. 3 və şək. 4-də verilmişdir.



Şək. 3. Tədqiqat ərazisinin Humus xəritəsi (30-60 sm)



Şək. 4. 30-60 sm torpaq qatında humusun paylanma diaqramı

Torpaqda azot ehtiyatının böyük hissəsi humusun tərkibindəki üzvi birləşmələrin payına düşür. Buna görə də azotun məkan üzrə paylanması humusun paylanma qanunauyğunluqlarını təkrarlayır. Tədqiqat ərazisində 30-60 sm dərinlikdə ümumi azotun miqdarını əks etdirən xəritə (şək. 5) göstərir ki, azotla təminat səviyyəsi ərazinin relyef xüsusiyyətlərindən və əvvəlki illərdə tətbiq edilmiş aqrotexniki tədbirlərdən asılı olaraq dəyişir.

III. Nəticə

Xaçmaz rayonunun əkinaltı torpaqlarının CİS texnologiyaları əsasında aparılmış aqrokimyəvi tədqiqi göstərir ki, ərazinin torpaq örtüyü kənd təsərrüfatı üçün yararlı münbitlik potensialına malikdir. Lakin humus və azotun məkan üzrə qeyri-bərabər paylanması, xüsusən də alt qatlarda qida elementlərinin kəskin azalması, ərazidə elmi əsaslandırılmış növbəli əkin sistemlərinin və üzvi gübrələrin tətbiqini zəruri edir. Tərtib edilmiş rəqəmsal xəritələr gələcəkdə "ağıllı kənd təsərrüfatı" (smart agriculture) sistemlərinin qurulması və gübrələrin diferensial verilməsi üçün mühüm baza rolunu oynayacaqdır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

10. Babayev M.P., Həsənov V.H., Cəfərova Ç.M. Azərbaycan torpaqlarının morfogenetik diaqnostikası, nomenklaturası və təsnifatı. Bakı: Elm, 2011, 452 s.
11. Məmmədov Q.Ş. Torpaqşünaslıq və torpaq coğrafiyasının əsasları. Bakı: Elm, 2007, 664 s.
12. Quliyev R.M. Yerquruluşu, torpaq bazarı və torpaq kadastrı. Bakı: "Avropa" nəşriyyatı, 2020, 320 s.
13. Tariel J. "Sustainable use of agricultural land of Khachmaz district based on GIS technologies". Kənd təsərrüfatı elmləri jurnalı, 2023, №4, s. 45-52.

DÖVLƏT PROQRAMLARI VƏ STRATEGİYALARDA EKOLOJİ DAVAMLILIQ PRİNSİPLƏRİ

İlqar Səmədov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xirdalan, Azərbaycan
isemedov2@std.beu.edu.az

Xülasə: Ekoloji davamlılıq prinsipləri müasir dövrdə dövlət proqramları və strategiyalarında əhəmiyyətli yer tutur. Bu prinsiplər, təbii resursların səmərəli istifadə olunması, ətraf mühitin qorunması və gələcək nəsillər üçün yaşanabilir mühitin təmin edilməsi məqsədini daşıyır. Dövlətlərin ekoloji davamlılığı təmin etmək üçün qəbul etdiyi proqramlar və strategiyalar, həmçinin iqtisadiyyatın inkişafı ilə bağlı ətraf mühitin qorunması arasında balans yaratmağa yönəlir.

Azerbaycanda, 2020-ci ildən etibarən "Ekoloji təhlükəsizlik" və "Yaşıl enerji" kimi dövlət proqramları müvafiq ekoloji hədəfləri müəyyən edir. Bu proqramlar, karbon emissiyalarının azaldılması, təbii resursların bərpa edilməsi, ətraf mühitin çirklənməsinin qarşısının alınması kimi məqsədləri ehtiva edir. Eyni zamanda, yerli və qlobal ekoloji məsələlərə uyğun strategiyalar hazırlanır ki, bu da dayanıqlı iqtisadi inkişafı dəstəkləyir.

Strategiyalar çərçivəsində ekoloji davamlılıq, daha çox təbii sərvətlərin qorunması və daha az tullantı ilə səmərəli istehsal metodlarının tətbiqi ilə əlaqələndirilir. Bu prinsiplər həmçinin, biomüxtəlifliyin qorunması, su ehtiyatlarının düzgün idarə edilməsi və təmiz enerji mənbələrinin inkişafı sahələrində əhəmiyyətli yanaşmalar ortaya qoyur.

Nəticə etibarilə, dövlətlər ekoloji davamlılıq prinsipini iqtisadi inkişaf, sosial rifah və ətraf mühitin qorunması arasında tarazlıq yaratmaq məqsədilə tətbiq edirlər. Bu, həm ekoloji məsələlərin həm də iqtisadi inkişafın uzunmüddətli davamlılığını təmin etmək üçün mühüm addımlardır.

Açar sözlər*: Ekoloji, ətraf, mühit, enerji, karbon, biomüxtəliflik, dövr, sosial, inkişaf.*

PRINCIPLES OF ECOLOGICAL SUSTAINABILITY IN STATE PROGRAMS AND STRATEGIES

Abstract**:** The principles of ecological sustainability occupy an important place in state programs and strategies in modern times. These principles aim at the efficient use of natural resources, environmental protection and ensuring a livable environment for future generations. The programs and strategies adopted by states to ensure ecological sustainability are also aimed at creating a balance between environmental protection and economic development.

In Azerbaijan, since 2020, state programs such as "Ecological Safety" and "Green Energy" have been setting appropriate environmental goals. These programs include goals such as reducing carbon emissions, restoring natural resources, and preventing environmental pollution. At the same time, strategies are being developed in accordance with local and global environmental issues, which supports sustainable economic development.

Within the framework of the strategies, ecological sustainability is associated with the protection of more natural resources and the application of efficient production methods with less waste. These principles also

provide important approaches in the areas of biodiversity conservation, proper management of water resources, and the development of clean energy sources.

Consequently, states apply the principle of ecological sustainability in order to create a balance between economic development, social well-being, and environmental protection. This is an important step in ensuring the long-term sustainability of both environmental issues and economic development.

***Key words*:** Ecological, environment, environment, energy, carbon, biodiversity, cycle, social, development.

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОГРАММАХ И СТРАТЕГИЯХ

Резюме: *Принципы экологической устойчивости занимают важное место в государственных программах и стратегиях в современную эпоху. Эти принципы направлены на эффективное использование природных ресурсов, охрану окружающей среды и обеспечение пригодной для жизни среды для будущих поколений. Программы и стратегии, принимаемые государством для обеспечения экологической устойчивости, также направлены на создание баланса между охраной окружающей среды и экономическим развитием.*

В Азербайджане с 2020 года в рамках государственных программ, таких как «Экологическая безопасность» и «Зеленая энергия», устанавливаются соответствующие экологические цели. Эти программы включают такие цели, как сокращение выбросов углерода, восстановление природных ресурсов и предотвращение загрязнения окружающей среды. Одновременно разрабатываются стратегии в соответствии с местными и глобальными экологическими проблемами, что способствует устойчивому экономическому развитию.

В рамках стратегий экологическая устойчивость связана с защитой большего количества природных ресурсов и применением эффективных методов производства с меньшим количеством отходов. Эти принципы также обеспечивают важные подходы в областях сохранения биоразнообразия, надлежащего управления водными ресурсами и развития чистых источников энергии.

Следовательно, государства применяют принцип экологической устойчивости для создания баланса между экономическим развитием, социальным благополучием и охраной окружающей среды. Это важный шаг в обеспечении долгосрочной устойчивости как экологических проблем, так и экономического развития.

***Ключевые слова*:** *Экологический, окружающая среда, энергия, углерод, биоразнообразие, цикл, социальный, развитие.*

I. GİRİŞ

Ekoloji davamlılıq, müasir dövrün ən vacib məsələlərindən biridir və dövlət proqramlarında, strategiyalarında önəmli yer tutur. Bu prinsiplər, təbii resursların səmərəli istifadə olunması, ətraf mühitin qorunması və gələcək nəsillər üçün sağlam ekosistemlərin təmin edilməsi məqsədini güdür. Artan sənayeləşmə, urbanizasiya və qeyri-davamlı istehsal metodları, təbii sərvətlərin sürətlə tükənməsinə və ekosistemlərin pozulmasına səbəb olur. Bu səbəbdən dövlətlər ekoloji davamlılığı təşviq edən müxtəlif proqramlar və strategiyalar hazırlayır.

Ekoloji davamlılıq prinsiplərinin tətbiqi yalnız ətraf mühitin qorunmasına yönəlmir, eyni zamanda sosial və iqtisadi inkişafla əlaqələndirilir. Dövlət proqramları, ətraf mühitin sağlamlığını təmin etməklə yanaşı, bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsini, tullantıların azaldılmasını, su və hava keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasını, eləcə də təbii sərvətlərin daha səmərəli istifadəsini təşviq edir. Bu, iqtisadi inkişafın və sosial rifahın dayanıqlı şəkildə təmin edilməsinə dəstək verir.

Azərbaycanda da ekoloji davamlılıq məsələsi mühüm yer tutur. Dövlət tərəfindən qəbul olunan strategiyalar və proqramlar, karbon emissiyalarının azaldılması, yaşıl enerji layihələrinin təşviqi, təbii sərvətlərin qorunması kimi əhəmiyyətli hədəfləri nəzərdə tutur. Eyni zamanda, bu proqramlar ətraf mühitin mühafizəsi ilə yanaşı, iqtisadiyyatın daha dayanıqlı və rəqabətədavamlı olmasına kömək edir. Dövlət proqramlarında ekoloji davamlılığın təmin edilməsi həm yerli, həm də beynəlxalq səviyyədə Azərbaycanın ekoloji məsuliyyətini artırmaqla yanaşı, qlobal ekoloji problemlərin həllinə töhfə verir.

Beləliklə, ekoloji davamlılıq prinsipləri, gələcək nəsillər üçün təmiz və yaşanabilir mühitin təmin olunması üçün vacib bir yanaşma olaraq, dövlətin strateji planlarında və proqramlarında mühüm yer tutur. Bu prinsipin tətbiqi, yalnız ətraf mühitin qorunması deyil, həm də iqtisadiyyatın və cəmiyyətin gələcək inkişafına təminat yaradır..

II. TƏHLiL

Ekoloji davamlılıq prinsiplərinin dövlət proqramları və strategiyalarında tətbiqi, müasir dövrün tələblərinə cavab verən vacib bir məsələdir. Bu prinsiplər yalnız təbii resursların qorunmasını deyil, həm də sosial və iqtisadi inkişafın birgə təmin olunmasını nəzərdə tutur. Son illərdə dünya miqyasında artan ətraf mühit problemləri, iqlim dəyişikliyi, təbii sərvətlərin tükənməsi və ekosistemlərin pozulması, ekoloji davamlılığın dövlət siyasətlərində prioritet olmasına səbəb olub[1,s.15].

Azərbaycanda da ekoloji davamlılıq prinsipinin tətbiqi, dövlətin iqtisadiyyatını daha dayanıqlı və rəqabətədavamlı etmək üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Dövlət proqramları çərçivəsində həyata keçirilən yaşıl enerji layihələri, karbon emissiyalarının azaldılması, bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafı və ətraf mühitin mühafizəsi sahəsində atılan addımlar, həmçinin ekosistemin sağlamlığını təmin etmək məqsədini güdür. Bu prinsiplər, ölkənin uzunmüddətli iqtisadi inkişafını və ətraf mühitin qorunmasını bir arada təmin etmək üçün səmərəli yollardır.

Ekoloji davamlılığın təmin olunmasında mühüm yer tutan başqa bir məsələ isə təbii sərvətlərin idarə olunmasıdır. Əksər dövlətlər, təbii sərvətlərin səmərəli şəkildə istifadə edilməsini və gələcək nəsillər üçün qorunmasını təmin etmək üçün müxtəlif strateji addımlar atır. Azərbaycanda da bu sahədə çoxsaylı təşəbbüslər və proqramlar həyata keçirilir. Təbii sərvətlərin qorunması ilə yanaşı, bu təşəbbüslər yerli icmaların sosial rifahını da artırmaq məqsədini güdür[3,s.200].

Lakin, ekoloji davamlılığın təmin edilməsi istiqamətində qarşıya çıxan çətinliklər də az deyil. Bəzən dövlət proqramlarının həyata keçirilməsində bürokratik maneələr, iqtisadi resursların məhdudluğu və yerli icmaların proqramlara cəlb edilməməsi kimi problemlərlə qarşılaşılır. Bu çətinliklər, ekoloji davamlılığın tam şəkildə təmin edilməsinə mane ola bilər. Buna baxmayaraq, dünya miqyasında getdikcə artan ekoloji şüurun və beynəlxalq təcrübənin ölkəyə gətirilməsi, bu çətinliklərin aradan qaldırılmasında müsbət rol oynayır[4,s.50].

CƏDVƏL 1: DÖVLƏT PROQRAMLARI VƏ STRATEGIYALARINDA EKOLOJI DAVAMLILIQ PRINSIPLƏRININ TƏTBIQI

Məsələ	Dövlət Proqramları/Strategiyalar	Tətbiq Sahələri	Gözlənilən Nəticələr
Yaşıl Enerji və Bərpa Olunan Mənbələr	"Yaşıl Enerji" proqramı, bərpa olunan enerji layihələri	Günəş enerjisi, külək enerjisi, hidroenerji	Karbon emissiyalarının azaldılması, enerji təhlükəsizliyi
Təbii Sərvətlərin Qorunması	"Təbii Resursların İdarə Edilməsi" strategiyası	Su ehtiyatları, meşəlik sahələr, torpaq istifadəsi	Təbii sərvətlərin qorunması və davamlı istifadəsi
Karbon Emissiyalarının Azaldılması	Karbon azaldılması hədəfləri və milli tədbirlər	Sənaye və nəqliyyat sahələri	İqlim dəyişikliyinin qarşısının alınması
Tullantıların İdarə Edilməsi	"Ətraf Mühitin Qorunması" proqramı	Sənaye tullantıları, plastik tullantılar, təkrar emal	Tullantıların azaldılması, təkrar emalın artırılması
İqlim Dəyişikliklərinə Qarşı Mübarizə	"İqlim Dəyişikliklərinə Qarşı Strateji Plan"	Su ehtiyatları, kənd təsərrüfatı, urbanizasiya	Təbii fəlakətlərin azalması, ekosistemlərin qorunması
Ekosistemlərin Qorunması	"Biomüxtəliflik və Ekosistemlərin Qorunması" proqramı	Təbiət parkları, vəhşi həyat qoruma layihələri	Ekosistemin sağlamlığı, bioçeşidliliyin qorunması

Mənbə:https://www.eco.gov.az

Cədvəl 1, ekoloji davamlılıq prinsiplərinin dövlət proqramlarında və strategiyalarında necə tətbiq edildiyini və bu tədbirlərin müxtəlif sahələrdə hansı nəticələrə gətirib çıxara biləcəyini göstərir. Burada müxtəlif

məsələlər, dövlət tərəfindən hazırlanan proqramlar və strategiyalarla əlaqələndirilmişdir. Hər bir məsələnin tətbiq sahələri və gözlənilən nəticələri qeyd olunub[5,s.120].

Məsələn, "Yaşıl Enerji və Bərpa Olunan Mənbələr" başlığı altında, ölkə daxilindəki enerji ehtiyatlarının qorunması və bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsi ilə bağlı həyata keçirilən layihələr yer alır. Bu sahədəki təşəbbüslər karbon emissiyalarının azaldılması və enerji təhlükəsizliyinin təmin edilməsi kimi nəticələrə gətirib çıxara bilər.

"Təbii Sərvətlərin Qorunması" məsələsi, su ehtiyatları, meşəlik sahələr və torpaq istifadəsi ilə əlaqədar dövlət proqramları ilə bağlıdır. Bu proqramlar təbii sərvətlərin daha səmərəli istifadəsini və gələcək nəsillər üçün qorunmasını təmin etməyə yönəlib.

Karbon emissiyalarının azaldılması, sənaye və nəqliyyat sahələrində həyata keçirilən tədbirlər vasitəsilə iqlim dəyişikliyinin qarşısının alınmasını məqsəd qoyur. Bu, həmçinin təbii fəlakətlərin azaldılmasına və ətraf mühitin qorunmasına xidmət edir[7,s.40].

Tullantıların idarə edilməsi, sənaye və plastik tullantılarının təkrar emalı ilə bağlı dövlət proqramları və bu sahədəki təkmilləşdirmələr, ətraf mühitin daha az çirklənməsinə səbəb ola bilər. Bununla yanaşı, təkrar emalın artırılması da gözlənilən nəticələrdəndir.

Son olaraq, ekosistemlərin qorunması məsələsi, biomüxtəlifliyin və ekosistemlərin sağlamlığının təmin edilməsi üçün əhəmiyyətlidir. Dövlət tərəfindən bu sahəyə yönələn strategiyalar və layihələr ekosistemin möhkəmlənməsinə və bioçeşidliliyin qorunmasına xidmət edir.

Cədvəl 1, ekoloji davamlılıq prinsipinin müxtəlif sahələrdəki təsirini ümumiləşdirir və Azərbaycanın bu sahələrdəki dövlət proqramlarının tətbiqi nəticəsində əldə ediləcək faydalara dair aydın bir görüntü təqdim edir[8,s.60].

III. Nəticə

Ekoloji davamlılıq prinsiplərinin dövlət proqramları və strategiyalarında tətbiqi, Azərbaycanın uzunmüddətli inkişaf hədəfləri ilə uyğunlaşır. Dövlət tərəfindən həyata keçirilən yaşıl enerji layihələri, təbii sərvətlərin qorunması, karbon emissiyalarının azaldılması və tullantıların idarə edilməsi kimi tədbirlər, ölkənin ekoloji məsuliyyətini artırmaq və təbii resursları səmərəli istifadə etmək məqsədini güdür. Bu yanaşmalar həm ekosistemlərin sağlamlığını təmin edir, həm də iqtisadiyyatın dayanıqlı şəkildə inkişafını dəstəkləyir.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafı və karbon emissiyalarının azaldılması ilə əlaqəli dövlət proqramları, Azərbaycanın qlobal ekoloji məsələlərə təsirini və beynəlxalq ekoloji öhdəliklərini yerinə yetirməsini təmin edir. Eyni zamanda, ekosistemlərin qorunması və bioçeşidliliyin artırılması, ətraf mühitin mühafizəsi və sosial rifahın yüksəlməsi kimi gözlənilən nəticələrə nail olunmasına şərait yaradır.

Bununla yanaşı, ekoloji davamlılığın təmin edilməsi prosesində qarşıya çıxan çətinliklər də mövcuddur. Bürokratik maneələr, resurs çatışmazlığı və yerli icmaların proqramlara cəlb olunmaması kimi problemlər, ekoloji məqsədlərin tam şəkildə həyata keçirilməsinə mane ola bilər. Lakin, bu çətinliklərə baxmayaraq, dünya miqyasında ekoloji şüurun artması və beynəlxalq təcrübələrin ölkəyə gətirilməsi, bu məsələlərin həllinə müsbət təsir edir.

Nəticə olaraq, ekoloji davamlılıq prinsiplərinin dövlət proqramlarında və strategiyalarında tətbiqi, ətraf mühitin qorunması ilə yanaşı, iqtisadiyyatın daha dayanıqlı və rəqabətədavamlı olmasını təmin edir. Bu, həm yerli, həm də beynəlxalq səviyyədə Azərbaycanın ekoloji məsuliyyətini artırır və qlobal ekoloji problemlərin həllinə töhfə verir. Gələcəkdə bu prinsiplərin daha geniş tətbiqi, ölkənin davamlı inkişafını və daha yaşıl bir gələcəyin təmin olunmasını mümkün edəcək..

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

14. Baghirov, H. (2021). Theoretical foundations of sustainable development of Azerbaijan. 39(6), 1 15. (PDF sənədində əhatə olunan konseptlər və davamlı inkişaf strategiyası təhlili).

15. Azərbaycan Respublikası Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi. (2025). Ekoloji siyasət və dövlət proqramları. Bakı, Azərbaycan: Ekologiya Nazirliyi. (Rəsmi sayt üzrə siyahı və dövlət proqramları toplusu).

16. UNECE. (2024). Third Environmental Performance Review of Azerbaijan. Geneva, Switzerland: United Nations Economic Commission for Europe. (PDF, ~200 s.) (Azərbaycanın ekoloji siyasət çərçivəsinin beynəlxalq qiymətləndirilməsi).

17. FAOLEX. (2018). Azərbaycan Respublikasında ekoloji cəhətdən dayanıqlı sosial iqtisadi inkişafa dair milli proqram. PDF, ~50 s. (Milli proqram və qanunvericilik bazası).

18. Süleymanov, S. (2025). Ekologiya və ətraf mühitin mühafizəsi problemləri. ~120 s. (Təhsil materialı, dövlət proqramları və ekoloji problemlərin təhlili).
19. Our Common Future (Brundtland Report). (1987). 383 s. Oxford, UK: Oxford University Press. (Davamlı inkişafın ilkin fundamental konsepsiyası).
20. UNECE/UNECE Secretariat. (2015). Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə üzrə milli strategiya layihəsi. PDF, ~40 s. (Enerji siyasəti və davamlı inkişaf).
21. Voluntary National Review of the Republic of Azerbaijan on Sustainable Development. (2018). ~60 s. BMT platforması. (Azərbaycanın davamlı inkişaf hədəfləri və dövlət proqramları üzrə hesabat). Abdullayeva, Ş. A. (2021). The Sustainable Development Goals in Azerbaijan. ~30 s. (SDG lər və milli proqramlar arasındakı əlaqə).
22. IMF. (2018). Environmental Policies and Sustainable Development. International Monetary Fund. ~25 s. (Ekoloji siyasət və davamlı inkişaf konseptlərinin beynəlxalq təhlili).
23. Azərbaycan Respublikasında ekoloji siyasətin əsas istiqamətləri. (2021). Prezident Kitabxanası, ~30 s. (Milli ekoloji siyasətin hüquqi strateji əsasları).
24. Yaşıl iqtisadiyyat və dövlət siyasəti. (2022). Azərbaycan dövlət nəşri, ~80 s. (Yaşıl iqtisadiyyat çərçivəsində dövlət strategiyaları və proqramlar).

QUBA RAYONUNUDA YAYILMIŞ AMARYLLİDACEAE FƏSİLƏSİNİN NADİR VƏ NƏSLİ KƏSİLMƏKDƏ OLAN NÖVLƏRİNİN BİOLOJİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Elnara Salahova
Botanika İnstitutu
Baki, Azərbaycan
Salahova.elnara@bk.ru

Xülasə: Son zamanlar iqlim dəyişkənliyi bütün dünyanı narahat edən əsas problemlərdən biridir. Ekoloji mühitin dəyişməsi, temperatur fərqi bir çox bitkilərin miqdarının azalmağına, bəzi növlərin nəsli kəsilməsi ilə nəticələnir. Bu növlər mütəxəssislər tərəfindən müəyyənləşdirilir və onların qorunması məqsədi ilə Botanika İnstitutunun "Landşaft memarlığı və iqlimləşdirmə" laboratoriyası müxtəlif növ bitkilərin introduksiyasın və reintroduksiyasın həyata keçirir.
Azərbaycan Respublikasının müxtəlif regionlarında olan nadir və nəsli kəsilməkdə olan bitkilərin siyahısı 2023-cü ildə çap olunmuş Azərbaycan Respublikasının Qırmızı kitabında (III nəşr) təqdim olunmuşdur. III nəşrdə olan flora nümayəndələri arasında nadir və nəsli kəsilməkdə olan növlərdən 285-i ot bitkisidir. Bunlardan Quba rayonunda 60 növ ot bitkisi nadir və nəsli kəsilməkdədir. Bunlardan 2 növ Amaryllidaceae fəsiləsinin nümayəndələridir: Allium grande Lipsky, Allium oreophilum C.A.Mey.
Açar sözlər*: ətraf mühit, nəsli kəsilmə, introduksiya, ot bitkiləri*

BIOLOGICAL FEATURES OF RARE AND ENDANGERED SPECIES OF THE FAMILY AMARYLLIDACEAE DISTRIBUTED IN THE GUBA REGION

Abstract: Recently, climate change has been one of the main problems that concerns the whole world. Changes in the ecological environment, temperature differences lead to a decrease in the number of many plants, and the extinction of some species. These species are identified by specialists, and in order to protect them, the "Landscape Architecture and Acclimatization" laboratory of the Institute of Botany carries out the introduction and reintroduction of various species of plants.
The list of rare and endangered plants in different regions of the Republic of Azerbaijan is presented in the Red Book of the Republic of Azerbaijan (III edition), published in 2023. Among the rare and endangered species of flora in the III edition, 285 are herbaceous plants. Of these, 60 species of herbaceous plants are rare and endangered in the Guba region. Of these, 2 species are representatives of the Amaryllidaceae family: Allium grande Lipsky, Allium oreophilum C.A.Mey.
Keywords*: environment, extinction, introduction, herbaceous plants.*

GİRİŞ

Azərbaycan flora növlərinin ümumi sayına görə Cənubi Qafqazın ən zəngin ölkəsidir. Bitkilərin qorunması üzrə Botanika Bağlarının Beynəlxalq şurasının (BGCİ) hesablamasına görə dünyada 60.000 ali bitki növü, yəni dünya florasının ¼ hissəsi bu yüzilliyin ortalarına qədər məhv ola və yaxud genetik eroziya təhlükəsinə məruz qala bilər.

Nadir bitki növlərinin qorunması və onların gələcəkdə mövcud olma yollarının qiymətləndirilməsi üçün həmin növlərin populyasiyalarının vəziyyətini, sayını, sıxlığını, yaş strukturunu tədqiq etmək vacibdir. Çünki məhz bu parametrlər populyasiyadakı fərdlərin sağ qalma və özünübərpa strategiyasını əks etdirir [Zauqolnova et al., 1993]. Bunu nəzərə alaraq Azərbaycanın Qırmızı Kitabına [2023] daxil edilən Quba rayonunda yayılmış Amaryllidaceae fəsiləsinin 2 növünün (Allium grande Lipsky, Allium oreophilum C.A.Mey.) populyasiyalarının tədqiqini və bioloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsin qarşımıza məqsəd qoymuşuq.

TƏDQİQAT METODU

Nadir növlərin populyasiyalarını aşkar etmək və qorumaq məqsədilə aparılmış hazırkı tədqiqat işi 2024-2026-ci illərdə Quba rayonun da aşkar olunan bir sıra nadir növlərin populyasiyalarından və onlara təsir edən antropogen təsirlərdən bəhs edir. Bitkiliyin və fitosenozun təsviri ümumqəbul olunmuş geobotaniki metodlarla aparılmışdır [Field geobotany, 1974]. Senopopulyasiyalarının ontogenetik və demoqrafik strukturunun öyrənilməsi zamanı A.A. Уранов və onun məktəbinin davamçılarının prinsip və metodlarından istifadə edilmişdir [Uranov, 1975; Zlobin et al., 2013]. Senozda iştirak edən növlərin taksonomik statusunu müəyyənləşdirmək üçün The Euro + Med Plantbase [2006] bazasından istifadə edilmişdir.

Allium grande Lipsky-Böyük soğan çoxillik ot bitkisidir. Soğanağı yumurtavari, 2,5 sm enindədir. Gövdəsi 90 sm-ə qədər və ya hündür, yoğundur. Yarpaqları 2-4 sayda, qayışvari, 5 sm enin də, kənarları hamar, gövdədən çox qısadır. Çiçək qru pu yarımkürəvari, çoxçiçəklidir. Çiçək saplağı 3-4 dəfə çiçəkyanlığından uzundur. Çiçəkyanlığının yarpaqcıqları çiçəkləmə dövründən əvvəl və sonra birləşən, çəhrayı rəngli, küt, 6-7 mm uzunluqda, uc hissədə oyuqlu dişciklidir; yumurtacıq qısa ayaqcıqda, hamardır.



Şək.1. Allium grande Lipsky-Böyük soğan.

Çiçəkləmə dövrü may ayındadır. Dağətəyi meşələrdə və kolluqlarda yayılmışdır. Quba rayonu Qrızdəhnə kəndi ətrafında yayılmışdır.

Antropogen (yayıldığı meşə ərazilərinin məhv edilməsi, otarılma, toplanılma və tapdalanma) təsirlər nəticəsində bu növün sayı kəskin azalmışdır.

Allium oreophilum C.A.Mey.-Dağlıq soğanı çoxillik ot bitkisidir. Soğanağı kürəvari-yumur tavari, 1-1,5 sm qalınlıqda, boz qınlıdır. Gövdə 5-20 sm hündürlükdədir. Yarpaqları 2 ədəd, uzun, lansetvari, 2-4 (7) mm enində, gövdədən uzundur. Çətir yarımkürəvari, azçiçəkli, 2-3 (5) sm diametrdədir, çiçək saplağı demək olar ki, eyni və ya çiçəkdən uzundur. Çiçəkyanlığı 6-10 mm uzunluqda enli zəngvari, çəhrayı- alqırmızı və tutqundur. Erkəkcik sapı çiçəkyanlığından 2-3 (4) dəfə qısadır, xaricdə olanlar lansetşəkilli, daxildə olanlar enli üçbucaqlıdır. Qutucuq 2-2,5 dəfə çiçəkyanlığın dan qısadır.



Şək.1. Allium grande Lipsky-Böyük soğan.

Çiçəkləmə dövrü iyun avqust, meyvəvermə dövrü avqust-sentyabr aylarındadır. Kriptofit (geofit) və işıqsevən bitkidir. Yuxarı dağ qurşağında qayalıq yerlərdə və daşlı töküntülərdə yayılmışdır.

Böyük Qafqazda Quba (Quba rayonu Xınalıq kəndi və Qusar rayonu Ləzə kəndi), Böyük Qafqazın şərqində (Şamaxı rayonu), Böyük Qafqazın qərbində (Qəbələ rayonu) rast gəlinir.

Antropogen (intensiv otarılma və tapdalanma) və təbii (külək, su eroziyası, ətraf mühitin dəyişən təbii amillərinə həssaslıq, yaşayış mühitindən kəskin asılılıq) amillər nəticəsində nadir və nəsli kəsilməkdə olan növ hesab olunur.

Nəticə

Azərbaycanın Qırmızı Kitabına [2023] daxil edilən Quba rayonunda yayılmış Amaryllidaceae fəsiləsinin 2 növünün (Allium grande Lipsky, Allium oreophilum C.A.Mey.) populyasiyalarının tədqiqini və bioloji xüsusiyyətlərinin öyrənilmişdir. Bu növlər Quba rayonunun Qrızdəhnə kəndi ətrafında (Allium grande Lipsky-Böyük soğan) və Böyük Qafqazda Quba (Quba rayonu Xınalıq kəndi və Qusar rayonu Ləzə kəndi), Böyük Qafqazın şərqində (Şamaxı rayonu), Böyük Qafqazın qərbində (Qəbələ rayonu) rast gəlinir. Nadir və nəsli kəsilməkdə olan növ hesab olunmasının səbəbi antropogen və təbii amillərdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Azərbaycanın Qırmızı Kitabı III nəşr Bakı 2023, s. 80, 82.
2. Elnara Salahova “Qəbələ rayonun nadir və nəsli kəsilməkdə olan ot bitkiləri” III Beynəlxalq Apiterapiya və Təbiət Konqresi (IANCO25) Qaradəniz Texnik Universiteti, Naxçıvan Dövlət Universiteti, ETN Botanika İnstitutunun və Gümüşhane Universitetinin birgə təşkilatçılığı ilə konfransı
3. Euro+Med (2006) Euro+Med Plant Base - the information resource for Euro-Mediterra nean plant diversity. Published on the Inter net http: ww2.bgbm.org/EuroPlusMed/ [ac cessed DATE].
4. Field geobotany (1974) Ed. Lavrenko. M., “Sci ence”, vol. I–III. [Полевая геоботаника под ред. Лавренко. М., «Наука», тт. I–III].
5. Zaugolnova L.B., Denisova L.V., Nikitina S.V. (1993) Approaches to assessing the state of plant cenopopulations. Bul. MOIP. Dept. Biol. Vol. 98. Issue 5.P. 100–108. [Заугольl нова Л.Б., Денисова Л.В., Никитина С.В. (1993) Подходы к оценке состояния цено популяций растений. Бюл. МОИП. Отд. Биол. Т. 98. Вып. 5. С. 100–108].
6. Uranov A.A. (1975) Age spectrum of phytopop ulation as a function of time of energy wave processes. Biological. Science, 2:7–34. [Уранов А.А. (1975) Возрастной спектр фитопопуляции как функция времени энергетических волновых процессов. Биол. Науки, № 2, С. 7–34.].
7. Zlobin Yu.A., Sklyar V.G., Klimenko A.A. (2013) Populations of rare plant species: theoretical foundations and study methods: monograph. Sumy: University Book, 439 p. [Злобин Ю.А., Скляр В.Г., Клименко А.А. (2013) Популяции редких видов рас тений: теоретические основы и методика изучения: монография. Сумы: Универси тетская книга, 439 с.].

DAŞKƏSƏN RAYONUNDA MƏDƏN ƏRAZISI TORPAQLARININ KEYFIYYƏT VƏ ÇIRKLƏNMƏ SƏVIYYƏSININ TƏDQIQI (ÇOVDAR YATAĞININ TIMSALINDA)

Məhəmməd Əfəndizadə Əhməd oğlu
Sumqayıt Dövlət Universiteti,
Sumqayıt, Azərbaycan
efendizademaqa@gmail.com

Xülasə: Bu tədqiqat müasir dövrün ən aktual ekoloji problemlərindən olan ətraf mühitin çirklənməsinin qarşısının alınması və təbii sərvətlərdən gələcək nəsillər üçün davamlı istifadənin təmin edilməsi çərçivəsində aparılmışdır. Tədqiqatın əsas hədəfi dağ-mədən sənayesinin təsirinə məruz qalan ərazilərdə torpaq örtüyünün mövcud vəziyyətini analiz etməkdir. Aparılan analiz nəticəsində məlum olmuşdur ki, tədqiqat sahəsindəki ağır metalların miqdarı ərazinin təbii fon səviyyəsinə uyğundur. Sianid və digər ağır metalların konsentrasiyası standartlar daxilindədir.

Açar sözlər:

I. GİRİŞ

Müasir dövrdə sənayeləşmənin sürətli inkişafı ətraf mühitə göstərilən antropogen təsirlərin əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olmuşdur. Xüsusilə dağ-mədən sənayesi təbii resursların intensiv istismarı ilə yanaşı, torpaq, su və atmosfer komponentlərinin çirklənməsi baxımından yüksək risk yaradan sahələrdən biri hesab olunur. Bu sənaye sahəsində aparılan hasilat, filiz emalı, tullantıların saxlanılması və daşınması prosesləri nəticəsində ətraf mühitə müxtəlif toksik maddələr, o cümlədən ağır metallar və sianid birləşmələri daxil ola bilər. Bu isə ekosistemlərin dayanıqlığına, torpaq münbitliyinə və insan sağlamlığına ciddi təhlükələr yaradır[1-4].

Torpaq örtüyü ekosistemin əsas komponentlərindən biri olmaqla, həm maddələrin dövranında, həm də bioloji məhsuldarlığın təmin olunmasında mühüm rol oynayır. Lakin torpaqların çirklənməsi, xüsusilə ağır metallarla yüklənməsi onların fiziki-kimyəvi və bioloji xüsusiyyətlərinin pozulmasına gətirib çıxarır. Ağır metalların torpaqda yığılması uzunmüddətli və geri dönməsi çətin olan prosesdir, çünki bu elementlər bioloji parçalanmaya məruz qalmır və trofik zəncir vasitəsilə canlı orqanizmlərə keçərək bioakkumulyasiya və biomagnifikasiya effektləri yaradır.

Son illərdə dağ-mədən fəaliyyətlərinin intensivləşdiyi ərazilərdə torpaq keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi və çirklənmə səviyyəsinin monitorinqi xüsusi aktuallıq kəsb edir. Bu baxımdan, konkret layihə sahələrində aparılan kompleks ekoloji tədqiqatlar həm mövcud vəziyyətin müəyyənləşdirilməsi, həm də potensial risklərin qiymətləndirilməsi üçün mühüm elmi və praktiki əhəmiyyət daşıyır. Eyni zamanda, belə tədqiqatlar davamlı inkişaf prinsiplərinə uyğun olaraq təbii ehtiyatlardan səmərəli istifadə və ətraf mühitin mühafizəsi üzrə idarəetmə qərarlarının qəbuluna elmi əsas yaradır.

Bu tədqiqatın məqsədi dağ-mədən sənayesinin təsirinə məruz qalan ərazilərdə torpaq örtüyünün mövcud vəziyyətini qiymətləndirmək, ağır metalların və digər potensial çirkləndiricilərin konsentrasiya səviyyələrini müəyyən etmək və əldə olunan nəticələri normativ göstəricilərlə müqayisə etməklə ekoloji riskləri təhlil etməkdir. Bunun üçün müxtəlif təsir zonalarını əhatə edən sahələrdən torpaq və dib çöküntüsü nümunələri götürülmüş, laborator analizlər aparılmış və nəticələr əvvəlki tədqiqatlarla müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmişdir.

Tədqiqatlar layihə ərazisi, mövcud fəaliyyət sahələrini və gələcək fəaliyyət yerləri, təsirlərin ehtimal olunduğu yerlər nəzərə alınaraq aparılmışdır. Tədqiqat sahələri aşağıdakı əraziləri əhatə etmişdir:

- Mədən sahəsində-topa aşındırma və boş süxur tullantıları sahələrində;
- Mədən sahəsi ilə Çovdar kəndi arasında olan torpaqlarda;
- Şodox yaşayış sahəsi ətrafındakı əkilən torpaqlarda;
- Gələcəkdə inşaı nəzərdə tutulan tillantı süxurlar poliqonu (TSF) sahəsi və ətrafında yerləşən əkilən torpaqlarda;
- Xeyrəçay dərəsi boyu torpaqlarda.

Torpaq nümunələrinin laboratoriya analizi nəticələri aşağıdakı cədvəldə təqdim edilir(Cədvəl 1).

Layihə ərazisindəki torpaq nümunələrinin analizləri göstərir ki, torpağın xüsusiyyəti yüksəkliyə görə dəyişir. Kəşfiyyat işləri (SRM, 2007) məqsədilə ətraf mühitin qiymətləndirilməsi hesabatı üçün həyata keçirilən analizlər göstərmişdir ki, torpaqdakı çürüntünün miqdarı kafi səviyyədən (2.8%) yaxşı səviyyəyə

(8.2%) qədər dəyişir. Bütün torpaq nümunələrindəki fosfatın miqdarı 49.9 mq/kq-dan (aşağı keyfiyyətli torpaq) 3073 mq/kq-a (yüksək keyfiyyətli torpaq) qədər dəyişir.

Kəşfiyyat dövründə aparılmış tədqiqatlarla indiki aparılmış tədqiqatlar ümumən torpaqların keyfiyyətində hər hansı bir ciddi dəyişikliklərin olmasını aşkar etməmişdir. Lakin müəyyən dəyişmələr mövcuddur. Digər alınmış nəticələr aşağıda Cədvəl 2-dəki kimidir. Cədvəldən göründüyü kimi yalnız Xeyrəçay dərəsi torpaqlarda, çayın yataq mövqeyindən aşağı hissəsində, Çaykənddən yuxarıda As və Cd konsentrasiyası normadan çox olmuşdur. Çaykəndə qədər olan hissədə ağır metallarladan As konsentrasiyası 13,9-14,0 mg/kg arasındadır (AB standartlarına gorə norma 10 mg/kq, milli standartlara görə 20 mg/kg-dır). Cd 1,22-1,33 mg/kg arasındadır (AB standartlarına görə norma 1,0 mg/kq-dır, milli standartlara görə 0,5 mg/kg-dır. Qalan ağır metallar yol verilən standartlar çərçivəsindədir.

Çirklənmənin mənbəyini müəyyən etmək üçün həmin Xeyrəçaydan, ÇFES-dən yuxarıda və aşağıda götürülmüş dib çöküntüsü nümunəsi analizi nəticələri ilə müqayisə edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, Xeyrəçayda filiz emalı sahəsinin təsiri olmayan hissəsində As konsentrasiyası 3,34 mg/kg, Cd 0,42 mg/kg-dır. Xeyrəçayın aşağı axımında isə dib çöküntülərində As konsentrasiyası 13,8 mg/kg, Cd 1,32 mg/kg-dır.

Belə bir vəziyyət Danayerçayı dərəsində də müşahidə edilmişdir. Çovdar filiz emalı sahəsinin təsiri olmayan hissəsində Danayerçayın yuxarı hissəsində götürülmüş dib çoküntüsündə As konsentrasiyası 3,07 mg/kg, Cd 0,39 mg/kg-dır. Danayerçayın aşağı axımında isə dib çöküntülərində As konsentrasiyası 15,8 mg/kg, Cd 1,02 mg/kg-dır.

Bu müqayisələr bizə əsas verir ki, filiz çıxarma (open pit) və süxur tullantı sahəsində (rock waste area) formalaşan yamac axımı çay dərəsi torpaqlara və çayın dib çöküntülərinə qismən də olsa təsir göstərə bilər.

Lakin biz əvvəlki illərdə aparılmış torpaq tədqiqatlarının nəticələrini də müqayisə etdirk. Həmin dövrdə (2007-ci ildə), hələ ərazidə kəşfiyyat aparılan dövrdə də layihə sahəsini müxtəlif yerlərində As-in konsentrasiyası normadan çox, 13-45 mq/kg arasında olmuşdur. Buradan belə qənatə gəlmək olar ki, ağır metalların konsentrasiyası ərazinin təbii fon səviyyəsi çərçivəsindədir.

Beləliklə, bütün məlumatları müqayisə etdikdən sonra belə nəticəyə gəlmək olar ki, kəşfiyyat dövründə aparılmış tədqiqatlarla indiki aparılmış tədqiqatlar ümumən torpaqların keyfiyyətində hər hansı bir ciddi dəyişikliklərin olmasını aşkar edilməmişdir. Nəticələr göstərir ki, torpaqlarda qələvilik aşağıdır, ərazidə torpaqlar kimyəvi çirklənməyə məruz qalmayıblar. Hətta mədən ərazisində aşındırma sahəsi ətrafındakı torpaqlarda ağır metalların və sianidlərin konsentrasiyası milli və beynəlxalq standartları əsasən keçmir.

CƏDVƏL 1. TORPAQ ANALIZLƏRININ NƏTICƏLƏRI

Aİ torpaq keyfiyyəti standartları	**Parameter**	**SS 1 18204-1-7**	**SS 2 18204-1-8**	**SS 3 18204-1-9**	**SS 4 18204-1-10**	**SS 5 18204-1-11**	**SS 6 18204-1-12**	**SS 7 18204-1-13**	**SS 8 18204-1-14**	**SS 9 18204-1-15**	**SS 10 18204-1-16**
6.5-8.5	pH	6,3	7,7	7,6	7,8	7,6	5,8	7,1	7,7	7,9	7,8
not defined	Xloridlər AE, %	0,01	0,01	0,02	<0.01	<0.01	<0.01	0,02	0,02	0,02	0,01
10 mg/kg	Arsen, mg/kg	5,34	5	6,8	6,01	6,85	14,8	13,9	18	9,04	9,27
Müəyyən edilməmişdir	Kalsium, mg/kg	7195	28430	73070	35050	12620	343	9810	28170	32160	21000
1 mg/kg	Kadmium, mg/kg	0,66	0,61	0,66	0,53	0,8	1,57	0,92	1,07	0,71	0,89
78 mg/kg	Xrom, mg/kg	52	49	28,3	28,5	14,4	3,42	43,4	28,4	46	50,7
100 mg/kg	Mis, mg/kg	43	42	30	47	45	59	77	66	47	59
1 mg/kg	Civə#, mg/kg	0,33	0,23	0,17	0,14	0,1	0,28	0,38	0,18	0,13	0,14
Müəyyən edilməmişdir	Maqnezium, mg/kg	5170	5810	4620	6220	5410	81	6340	5960	6320	6070
50 mg/kg	Nikel, mg/kg	42,3	43,8	25,3	29,2	9,68	0,52	35,2	23,9	41	43,6
100 mg/kg	Qurğuşun, mg/kg	12,3	11,7	7,74	8,18	8,56	99	12	10,5	14,5	17,8
300 mg/kg	Sink, mg/kg	79	74	52	66	81	<0.40	88	99	81	177
1000 mg/kg	Neft və yağ #, mg/kg	507	<100	188	396	439	213	148	189	327	<100
20 mg/kg	Azad CN, mg/kg	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
60 mg/kg	Ümumi CN, mg/kg	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0,1	<0.04
20 mg/kg	Tiosianat, mg/kg	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12	<12

CƏDVƏL 2. TORPAQ NÖVLƏRI KEYFIYYƏTININ QIYMƏTLƏNDIRILMƏSI

Tədqiqat sahəsi	**Torpaq nümunəsinin nömrəsi**	**Torpaq növləri**	**Torpağın keyfiyyəti və Çirklənmə səviyyəsi**
Mədən sahəsində-topa aşındırma sahəsi ətrafında	SS1,2,3,4,5	1)Qəhvəyi dağ - meşə (pH 6,3)	Keyfiyyət çox yüksəkdir, ağır metallarla, üzvü birləşmələrlə və sianidlərlə çirklənmə yoxdur
		2) Bozqırlaşmış dağ-meşə (pH 7,4-7,8)	Keyfiyyət yüksəkdir, ağır metallarla, üzvü birləşmələrlə və sianidlərlə çirklənmə yoxdur
Mədən sahəsi ilə Çovdar kəndi arasında olan torpaqlar	SS7,8,9,10	Boz qəhvəyi torpaqlar (pH 7,1-7,9)	Keyfiyyət yaxşıdır, ağır metallarla, üzvü birləşmələrlə və sianidlərlə çirklənmə Yoxdur
Şodox yaşayış sahəsi ətrafındakı əkilən torpaqlarda	SS15,16,17,18	Şabalıdı və ya allüvial çəmən torpaqlar (pH 7,8-7,9)	Keyfiyyət yüksəkdir, ağır metallarla, üzvü birləşmələrlə və sianidlərlə çirklənmə yoxdur
Gələcəkdə inşaı nəzərdə tutulan tillantı süxurlar poliqonu (TSF) sahəsi və ətrafında yerləşən əkilən torpaqlarda;	SS19,20,21,22, 23,24,25	1)Qəhvəyi dağ - meşə (pH 6,1-6,9)	Keyfiyyət çox yüksəkdir, ağır metallarla, üzvü birləşmələrlə və sianidlərlə çirklənmə yoxdur
		2) Bozqırlaşmış dağ-meşə (pH 7,1-7,8)	Keyfiyyət yüksəkdir, ağır metallarla, üzvü birləşmələrlə və sianidlərlə çirklənmə yoxdur
Xeyrəçay dərəsi boyu torpaqlarda	SS11,12,13,14	Şabalıdı və ya allüvial çəmən torpaqlar (pH 7,5-7,9)	Keyfiyyət yüksəkdir, üzvü birləşmələrlə və sianidlərlə çirklənmə yoxdur. Çaykəndə qədər olan hissədə ağır metallarladan As 13,9-14,0 mg/kg arasındadır, norma 10 mg/kq-dır: Cd 1,22-1,33 mg/kg arasındadır, norma 1,0 mg/kq-dır. Qalan ağır metallar yol veilən standartlar çərçivəsindədir.

Qəhvəyi dağ – meşə -Bu torpaqlar respublikamızın Böyük və Kiçik Qafqaz vilayətlərinin alçaq dağlıq və dağətəyi qurşaqlarında, qədim çay terraslarında, delüvial şleyflərində,həmçinin Lənkəran vilayətinin şimal hissəsində və Naxçıvan MR-də geniş yayılmışdır. Bu torpaqların yayıldığıqurşaq yüksəklik zonallığı sistemində yuxarıda tipik və yuyulmuş qəhvəyi dağ-meşə torpaqlarla, aşağıda isəquru subtropik bozqırların boz-qəhvəyi torpaqları ilə həmsərhəddir. Karbonatlı qəhvəyi dağ-meşə torpaqlarıqurşağının xüsusilə aşağı hissəsinin quru subtropik bozqırlara yaxınlığı torpaqəmələgəlmə prosesinə, onun aridşəraitdə inkişaf etməsinə ciddi təsir göstərir [2].

Boz qəhvəyi torpaqlar–Azərbaycanda boz-qəhvəyi (şabalıdı) torpaqların yayıldığı quru subtropik bozqırlar zonası alçaq dağlığın bir hissəsi və dağətəyi qurşaqda 200-300 m-dək hündürlüklərdə yerləşir. Böyük və Kiçik Qafqaz dağlıq vilayətlərində quru bozqırlar zonası kifayət qədər geniş ərazilərdə təmsil olunmuşdur. Naxçıvan MR-də boz-qəhvəyi torpaqlar dağətəyi düzənlikdə geniş yayılaraq Muxtar Respublikanın 27,2%-ni əhatə edir. Azərbaycanın subtropik quru bozqırlar zonasının iqlimi nisbətən yumşaq qışı və isti yayı ilə səciyyələnir.Ən soyuq ay olan yanvarın orta temperaturu 1,0-2,60, ən isti (iyun) ayınkı 23-270, orta illik temperatur isə 10,514,20-dir. İllik yağıntıların orta miqdarı 275-440 mm, fəal temperaturların cəmi 3344-44720, ümumi radiasiya 122,5-128,4 kkal/sm2, rütubətlənmə əmsalı isə 0,30-0,50-dir. Boz-qəhvəyi (şabalıdı) torpaqların yayıldığı zonada əhəngdaşları, tuflu brekçiyalar, qumlucalar və onların yumşaq

aşınma məhsulları əsas torpaqəmələgətirici süxurlar rolunu oynayır[3]. Gəncə-Qazax massivində vəArazboyu zonada "gəcli süxurlar" da torpaqəmələgətirici süxurlar kimi əhəmiyyətli rol oynayır. Şabalıdı və ya allüvial çəmən torpaqlar – Allüvial çəmən torpaqlar qrunt sularının nisbətən dayazda (1-2 m) yerləşdiyi sahələrdə, mərkəzi subasarın gillicəli və gilli allüviyləri üzərində formalaşır. Qida elementlərinin, əsaslar və üzvi maddələrin zənginliyi, həmçinin nəmlənmənin qrunt suları hesabına yaranmış əlverişli şəraiti çəmən bitkilərinin və çimləşməprosesinin inkişafına səbəb olmuşdur. Ona görə də allüvial çəmən torpaqlar yaxşı seçilən humus horizontuna, dənəvər və ya topavari-dənəvər struktura malikdir. Ədəbiyyatlarda bu torpaqları bəzən subasarların dənəvər torpaqları da adlandırırlar. Allüvial-çəmən torpaqların profilinin quruluşu aşağıdakı kimidir: Aç – çim qatı (xam torpaqlarda), ot bitkiləriinin kökləri topa halında cəmləşmişdir; A1 – tünd-boz və ya boz rəngli, üzərində qonur çalarlı humus horizontu, dənəvər strukturlu; B1 – keçid humus horizontu, bəzən üzərində qleyləşmə əlamətləri (B1g); B2g- keçid horizontu, qleyləşmə əlamətləri daha aydın seçilir və tədricən gillicəli və gilli qranulometrik tərkibli allüvial çöküntülərə keçir (Cg). Bu torpaqlarda adətən qrunt sularının kapilyar haşiyəsi torpaq horizontlarına çatır ki, bu da torpaq profilinin aşağı hissəsində qleyləşmə proseslərinə, həmçinin dəmir birləşmələrinin, karbonatların, cənub çayların subasarlarında asan həll olan duzların akkumulyasiyasına səbəb olur.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Babayev M.P., Qurbanov E.A., Həsənov V.H. Azərbaycanda torpaq deqradasiyası və mühafizəsi. Bakı: Elm, 2010, s. 174-183.
2. Babayev A.H. Torpaq keyfiyyətinin monitorinqi və ekoloji nəzarət. Bakı: Elm, 2012, s. 255.
3. Məmmədov Q.Ş., Xəlilov M.Y. Ekologiya və ətraf mühit. Bakı: Elm, 2004, s. 504.
4. Şəkuri B.Q. Azərbaycan torpaqlarının geokimyəvi xüsusiyyətləri. Bakı, "NBM" 2011, s. 319.

KİMYA VƏ KİMYA MÜHƏNDİSLİYİ

SYNTHESIS METAL COMPLEXES USING HETEROCYCLIC COMPOUND THAT CONTAIN VARIOUS ATOMS LIKE NITROGEN AND SULPHUR

Nazar M. Nazarov
"Institute of Chemistry "
Ministry of Science and Education
Republic of Azerbaijan Laboratory -Bioorganic Chemistry,AZ1143, Azerbaijan Republic Baku c., H. Cavid str., 113 phone: (+99412)5399382 n.m.nezerov0110@gmail.com
Phone : +994504141581

Ibadulla H. Mahmudov
-"Institute of Chemistry "
Ministry of Science and Education
Republic of Azerbaijan
Laboratory -Bioorganic Chemistry,
AZ1143, Azerbaijan Republic Baku c.,
H. Cavid str., 113
Tel: (+99412)5399382
-Baku Engineering University
ibadullamahmudov@gmail.com

Sabir S. Babayev
-"Institute of Chemistry "
Ministry of Science and Education
Republic of Azerbaijan
Laboratory -Bioorganic Chemistry,
AZ1143, Azerbaijan Republic Baku c., H. Cavid str., 113
Tel: (+99412)5399382

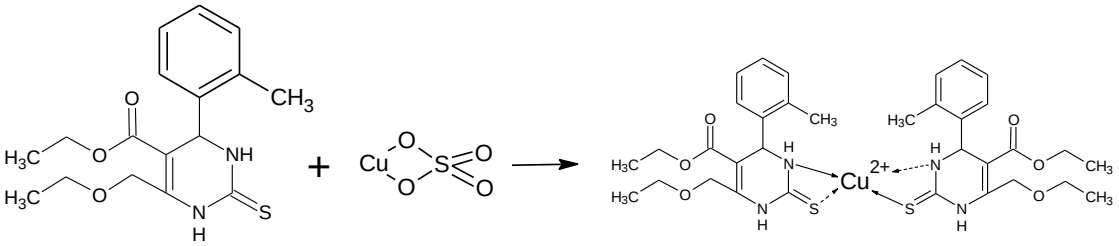
Irada Rzayeva Camila C. Ahmadova
"Institute of Chemistry " "Institute of Chemistry "
Ministry of Science and Education Ministry of Science and Education
Republic of Azerbaijan Laboratory Republic of Azerbaijan Laboratory
-Bioorganic Chemistry,AZ1143, Bioorganic Chemistry,AZ1143,
Azerbaijan Republic Baku c., H. Azerbaijan Republic Baku c., H.
Cavid str., 113 phone: (+99412)5399382 Cavid str., 113 phone: (+99412)5399382

Abstract: Heterocyclic compound contain nitrogen and sulphur like Pyrimidine thiones are vital heterocyclic compounds in medicinal chemistry and pharmacology, acting as key scaffolds for creating potent drugs with broad antimicrobial, anticancer, and anti-inflammatory properties. Their significance stems from their ability to interact with nucleic acids, similar to essential biological bases, and serve as versatile intermediates for developing antiviral (e.g., HIV), antihypertensive, and central nervous system (CNS) agents.

Keywords*: Primidinethion, metal organic frame, heterocyclic compound*

Introduction Copper sulfate penta hydrate and ligand solved in a water separately for an hour under temperature 50-60 C . Sodium hydroxide added and mixed obtained crystals separated and gathered. It possible obtained crystal has 5 members in a cycle. Materialized complex is cyclic and stable. There two donor atom in a ligand nitrogen -N and sulphur -S atom. Nitrogen and sulphur atom included same ligand and there are obtained two bonds bidendant ligand. Simultaneously nitrogen and sulphur stoms included complexes carried out biological active compound .These complexes also has antimicrobial and anti-inflammetory properties.

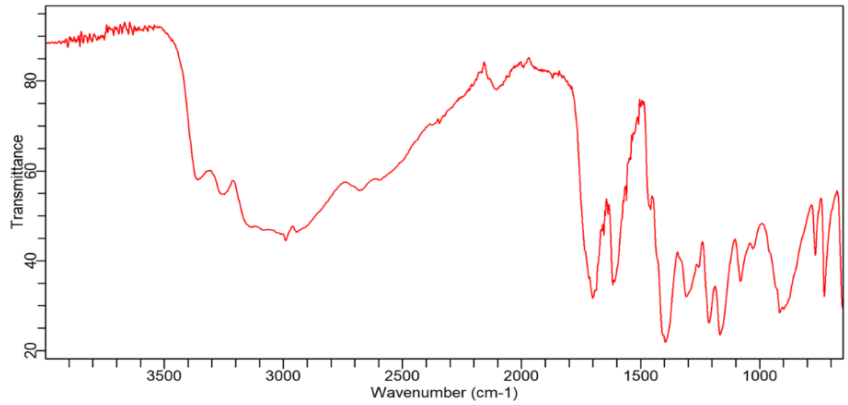
Prepared solvent $CuSO_4$ salt in water was added into the solution which contain ligand. Reaction carried out under the 50-60 degree celcies. As a result of transportation elektrons from nitrogen and suphur atoms to the Ni atom in the salt obtainded coordination bond between metal atoms and electrodonor atoms. Metal atom Copper -Cu created four and six coordinated bond and complexes[1]. According to the nitrogen and sulphur atoms obtained new metal complesxes based Ni metal will be five or six cycles.Obtained metal complexes looks -like sequar form because of nitrogen and sulphur atoms[2]. The reaction scheme shown below (Scheme-1)



Scheme-1. Synthesis of primidine tion complexes using copper sulfate

Sulphur atom can coordinated more than nitrogen atoms for that reason reaction direct to the sulphur atoms. According to variety of scientific resources this complexes has different application areas. These types of metal complexes are using as a catalyst, to analyse metal ions and different gases. Ni-metal complexes can apply to the cure different deseases such as inflammatory, and using as a pharmacy[3].

Obtained compound structural analyses carried out with the FT-IR Cary 630 and materialized specrtr are shown in the picture-1



Picture 1. FT-IR result for obtaining compound.

There some peaks such as 3330 cm^{-1} –(N-H), 3220 cm^{-1} (O-H), 3100 cm^{-1} – (C-H) aromatic , 2100 cm^{-1} –(1700 cm^{-1} - (C=O), 1600 cm^{-1}-(N-H) amine, 1400 cm^{-1}-(C-H) alkane, 1150 cm^{-1} (C-O) aliphatic ether . The result shows that wavenumbers are also depict our compound has these types of bond and atoms.

Conclusion.

The compound that we synthesized contain nitrogen and sulphur atoms for that reason it carry out many biological pharmacological properties. Because of these properties need to study this compound.

REFERENCES

1. Sujayev A.R., Garibov E.N., Nazarov N.M. The synthesis of tetrahidropyrimidines and their carboxylic derivatives and the application of antimicrobial properties // J. Chem. Applied Biochem., 2015, v. 2, №1, p. 43-46.
2. Structure analysis, DFT, and molecular electrostatic potential study of the dimeric nickel - pyrazoline complex.2026 13, 1, 33-36
3. Gulcin I, Beydemir S., Buyukokuroglu M.E. In vitro and in vivo effects of dantrolene on carbonic anhydrase enzyme activities. Biol. Pharm. Bull., 2004;27:613–6.

ORGANIC EXPLOSIVE MATERIALS

NIGAR NAGHIYEVA
Baku State University
Chemistry/Organic chemistry
nigar.nagiyeva@gmail.com
BAKU, AZERBAIJAN

ABSTRACT

This article systematically analyzes the chemical structure of organic explosive materials, the mechanisms of energy release, and safety principles. The research was conducted using theoretical–analytical methods, evaluating the structure–reactivity relationship based on existing scientific literature, and comparing organic and inorganic explosives. The analysis showed that organic explosives containing nitro and nitrate ester groups are characterized by high energy density and a tendency toward rapid detonation. At the same time, adherence to safety principles during storage and use is scientifically justified. The study presents important findings for both fundamental organic chemistry and practical applications.

KEYWORDS: organic explosive materials, high energy density, explosion, nitrate esters

INTRODUCTION

The study of chemical systems with high energy density is one of the important directions of modern chemistry. Among these systems, explosive materials occupy a special place, as they are characterized by the release of a large amount of heat and gas within a very short time interval. The explosion process occurs as a result of the rapid breaking of chemical bonds and the formation of more stable products, which leads to the generation of high temperature and pressure. Organic explosives, having carbon-based molecular structures, are of both fundamental and applied importance in understanding the mechanisms of energy transformations [1].

The relevance of organic explosive materials is associated with their wide range of applications. These substances are used in the mining industry for rock fragmentation, in road and tunnel construction, as well as in specialized engineering operations. In the military field, explosive materials are considered key components of various types of ammunition and energy systems. Unlike combustion, the physical nature of an explosion is accompanied by a very rapid exothermic reaction, and the propagation speed of detonation can reach several kilometers per second [3]. These properties make them both useful and potentially hazardous materials.

From a chemical perspective, the main characteristic of organic explosive materials is the simultaneous presence of oxidizing and reducing centers within the same molecule. In most cases, these compounds contain nitro groups ($–NO_2$) or nitrate ester functional groups. These groups act as a source of oxygen, enabling intramolecular oxidation–reduction processes to occur. As a result, there is no need for an external oxygen source for the reaction, and the decomposition process proceeds at a very high rate [1]. The rate and amount of energy release depend on the molecular structure, the positioning of functional groups, and bond energies.

Compared to inorganic explosive materials, organic explosives possess distinct structural features. Inorganic systems typically consist of mixtures of oxidizing and fuel components, where the reaction occurs through interactions between different components. In contrast, in organic explosive materials, all reactive centers are located within the same molecule, allowing the process to proceed in a more coordinated and rapid manner [2]. This characteristic results in their high energy density and strong tendency toward detonation.

The energy mechanism of organic explosive materials can be explained from a thermodynamic perspective by the transformation of the system into more stable gaseous products. The energy consumed during the breaking of chemical bonds is compensated by the energy released during the formation of stronger and more stable bonds, resulting in a net heat effect. This heat effect is accompanied by a rapid increase in pressure within a very short period of time [3]. Therefore, the study of structure–property relationships is considered one of the main directions in the chemistry of explosive materials.

At the same time, the high reactivity of organic explosives brings safety issues to the forefront. Factors such as increased temperature, mechanical shock, friction, or static electricity can cause premature decomposition. This creates serious risks in both industrial and laboratory environments. Therefore, it is

essential to establish scientifically grounded safety principles for storage, transportation, and use [3]. Safety measures are determined not only by technical regulations but also by the accurate evaluation of the chemical stability of these substances.

The aim of this article is to systematically analyze the chemical structural features of organic explosive materials, the mechanisms of energy release, and safety principles. Within the framework of the research, the structure–reactivity relationship is investigated, organic and inorganic explosive materials are compared, and safety aspects are summarized. A comprehensive study of this topic is of significant importance both from the perspective of fundamental organic chemistry and in the field of applied safety.

RESEARCH METHOD

This research was conducted in a theoretical–analytical direction, with the main aim of comprehensively studying the chemical structural features, energy mechanisms, and safety principles of organic explosive materials. The methodological basis of the work relies on the analysis of modern scientific literature, the evaluation of structure–property relationships, and the principles of a comparative approach.

1. Analytical review of scientific literature

At the initial stage of the research, fundamental and applied sources related to the chemical properties of organic explosive materials were examined. In particular, information on molecular structure and energy release mechanisms was systematized.

It has been shown that the energy potential of organic explosive materials is explained by the interaction of intramolecular oxidizing and reducing centers [1]. This approach formed the theoretical basis of the study.

2. Systematic evaluation of the structure–property relationship

During the study, the role of nitro groups (–NO_2) and nitrate ester functional groups in the formation of explosive properties was analyzed from a theoretical perspective. The relationship between molecular structure, energy density, and thermodynamic stability was investigated.

It is noted that the high energy potential of nitroaromatic and nitrate ester compounds is related to their functional structure [2]. This source was used to substantiate the structure–reactivity relationship

3. Comparative analysis method

Organic and inorganic explosive materials were analyzed comparatively. The following criteria were used as the basis for comparison:

Chemical composition

Reaction mechanism

Rate of energy release

Thermal stability

It is stated that an explosion is a rapid exothermic process accompanied by the instantaneous formation of gaseous products [3]. These data were used in the comparative evaluation of organic and inorganic systems.

4. Theoretical modeling of the mechanism

The chemical mechanism of the explosion process was analyzed step by step, and the sequence of bond breaking and formation of new products was explained based on the principle of reaction progression. It was demonstrated, based on a theoretical model, that energy release occurs as a result of intramolecular rearrangements [1].

This approach made it possible to explain the reactivity of explosive materials from a chemical perspective.

5. Evaluation of safety principles

Within the framework of the study, risk factors during storage, transportation, and production stages were examined from a theoretical point of view. Factors such as temperature increase, mechanical impact, and chemical instability were analyzed, and safety principles were systematized.

In this section, both the physical mechanism of explosion and the concept of chemical stability were taken into account [3].

CONCLUSION

The conducted theoretical analysis showed that the high energy potential of organic explosive materials is directly related to their molecular structure. In particular, the presence of nitro and nitrate ester functional groups leads to the formation of oxidizing and reducing centers within the molecule, which ensures rapid exothermic decomposition.

The study determined that organic explosive materials differ from inorganic explosives mainly in terms of their intramolecular reaction mechanisms and high energy density. Their reactivity and tendency toward detonation are explained by the structural features of chemical bonds.

At the same time, adherence to safety principles is of crucial importance during the production and use of these substances. Factors such as temperature, mechanical impact, and storage conditions directly affect the risk of explosion. Therefore, the application of scientifically grounded chemical stability assessments and safety standards is essential.

Overall, the conducted research demonstrates that the study of organic explosive materials is of significant importance both from the perspective of fundamental organic chemistry and in the field of applied safety. Future research may focus on the development of safer and more controllable energy systems as a promising direction.

REFERENCES

9. Agrawal, J.P., Hodgson, R.D. Organic Chemistry of Explosives. Wiley, 2007, pp. 1–20.
10. Qasimov, R.A. Chemistry I: Organic Chemistry. Baku, pp. 50–60.
11. Rasulov, S.R., & Shahpelenkova, B.Sh., Theory of Combustion and Explosion (Baku: Azerbaijan Ministry of Education, 2018), pp. 10–30.

SYNTHESIS AND APPLICATION OF COMPLEXES OF AMINO DERIVATIVES OF NATURAL PETROLEUM ACIDS WITH ALKYL HALIDES

Afag Azizbayli
[1]*Laboratory of Antimicrobal reagents and biodamages,*
Institute of Petrochemical Processes; [2]*Department of "Technology of organic substances and high molecular compounds", Azerbaijan State Oil and Industry University*Baku, Azerbaijan
0000-0003-1683-9890

Elona Ramazanova
Department of "Technology of organic substances and high molecular compounds", Azerbaijan State Oil and Industry University
Baku, Azerbaijan
elonaramazanova0@gmail.com

Abstract: In the era of modern industrialization, the problem of protecting metals from corrosion remains one of the most important scientific and technological issues, both economically and ecologically. The main goal of this work is to create multifunctional inhibitor-bactericides using waste-free technology. In this research work, scientific research was conducted on the synthesis of amino derivatives of natural petroleum acids and their complexes with alkyl halides. The synthesis mechanisms, structural properties and application potential of the complexes were studied. The results obtained show that such compounds have practical importance in the petrochemical industry, demonstrating high bactericidal and metal corrosion protection.

Keywords*: corrosion, sulphate reducing bacteria, biodamage, naphthenic acids, inibitors,*

Introduction

Corrosion of metals leads to substantial economic losses in the oil and gas sector worldwide [1-3]. Despite advances in modern chemical technologies and the development of various protective strategies, including corrosion inhibitors, the degradation of metals remains a serious and persistent challenge. It is estimated that approximately 77–80% of accidents in the oil and gas industry are associated with microbiologically influenced corrosion (biocorrosion) [4]. Bio-damage represents a common mode of failure in metallic structures and arises from the harmful effects of microorganisms and their metabolic by-products on metal surfaces. The mechanisms of such damage depend on both the properties of the metal and various biological factors [5]. Although crude oil itself, being primarily a mixture of hydrocarbons, does not provide an ideal environment for microbial growth, water present in oil reservoirs—especially when enriched with sulfur-containing compounds—creates favorable conditions for the proliferation of sulphate-

reducing bacteria (SRB). Many operational issues in the oil and gas industry are linked to aggressive environments containing hydrogen sulfide (H_2S) and carbon dioxide (CO_2). The formation and accumulation of H_2S are largely attributed to the activity of SRB [6] . Corrosion caused by carbon dioxide is also a major concern in oil and gas production systems. Despite extensive research efforts, CO_2-induced corrosion of steel continues to pose significant challenges globally. In extraction and processing operations, corrosion inhibitors serve as a primary line of defense. In recent years, organic nitrogen-containing compounds have been widely applied as effective inhibitors in oil wells [7].

EXPERIMENTAL

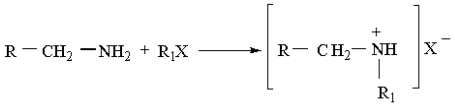
The synthesis reaction of complexes was carried out with stirring for 3 hours at a temperature range of 70-80 ^{0}C. In a three-neck flask, polyamine (DETA, TETA, PEPA), alkyl halide, 25 mL of water was added as a solvent.

In the synthesis of amidoalkylhalogenide complexes, 25 mL of isopropyl alcohol was used as a solvent. Also naphthenic acid amides derived from Baku crude oil were used as precursors for alkylation reactions with various alkyl halides [8]. Initially, these amides were prepared by reacting polyethylene polyamine (PEPA) with naphthenic acids obtained from Baku crude oil. Subsequently, the synthesized amid were subjected to alkylation using different alkyl halides, including $C_5H_{11}Br$, C_3H_7Br, C_6H_5Cl, C_2H_5I, C_4H_9I, C_6H_5Cl and $C_4H_8Cl_2$ following established standard procedures.

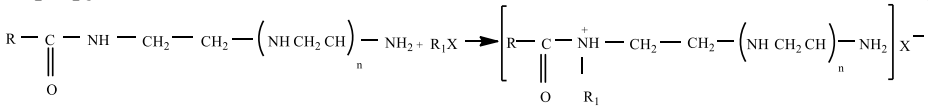
The resulting amides and their alkylated derivatives also complexes obtined from reaction of polyamines by alkyle halogenides were analyzed, and their structures were confirmed using a combination of physicochemical and spectroscopic techniques (see table 1). Infrared (IR) spectra of the synthesized compounds were recorded on a BX FT-IR spectrometer using KBr pellet methodology. To study the corrosion, protection ability of the synthesized complexes was used by one of the latest devices in recent years i.e. ACM GILL AC (manufactured by ACM Instruments). The apparatus consists of a monitor, CPU, potentiometer ACM GILL AC, four pieces of glasses with a capacity of 4000 mL, electrodes, CO_2 tank and installation- regulating the quantity fed CO_2. The prepared 1% - of the solution sodium chloride was stirred by a magnetic stirrer for 30 min in 4000 mL. The prepared solution was poured into the 4 glass beakers (1000 mL for each one). Beakers were then placed on a heater at 50 ^{0}C for 1 hour under 0.9 bars.

RESULTS AND DISCUSSION

The synthesis reaction of complexes was carried out with stirring for 3 hours at a temperature range of 70-80 ^{0}C. In a three-neck flask, polyamine (DETA, TETA, PEPA), alkyl halide, 25 mL of water was added as a solvent. The reaction can be shown schematically as follows:



The synthesis of amidoalkylhalogenide complexes was carried out by the same method, but 25 mL of isopropyl alcohol was used as the solvent. The reaction can be shown schematically as follows:



The physicochemical properties of the synthesized complexes were thoroughly investigated using various analytical techniques (table 1.).

TABLE I. PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF SYNTHESIZED COMPLEXES

Compounds code name and composition	Molar ratio	Density, d_4^{20}, g cm^{-3}	Refraction coefficient, $\square_{20}^{D}$	Freezing temperature, ^{0}C
F-1 amide and C_3H_7Br	1:1	0.9268	1.4300	-53
F-2 amide and C_3H_7Br	1:2	0.9288	1.4340	-52
F-3 amide and C_3H_7Br	1:3	0.9296	1.4310	-60
F-4 amide and $C_5H_{11}Br$	1:1	0.9124	1.4160	-60
F-5 amide and $C_5H_{11}Br$	1:2	0.9298	1.4330	-60
F-6 amide and $C_5H_{11}Br$	1:3	0.9314	1.4330	-60
F-7 amide and C_6H_5Cl	1:1	0.9664	1.4400	-40

F-8	amide and C_6H_5Cl	1:2	0.9788	1.4460	-50
F-9	amide and C_6H_5Cl	1:3	1.0381	1.4680	-58
A-1	(TETA and $C_5H_{11}Br$)	1:1	1092,0	1,4610	-30
A-2	(TETA and C_3H_7Brr)	1:2	1091,0	1,4330	-43
A-3	(TETA and C_3H_7Br)	1:3	1092,0	1,4230	-35
A-4	(TETA and C_3H_7Br)	1:1	1054,0	1,4200	-29
A-5	(DETA and C_3H_7Br)	1:1	1055,0	1,4200	-25
A-6	(DETA and C_3H_7Br)	1:3	1041,0	1,3990	-17
A-8	(TETA and C_2H_5I)	1:1	1193,0	1,4380	-23
A-9	(TETA and C_2H_5I)	1:2	1250,0	1,4740	-17
A-10	(TETA and C_2H_5I)	1:3	1415,0	1,4950	-22
A-11	(DETA and C_2H_5I)	1:1	1245,0	1,4390	-10
A-13	(PEPA and C_2H_5I)	1:1	1190,0	1,4710	-28
A-14	(PEPA and C_2H_5I)	1:2	1447,0	1,4550	-20
A-15	(PEPA and C_2H_5I)	1:3	1275,0	1459,0	-12
A-16	(PEPA and C_2H_5I)	1:4	1312,0	1473,0	-24
A-17	(PEPA and C_4H_9I)	1:1	1395,0	1463,0	-25
A-20	(PEPA and $C_4H_8Cl_2$)	1:1	1137,0	1460,0	-25
A-21	(PEPA and $C_4H_8Cl_2$)	1:2	1090,0	1457,0	-18

The structural characteristics of purified product were confirmed by FT-IR spectroscopy in the range 4000–500 cm^{-1}, as shown in Figure 1. IR spectrum of sample F-4 contains a series of absorption bands of varying intensity in the region 500-4000 cm^{-1}.

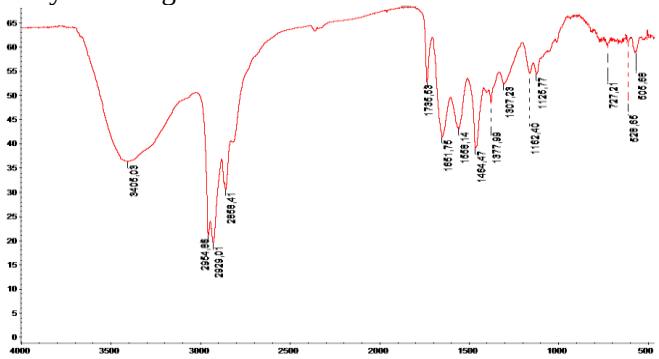


Fig. 1. IR Spectrum of the F-4 complex

Effect of the synthesized compounds on SRB activity over a 15-day period: Sulfate-reducing bacteria (SRB) are obligate anaerobic microorganisms that reduce sulfate to hydrogen sulfide (H_2S). One of the most suitable media for their cultivation is *Postgate B medium* (Table 2), the composition of which is presented in Table 2. All components were calculated based on 1 liter of solution. The pH of the medium was adjusted to a range of 7.0–7.5.

TABLE II. THE COMPOSITION OF POSTGATE B CULTURAL MEDIUM

Name of substance	Amount, g
Potassium phosphate acid (KH_2PO_4)	0.5
Ammonium chloride (NH_4Cl)	1.0
Calcium sulfate ($CaSO_4$)	1.0
Magnesium sulfate ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	2.0
Sodium lactate	3.5
Sodium chloride	2.0

The culture medium was further optimized by introducing specific additives. These included iron 2 sulfate, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (prepared as a 5% iron sulfate solution in 2% hydrochloric acid), sodium bicarbonate ($NaHCO_3$, 5% solution), and crystalline sodium sulfide ($Na_2S \cdot 9H_2O$, prepared as a 1% solution in 1% sodium bicarbonate). The SRB 1143 strain was employed in the experimental studies. Sterile test tubes

with a volume of 20 mL were used for all experiments. The bactericidal activity of the tested compounds was evaluated over a 15-day period by measuring the amount of hydrogen sulfide (H_2S) produced. The concentration of H_2S was determined using a standard iodometric method.

The influence of the compounds on SRB activity was investigated at concentrations of 0.025%, 0.075%, and 0.1%, as presented in table 3. The results indicate that compounds obtained from the reaction of amides with C_3H_7Br at molar ratios of 1:1 (F-1) and 1:2 (F-2) exhibited significant biocidal properties, effectively inhibiting SRB activity even at the lowest tested concentrations. The complexes obtained from the reaction of amides with C_3H_7Br at a 1:3 molar ratio (F-3) exhibited a biostatic effect at a concentration of 0.025%, indicating only a slight inhibition of SRB metabolic activity. However, at higher concentrations of 0.075% and 0.1%, these compounds demonstrated a biocidal effect. The amide–$C_5H_{11}Br$ complex prepared at a 1:1 molar ratio (F-4) showed strong biocidal activity at all tested concentrations. In contrast, the 1:2 molar ratio product (F-5) displayed a biostatic effect at 0.025% and 0.075%, while exhibiting a biocidal effect at 0.1%. The compound synthesized at a 1:3 molar ratio (F-6) acted as a biocide across the entire concentration range. For the amide–C_6H_5Cl systems, the complexes obtained at molar ratios of 1:1 (F-7), 1:2 (F-8), and 1:3 (F-9) showed varying effects. Compounds F-7 and F-8 demonstrated biostatic activity at a concentration of 0.025%, but exhibited biocidal properties at higher concentrations of 0.075% and 0.1%. In contrast, the F-9 complex showed consistent biocidal activity at all tested concentrations. Therefore, the F-4 (amid:$C_5H_{11}Br$, in molar ratio 1:1) complex showed the most powerful bactericidal efficiency.

As shown in table 3., complexes obtained via N-alkylation of DETA, TETA, and PEPA with alkyl halides, particularly those synthesized with bromides, exhibit stronger bactericidal properties compared to their iodide-derived counterparts. Specifically, complex A-1 completely inhibited the life activity of SRB at all tested concentrations throughout the experimental period, indicating a pronounced biocidal effect.

Although complexes A-3, A-4 demonstrated biocidal activity at all concentrations, A-2 showed a biocidal effect only at 0.1%, while acting as a biostatic agent at concentrations of 0.025% and 0.075%. Complexes A-5 and A-6 exhibited consistent biocidal activity across all tested concentrations. In contrast, some iodide-based complexes of DETA, TETA, and PEPA displayed biocidal effects only at higher concentrations (0.1%). For instance, complexes A-8 and A-9 showed biostatic effects at 0.025% and 0.075%, and biocidal activity at 0.1%. Complexes A-10, A-11, and A-13 exhibited biostatic effects at 0.075%, while demonstrating biocidal properties at other concentrations. Similar behavior was observed for complexes A-14, A-15, and A-16. Complex A-17 also showed a biostatic effect at 0.075% and biocidal activity at the remaining concentrations. Likewise, complexes A-20 and A-21 were biostatic at 0.075% but exhibited biocidal effects at 0.025% and 0.1%.

For comparison, two control samples without reagents were used: Control 1 and Control 2. Control 1 contained only Postgate B culture medium, while Control 2 consisted of Postgate B medium inoculated with SRB. As indicated in Table 3.1.2, no microbial growth was observed in Control 1. In contrast, in Control 2, the concentration of H_2S reached 270 mg/L, indicating full development and activity of SRB.

TABLE III. EFFECT OF COMPLEXES ON THE LIFE ACTIVITIES OF SRB

Complex name	Complexes	Molar ratio	Complexes concentration, %		
			0.025	0.075	0.1
			H_2S content, mg/L		
F-1	amide and C_3H_7Br	1:1	29	28	25
F-2	amide and C_3H_7Br	1:2	30	26	25
F-3	amide and C_3H_7Br	1:3	85	28	27
F-4	amide and $C_5H_{11}Br$	1:1	26	25	25
F-5	amide and $C_5H_{11}Br$	1:2	85	83	28
F-6	amide and $C_5H_{11}Br$	1:3	51	28	27
F-7	amide and C_6H_5Cl	1:1	86	27	26
F-8	amide and C_6H_5Cl	1:2	87	25	25
F-9	amide and C_6H_5Cl	1:3	27	27	26
A-1	(TETA and $C_5H_{11}Br$)	1:1	29	27	26
A-2	(TETA and C_3H_7Brr)	1:2	198	82	45
A-3	(TETA and C_3H_7Br)	1:3	28	26	25
A-4	(TETA and C_3H_7Br)	1:1	30	28	26

A-5	(DETA and C_3H_7Br)	1:1	34	27	25
A-6	(DETA and C_3H_7Br)	1:3	158	79	35
A-8	(TETA and C_2H_5I)	1:1	105	76	38
A-9	(TETA and C_2H_5I)	1:2	176	85	47
A-10	(TETA and C_2H_5I)	1:3	189	88	45
A-11	(DETA and C_2H_5I)	1:1	176	58	36
A-13	(PEPA and C_2H_5I)	1:1	185	76	37
A-14	(PEPA and C_2H_5I)	1:2	196	34	29
A-15	(PEPA and C_2H_5I)	1:3	128	77	35
A-16	(PEPA and C_2H_5I)	1:4	108	61	29
A-17	(PEPA and C_4H_9I)	1:1	197	96	55
A-20	(PEPA and $C_4H_8Cl_2$)	1:1	186	75	35
A-21	(PEPA and $C_4H_8Cl_2$)	1:2	29	27	26
	Control 1 (culture media without SRB)	25			
	Control 2 (culture media, with SRB)	270			

The kinetic curves of the effect of complexes on the kinetics of steel corrosion in a 1% solution of NaCl in CO_2-saturated water are given. Before the introduction of the complex F-1 into the environment, the corrosion rate in the first hour was 2.5706 mm/year, and the metal loss was 0.0002965 mg. When the F-1 complex was introduced into the environment, the corrosion rate in the first hour was 0.1086483 mm/year, and the metal loss was 0.000308 mg. Already in the twentieth hour, it was 0.1017336 mm/year, and the metal loss was 0.0005227 mg, and the corrosion protection effect was 97.3%. For the synthesized complex of F-2 the corrosion rate at the 15th hour was 0.1194775 mm/year, metal loss was 0.0004349 mg, and already at the twentieth hour, that is, at the last moment, it was 0.125255 mm/year, and metal loss was 0.000491 mg. Thus, this complex protected the steel from CO_2 corrosion by 96.6%. For the F-3, the corrosion rate at the last moment was 0.164266 mm/year, metal loss was 0.000609 mg, and the protective effect was 95.6%. The effect of the synthesized F-4 complex at a concentration of 50 mg/l is as follows: corrosion rate 0.038955 mm/year, metal loss 0.000271 mg, protection efficiency 98.9%.

TABLE IV. REAGENTS PROTECTIVE EFFECT AGAINST CO_2 GAS CORROSION FOR 20 HOURS AT A CONCENTRATION OF 50 mg/L

Complexes	I corr (mA/cm2)	Corrosion Rate (mm/year)	Total Metal Loss (mg)	The Inhibition Efficiency (%)
blank	0,326548	3,7846	0,007461	—
F-1	0.008778	0.101734	0.000523	97,3%
F-2	0.010807	0.125255	0.000491	96,6%
F-3	0.014173	0.164266	0.000609	95,6%
F-4	0.003361	0.038955	0.000271	98.9 %
F-5	0.00812	0.094112	0.000955	97.6 %
F-6	0.035733	0.414148	0.001969	89.2 %
F-7	0.009102	0.105486	0.000555	97.2%
F-8	0.015526	0.179946	0.000737	95.2 %
F-9	0.008694	0.100763	0.000564	97.3%

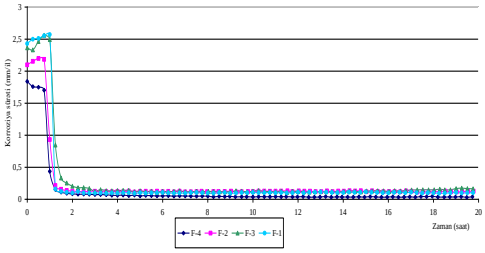


Fig. 2. Variation of the Corrosion Rate with Time for Mild Steel in CO_2-Saturated Brine Containing 50 ppm complexes F-1, F-2, F-3, F-4 at 50 ^{0}C

Alkylated complexes of polyamines did not protect Mild Steel from corrosion in a 1% solution of NaCl in CO_2-saturated water at a concentration of 50 mg/L. On the contrary, they slightly stimulated the process. It was found that these compounds were not effective as CO_2 corrosion inhibitors, but were effective only against biocorrosion caused by SRB.

Conclusion

The following conclusions have been drawn from the present study: SRB's 1143 strain have been used in test experience to study the bactericide efficiency of friendly complexes of amidoalkylhalogenides synthesized on the bases of naphthenic acids in Baku crude oil also complexes obtined on the basis of polyamines by alkyl halides. The structures of synthesized complexes were confirmed by physico-chemical and spectroscopic methods. All of synthesized complexes showed bactericidal effect as biostat and biocide. It has been identifide that synthesized complexes of amid by $C_5H_{11}Br$ in molar ratio of 1:1 (F-4) stopped the life activities of SRB in consentrtions of 0.025; 0.075 and 0.1%. Thus showed strong bactericide efficiency than that other complexes. Also some of this complexes showed inhibitory properties against CO_2 gas corrosion of Mild steel too.

REFERENCES

[20] Miksic, B. Boyle, R. and Wuertz, B., Corrosion, 2004, 60, pp. 515–522.
[21] Pao, P. S., Teng, C. R. and Gill, S. J., Corrosion, 2000, 56 (10), pp. 1022-1031.
[22] Kolotyrkin, Ya. M., Metals and Corrosion (in Russian), Metallurgiya, 1985, p. 88.
[23] Qarifullin F.S. Preventing the formation of complex sulfide- precipitation in the extraction water-cut oil 2002, pp.417-426. (in Russian)
[24] V. M. Abbasov, R. H. Valiyev, E. A. Aydinsoy, Z. Z. Aghamaliyev, D. B. Aghamaliyeva, N. M. Aliyeva, V. B. Abbasov, Environmental impact and analytical characterization of water samples from the caspian sea, SOCAR Proceedings 2025, 1 (Special Issue), pp.1-8
[25] Hany M. Abd El-Lateef, L. I. Aliyeva, V. M. Abbasov, T. I. Ismayilov, Corrosion inhibition of low carbon steel in CO_2 - saturated solution using Anionic surfactant, Advances in Applied Science Research, 2012, 3 (2), 1185-1201
[26] Hany M. Abd El-Lateef, V. M. Abbasov, L. I. Aliyeva, T. I. Ismayilov, E. E. Qasimov, T. U. Ahmadov, Novel anionic surfactants based on cottonseed oil and their corrosion inhibition efficiency for carbon steel in CO_2 saturated solution. Global J. Phys. Chem. 2012, 3 (14) pp. 1-12
[27] V. M. Abbasov, S. A. Mamadxanova, H. M. Abd El Lateef, L. I. Aliyeva, T. A. Ismayilov, C. I. Musayev, O. A. Aydamirov, F. A. Amirov, Res. J. Appl:S ci., 2014, 9 (2), pp. 66-75

ORGANOSILICON MODIFIER FOR OXIRANODIANE RESIN

Oktay Askerov
Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
Institute of Polymer Materials
Sumgait, Azerbaijan
0009-0007-1798-7357

Aynura Mamedova
Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
Institute of Polymer Materials
Sumgait, Azerbaijan
Aynura.quliyeva79@mail.ru
0000-0002-0069-5274

Aygun Aliyeva
Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
Institute of Polymer Materials
Sumgait, Azerbaijan
Aliyevruslan1984ar@gmail.com
0009-0008-9515-5676

Gulgun Khanbabayeva
Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
Institute of Polymer Materials
Sumgait, Azerbaijan
Xanbabayeva-88@mail.ru
0009-0008-6247-6844

Nurkhan Shiraliyeva
Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
Institute of Polymer Materials
Sumgait, Azerbaijan
cefayxan@gmail.com

Abstract: The real work, being a research in a very promising field of silicon chemistry, is devoted to the synthesis of silicon organic siloxyesters and the study of some of their chemical properties. Interest in this class of compounds is due to a number of valuable properties inherent in organosilicon modifiers and

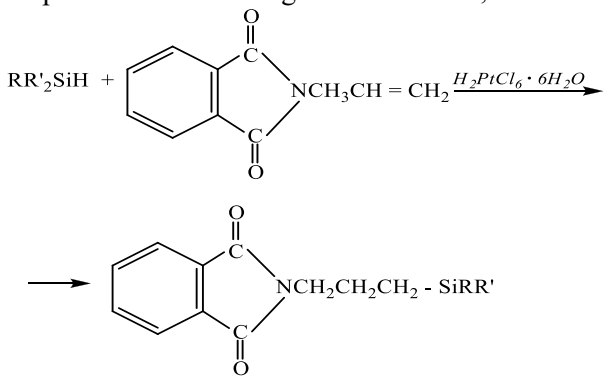
polymers, and first of all their high heat and frost resistance and a small change in physical characteristics in a wide range of temperatures.

Keywords*: triorganosilanes, frost resistance, benzene resistance.*

Introduction

Organosilicon compounds and materials obtained on their basis are of great interest for the development and improvement of the processes of the most important fields of technology and the national economy.

Organosilicon siloxy esters are of interest and can be successfully used as modifiers for oxiranodiane resins. Compositions prepared on their bases can be used in technology and production. The presented work as the most important product of siloxy esters has technical significance that they show moisture resistance, heat resistance and gasoline resistance [1]. Oxiranodiane resins have a low specific gravity and low density, and when organodiane resins are introduced to organosilicon siloxes esters, the resulting composite material has high heat resistance, moisture and gasoline resistance.



R=CH_3; R'$_2$= C_2H_5(I); C_3H_7 (II); C_4H_9(III); C_5H_{11}(IV); C_6H_5(V);

R=R'=C_2H_5(VI).

The structure of the obtained compounds (I-VI) was confirmed by the data of the IR spectra, while it was establishing that the addition reaction occurs at the C=C bond (according to Farmer's rule) to form reactive compounds.

Description of the Processing System

To perform the addition reaction of methyldiethylsilane to allylphthalimide take a flask mechanical mixer equipped with a reflux condenser loads with 18, 12, 0.1 moles of allylphthalimide, 10.2 hours, 0.1 moles of methyldiethylsilane, 30 ml of absolute benzene, platinum hydrochloric acid or rhodium carbonyl acetylacetonate as a catalyst. The mixture is refluxed for 30 hours. After distillation of benzene and the residue cubes, methyldiethylsilylpropylphthalimide is isolated under vacuum.

Discussion of the results obtained: The synthesis method has been devoloped for organosilicon siloxy esters by attaching silicon hydrides to allylphthalimide in the presence of platinum hydrochloric acid or acetylacetonatedicarbonyl of rhodium. It has been established that the aforementioned allylphthalimide compounds add triorganosilanes only by a multiple of the carbon-carbon bond of the allyl radical, and it becomes to the final carbon atom of the spesified radical, forming siloxy esters.

Proposal: Organosilicon siloxy esters have been tested as a modifier and stabilizer of epoxy resin. It was shown that organosilicon siloxy esters possess modifying properties and can be successfully used as a structuring agent, a modifier of epoxy resins.

The expansion of the field of application heat-resistant materials currently poses the challenge for researchers to develop effective methods of synthesizing organoelement monomers to create polymeric structures based on them that can maintain their operational properties for a long time, such as the search for ways to synthesize new types of organosilicon oxiranosilanes, which are monomers for obtaining polymeric structures with desired properties, which is of the most important task of practical significance. Polymer materials created on their basis have increased frost and benzene resistance, heat resistance, and resistance to aggressive environments.

Conclusion

The above-synthesised organosilicon compounds (I-VI) were used as a modifier to produce an oxiranodiane composite based on ED-20 oxiranodiane resin. At the same time, the modifier was introduced for the study in the amount of 10, 20, and 30 mass per 100 mass parts of ED-20 oxiranodiane resin. Curing

was carried out at 90 ± 5°C for 5 hours, followed by curing at 125 ± 5°C in the presence of benzene peroxide and aniline. It is shown that the introduction of modifiers (I-VI) leads to increase the heat resistance, fire resistance, and relative elongation of the composition. According to the analysis data shows that the most effective modifier is the compound (V), weight (20 mass p.) which leads to an increase the heat resistance and the strength of the approved composition compared to the unmodified resin.

REFERENCES

[1] Karbamid əsasında yeni monomerlərin sintezi, xassələri və istifadə imkanları. A.F.Məmmədova, B.Ə.Məmmədov, O.V.Əsgərov, N.T.Cəfərova. SDU, Strateji panel-müzakirə toplantısının materialları, 2024, S.20-22.

[2] Галогенсодержащие кремний-органические термостойкие материалы. Е.И.Ибадов, О.В.Аскеров, А.Ф.Мамедова, Е.И.Ибадов, Г.Дж.Ханбабаева, Н.Т.Ширалиева. Международная научно-техническая конференция, «Полимерные композиты и трибология» ПоликомТриб, Гомель, Беларусь, Тезисы докладов. 24-27 июня, 2025. С.177.

ENERGY-EFFICIENT MICROWAVE DEMULSIFICATION GOVERNED BY NON-EQUILIBRIUM INTERFACIAL KINETICS

Aysel Gasimzade
Azerbaijan State Oil and Industry University
Baku, Azerbaijan
0000-0002-5461-7677

Rashad Khalilzade
Azerbaijan State Oil and Industry University
Baku, Azerbaijan
0009-0004-3627-7033

Abstract: Microwave irradiation is increasingly explored as a physical method for destabilizing water–oil emulsions, yet the underlying non-equilibrium separation mechanisms remain insufficiently understood. In this study, water-in-oil emulsions from Absheron crude oils were treated at 200–800 W to evaluate the effects of microwave power, heating rate, temperature evolution, and energy efficiency. Results show a non-monotonic relationship between power and separation efficiency, with maximum phase separation occurring at intermediate power levels rather than at the highest energy input. Excessive power promotes molecular mobility and partial re-dispersion, reducing separation efficiency. Analysis of specific energy consumption confirms an optimal operating window where effective demulsification is achieved with lower energy demand, highlighting the kinetic control of microwave-assisted phase separation.

Keywords*: microwave demulsification, water-in-oil emulsions, heating rate dynamics, energy-normalized performance.*

Introduction

Water–oil emulsions are a common by-product of petroleum production, particularly in mature reservoirs characterized by high water cut and complex crude composition. These emulsions often exhibit high kinetic stability due to the presence of natural surface-active components such as resins and asphaltenes, which form strong interfacial films and hinder phase separation. As a result, emulsion stability complicates crude oil transportation, processing, and refining, while increasing operational costs and energy consumption. Traditional demulsification approaches rely mainly on thermal treatment and chemical additives; however, these methods frequently require elevated temperatures or high reagent dosages, which can reduce economic efficiency and raise environmental concerns. Consequently, alternative physical techniques capable of promoting efficient separation under moderate conditions have attracted increasing attention.

Among emerging approaches, microwave irradiation has been widely investigated as a promising energy-driven method for destabilizing water–oil emulsions. Microwave fields interact with polar components and dispersed water droplets, producing rapid volumetric heating and interfacial polarization effects that differ from conventional conductive heating. Unlike traditional thermal methods, microwave energy deposition can enhance molecular mobility, modify interfacial film properties, and accelerate coalescence processes through non-equilibrium mechanisms. These characteristics suggest that microwave-assisted demulsification may provide improved control over separation efficiency and energy consumption [1-3].

Recent studies have explored both chemical and physical routes to improve emulsion destabilization, including ionic liquids, nanomaterials, magnetic particles, and superhydrophobic separation media. While such approaches demonstrate high effectiveness, their practical application may be limited by synthesis complexity, cost, or recyclability constraints. In contrast, microwave irradiation offers a comparatively simple physical alternative that can be integrated with existing separation technologies. Previous investigations have shown that microwave treatment can enhance phase separation in oily sludge systems, refinery residues, and model emulsions by altering interfacial structure and promoting droplet coalescence. Importantly, several studies indicate that microwave-assisted separation cannot be explained solely by bulk temperature increase, suggesting the presence of kinetic effects associated with dielectric heating and relaxation phenomena.

Despite these advances, the relationship between microwave power, heating rate, and separation efficiency remains insufficiently understood, particularly under non-equilibrium conditions typical of heterogeneous liquid systems. Many studies report improved separation at increased microwave intensity; however, excessively high power levels may also induce undesirable effects such as re-dispersion or structural destabilization that reduces net separation efficiency. Therefore, identifying an optimal balance between energy input and structural relaxation processes represents a key challenge for practical implementation of microwave demulsification [4].

In this study, water-in-oil emulsions prepared from crude oils produced in the Absheron oilfields of Azerbaijan were subjected to controlled microwave irradiation at power levels ranging from 200 to 800 W. Emulsions with different water volume fractions were examined to evaluate the combined influence of microwave power, temperature evolution, heating rate, and energy efficiency on phase separation behavior. Temperature profiles, separated water volumes, and specific energy consumption values were analyzed in order to identify physically meaningful operating regimes and to clarify the role of kinetic effects in microwave-assisted demulsification.

The results demonstrate a non-monotonic dependence of separation efficiency on microwave power. Although increasing power accelerates heating and raises the system temperature, maximum phase separation is achieved within an intermediate power range rather than at the highest energy input. At elevated power levels, excessive activation of dispersed droplets increases molecular mobility and may promote partial re-dispersion, thereby reducing effective separation despite continued energy supply. Heating-rate analysis confirms that microwave-assisted phase separation is governed primarily by kinetic limitations associated with interfacial polarization and structural relaxation processes, rather than by temperature alone.

Evaluation of energy consumption using the specific energy parameter E/A (kWh m^{-3}) further indicates the presence of an optimal operating window in which efficient demulsification can be achieved with comparatively lower energy expenditure. Outside this window, increasing microwave power leads to higher energy demand without proportional improvement in separation performance. These findings highlight the importance of balancing energy density and relaxation dynamics in heterogeneous liquid systems and demonstrate that microwave-assisted demulsification should be interpreted as a kinetically controlled process rather than purely a thermal phenomenon

Materials and methods

Water–oil emulsions formed during petroleum production are often highly stable due to the presence of natural surface-active components such as resins and asphaltenes, which create strong interfacial films and hinder phase separation. Conventional demulsification methods rely mainly on heating and chemical additives; however, these approaches often require high temperatures or large reagent dosages, reducing energy efficiency and increasing environmental impact. Therefore, microwave irradiation has attracted attention as an alternative physical method capable of destabilizing emulsions through volumetric electromagnetic heating and interfacial polarization effects.

In this study, water-in-oil emulsions prepared from crude oils of the Absheron oilfields were subjected to microwave treatment at power levels of 200–800 W to investigate the influence of microwave power, heating rate, temperature evolution, and energy efficiency on phase separation behavior. Emulsions were prepared under controlled conditions using mechanical mixing at 2000 rpm, and approximately 70 g of each sample was exposed to microwave radiation at 2.45 GHz. Temperature changes and separated water volumes were measured to evaluate demulsification efficiency [5-8].

The results indicate a non-monotonic relationship between microwave power and separation efficiency. Maximum phase separation was achieved at intermediate power levels, while excessive power enhanced molecular mobility and caused partial re-dispersion of droplets, reducing separation effectiveness. Analysis of the specific energy parameter E/A (kWh m^{-3}) confirmed the existence of an optimal operating window where efficient demulsification can be achieved with lower energy consumption. These findings demonstrate that microwave-assisted demulsification is governed primarily by kinetic factors related to interfacial polarization and structural relaxation rather than temperature alone, highlighting the importance of balancing energy input and relaxation dynamics in heterogeneous liquid systems [9,10]

Results and discussion

Microwave interaction with heterogeneous liquid systems arises from a coupled interplay between electromagnetic energy absorption, interfacial polarization phenomena, and phase-dependent thermal responses. In dispersed media composed of immiscible liquid phases, such as emulsions, microwave energy input induces spatially non-uniform heating and localized structural rearrangements that cannot be adequately captured by bulk temperature evolution alone. For this reason, elucidating the interdependence between applied microwave power, the resulting temperature increase, and phase separation behavior is critical for identifying the physical mechanisms that govern structural destabilization and phase evolution.

A substantial body of microwave demulsification studies illustrates enhanced phase separation with increasing supplied energy, achieved either through elevated power levels or prolonged irradiation durations, a behavior commonly attributed to viscosity reduction and accelerated droplet coalescence.

In the present study, by contrast, the structural response exhibits a pronounced non-monotonic character. Maximum separation is attained within an intermediate power range, beyond which further increases in power lead to a decline in separation efficiency despite continued temperature rise. Such behavior demonstrates that demulsification cannot be interpreted as a purely thermal process; rather, it reflects a dynamic balance be-tween microwave energy deposition and the rate of interfacial structural relaxation, as illustrated in Fig. 1.

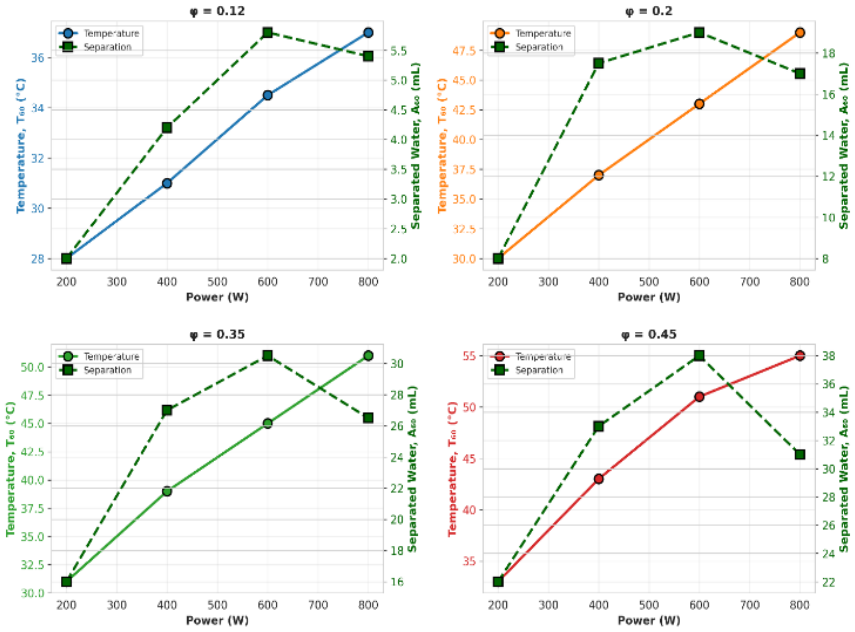


Fig. 5. Effect of microwave power on temperature rise (T_{60}) and separated water (A_{60}) at different water fractions (φ = 0.12–0.45), where solid lines represent temperature and dashed lines represent separated water after 60 s.

Fig. 1 illustrates the response of temperature rise and phase separation to variations in microwave power for systems with different water volume fractions. For all investigated compositions, temperature increases monotonically with increasing applied power, consistent with enhanced electromagnetic energy absorption at higher power levels. In contrast, the separation behavior follows a distinctly different trend. Rather than exhibiting a continuous increase, the volume of separated water reaches a maximum at intermediate power values, indicating that phase separation is not governed by temperature elevation alone.

For the system with the lowest water fraction ($\varphi = 0.12$), the separated water volume increases as microwave power rises from 200 to 600 W. At 800 W, however, a slight decrease in separated water is observed despite continued temperature growth. This response suggests the existence of a limited energy window in which interfacial polarization effects and localized microwave heating promote structural destabilization. Once the supplied energy exceeds this range, enhanced structural rearrangement and partial redispersion begin to suppress effective phase disengagement.

A comparable non-monotonic behavior is observed for emulsions with intermediate water fractions ($\varphi = 0.20$ and $\varphi = 0.35$). In these systems, maximum separation efficiency is likewise attained at moderate microwave power. As the water fraction increases, the peak value of A_{60} shifts toward larger absolute values, reflecting both the greater availability of the dispersed phase and the expansion of interfacial area. Despite these quantitative differences, the persistence of nonlinear separation behavior across all compositions demonstrates that the governing mechanism is intrinsic to microwave–matter interaction rather than being dictated solely by compositional factors.

At the highest investigated water fraction ($\varphi = 0.45$), the system exhibits the most pronounced temperature rise and the largest volumes of separated water. Even under these conditions, however, separation efficiency declines at the highest power level. Such behavior points to a transition toward a structural state characterized by increased phase mobility and reduced interfacial resistance, in which additional energy input favors mixing tendencies rather than further phase separation.

Taken together, these results demonstrate that phase separation under microwave irradiation is controlled by the combined action of electromagnetic energy deposition, interfacial polarization, and kinetic limitations associated with structural rearrangement. The presence of composition-dependent optimal power levels confirms that phase evolution cannot be inferred from temperature measurements alone and must instead be interpreted within a non-equilibrium framework.

Although temperature remains a key parameter influencing phase stability—through its effects on interfacial tension, molecular mobility, and phase connectivity—its role under microwave irradiation cannot be considered in isolation. Rather, thermal effects are inherently coupled with kinetic and electromagnetic contributions, giving rise to strongly nonlinear responses. Identifying temperature ranges associated with effective structural transformation is therefore essential for elucidating the mechanisms governing microwave-induced phase separation, as further illustrated in Fig. 2.

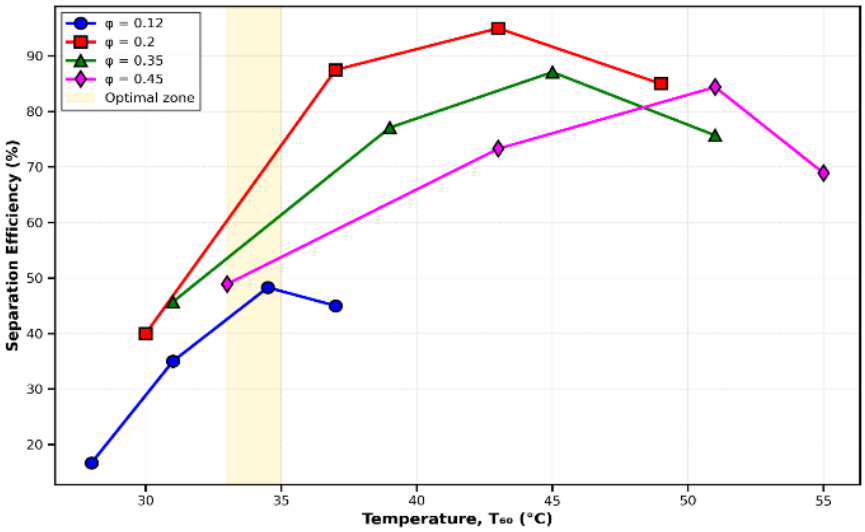


Fig. 2. Separation efficiency as a function of temperature at different water fractions ($\varphi = 0.12–0.45$), where the shaded area indicates the optimal temperature range.

Fig. 2. shows that separation efficiency does not increase linearly with temperature for any of the studied water fractions. At low temperatures, separation is weak due to limited molecular mobility and strong interfacial stabilization. As temperature rises, efficiency increases sharply, indicating structural weakening and improved phase mobility.

For φ = 0.12, separation reaches only a modest maximum within a narrow temperature range and then declines at higher temperatures. This suggests that while heating assists destabilization, excessive thermal activation promotes redispersion and reduces net separation.

At intermediate water fractions (φ = 0.20 and 0.35), separation improves significantly and peaks around 35–45 °C. In this interval, thermal activation effectively weakens interfacial structures without eliminating phase contrast. The broader effective range at higher φ reflects stronger collective structural response.

For φ = 0.45, the temperature of maximum separation shifts slightly higher, but efficiency again declines beyond this point. Elevated thermal motion begins to favor redistribution and partial homogenization rather than sustained separation.

These results indicate that temperature defines a composition-dependent kinetic window, and separation behavior cannot be explained by temperature magnitude alone.

Under intense electromagnetic excitation, increasing energy input enhances phase transformation only within a finite kinetic window. Once the rate of energy deposition exceeds the characteristic relaxation times of interfacial and bulk structures, overheating effects become dominant and separation efficiency deteriorates. Identifying this boundary is therefore essential for distinguishing kinetically favorable operating conditions from over-activated regimes associated with structural instability, as illustrated in Fig. 3.

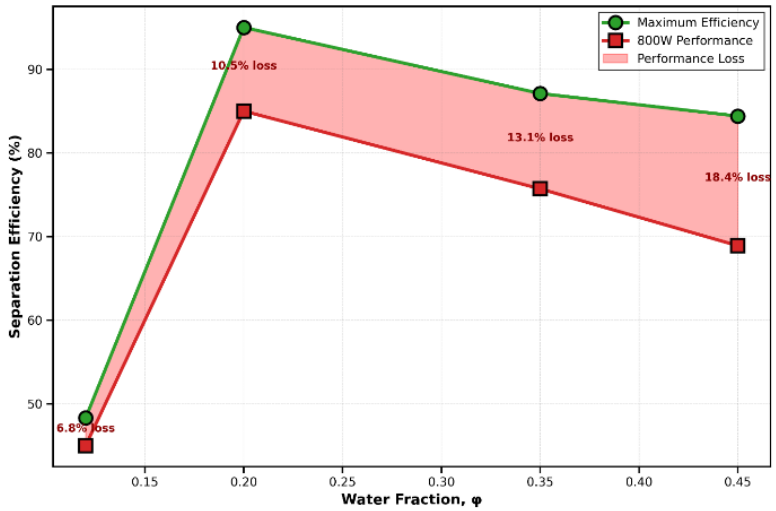


Fig. 3. Overheating effect at 800W on separation efficiency as a function of water fraction (φ), where the shaded area indicates efficiency loss due to excessive energy input.

Fig. 3 illustrates the performance loss at the highest microwave power. For all water fractions, separation efficiency at 800 W is lower than the maximum achieved at intermediate power, showing a clear penalty from excessive energy input.

At φ = 0.12, the decrease is relatively small, reflecting the higher stability of the dispersed structure. As the water fraction increases, the decline becomes more noticeable. At φ = 0.20, separation already drops compared to moderate power, indicating that the beneficial destabilization cannot be maintained beyond the optimal range.

For φ = 0.35 and 0.45, the loss is most significant. At high power, intensified molecular motion and rapid interfacial relaxation reduce phase contrast. Instead of promoting further separation, the system tends toward partial redispersion and enhanced mixing.

The growing penalty with increasing φ points to the role of phase connectivity and interfacial density. When these become more pronounced, the balance between destabilization and relaxation becomes more sensitive to excessive activation. Once this balance is disturbed, additional energy no longer improves separation and instead weakens structural control.

Even at constant applied power, the thermal response of heterogeneous liquid systems depends strongly on the spatial distribution and composition of the absorbing phases. In immiscible systems, local heating rates may vary significantly due to differences in dielectric properties, interfacial polarization, and phase connectivity. Examination of individual heating profiles under fixed power conditions therefore provides valuable insight into the kinetic heterogeneity governing microwave interaction with complex liquid systems, as illustrated in Fig. 4.

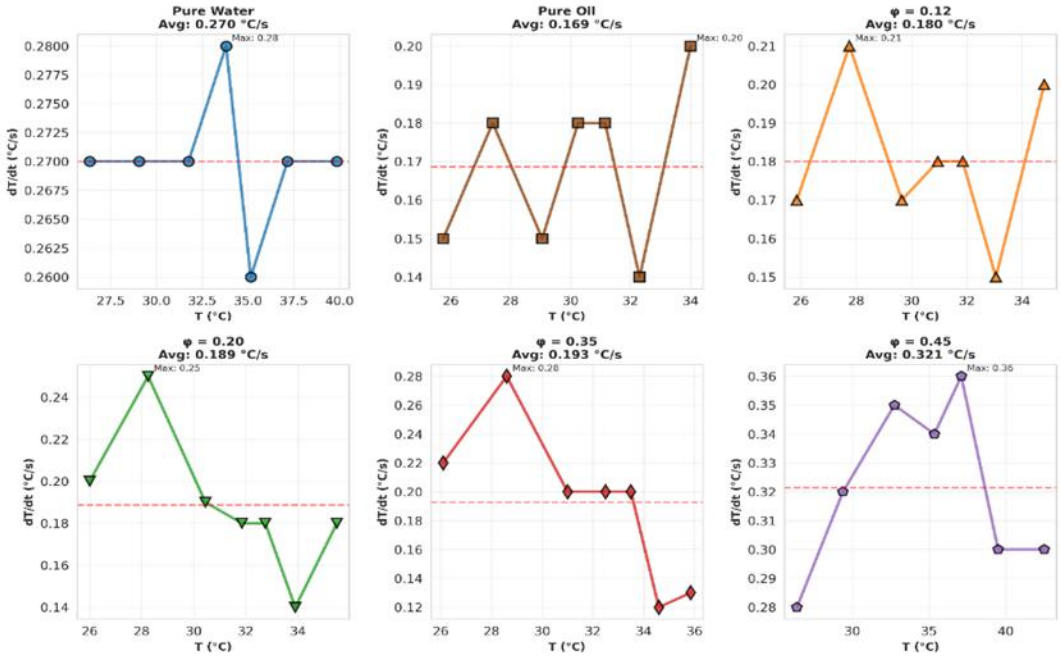


Fig. 4. Heating rate (dT/dt) as a function of temperature for water, oil, and emulsions (φ = 0.12–0.45) at 400 W, where dashed lines indicate average heating rates.

Differences in heating-rate behavior between pure liquids and emulsified systems under identical microwave power are summarized in Fig. 4. Pure water exhibits an almost constant heating rate with only minor deviations from the mean value, a response consistent with uniform microwave absorption and rapid redistribution of thermal energy. Pure oil, by contrast, displays noticeable variations in dT/dt, indicating localized energy uptake associated with molecular rearrangement and spatially non-uniform dielectric response.

In emulsified systems, heating-rate profiles become markedly more heterogeneous. At low water content (φ = 0.12), deviations from the average heating rate remain limited, suggesting weak interfacial polarization and a relatively stable dispersed structure. As the water fraction increases to φ = 0.20 and 0.35, fluctuations in dT/dt grow in magnitude, reflecting stronger coupling between microwave energy deposition and interfacial processes.

At the highest investigated water fraction (φ = 0.45), both the mean heating rate and the extent of local deviations reach their maximum values. This behavior reflects the development of enhanced polar connectivity within the system, which promotes localized microwave absorption and accelerates thermal response. Pronounced peaks and drops in dT/dt indicate short-lived structural rearrangements occurring on timescales comparable to the rate of energy input.

The systematic increase in heating-rate variability with increasing φ demonstrates that microwave-induced heating in heterogeneous liquids is intrinsically non-uniform and strongly governed by phase composition. Heating rate thus emerges as a sensitive kinetic indicator of internal structural dynamics, providing insight that cannot be captured by bulk temperature measurements alone.

Microwave interaction with dispersed liquid systems is therefore more accurately described in terms of localized kinetic processes rather than averaged thermal behavior. Adopting this perspective is essential for developing physically consistent descriptions of phase evolution under non-equilibrium electromagnetic excitation.

At elevated microwave power, the balance between energy input and structural relaxation becomes increasingly fragile. When energy is supplied more rapidly than interfacial and bulk structures can respond, localized overheating and unstable thermal behavior emerge. Analysis of individual heating profiles under intensified conditions thus offers critical insight into the transition from kinetically favorable response regimes to over-activated non-equilibrium states, as illustrated in Fig. 5.

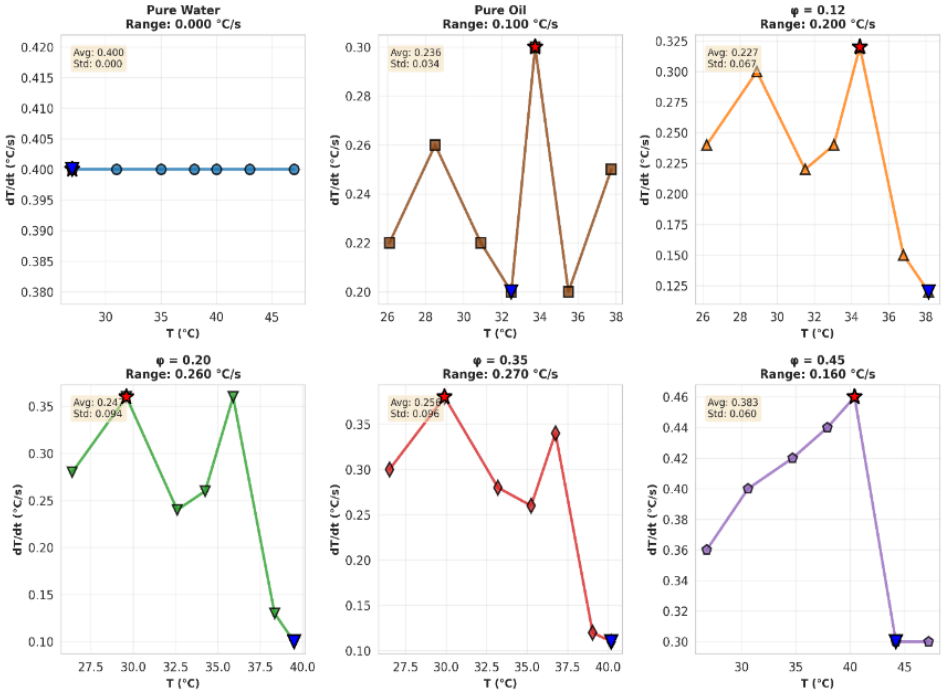


Fig. 5. Heating rate (dT/dt) as a function of temperature for water, oil, and emulsions (φ = 0.12–0.45) at 600 W, where reported ranges and statistical parameters reflect kinetic heterogeneity.

A pronounced shift in heating behavior emerges at a microwave power of 600 W when compared with lower power levels, as summarized in Fig. 5. Under these conditions, pure water maintains a highly uniform heating rate with negligible variability, indicating efficient redistribution of absorbed energy and rapid thermal equilibration even at elevated power. This response reflects the absence of internal structural barriers and is characteristic of homogeneous polar liquids.

Pure oil exhibits a distinctly different response. At 600 W, the distribution of heating rates broadens substantially relative to that observed at 400 W, revealing pronounced fluctuations in dT/dt. Such variability indicates localized energy absorption and delayed relaxation, consistent with spatially heterogeneous dielectric response and molecular rearrangement under strong electromagnetic excitation.

In emulsified systems, kinetic heterogeneity intensifies markedly. At a water fraction of φ = 0.12, the heating rate spans a broad interval, suggesting intermittent structural rearrangements driven by interfacial polarization. As the water content increases to φ = 0.20 and φ = 0.35, fluctuations in dT/dt become both more frequent and more pronounced. This trend indicates that increasing interfacial connectivity amplifies localized microwave absorption, leading to transient overheating and partial disruption of dispersed structures.

At the highest investigated water fraction (φ = 0.45), the system attains its largest mean heating rate while simultaneously exhibiting pronounced variability. Abrupt decreases in dT/dt at elevated temperatures indicate rapid transitions toward a highly mobile structural state. In this regime, enhanced molecular motion facilitates energy dissipation but compromises the persistence of phase contrast. Such behavior is characteristic of an over-activated non-equilibrium condition in which further energy input weakens, rather than reinforces, structural differentiation.

Comparison between pure liquids and emulsified systems indicates that the observed instability at elevated power originates primarily from interfacial dynamics rather than from bulk thermal effects. The strong dependence of heating-rate variability on water fraction demonstrates that heterogeneous liquid systems

tolerate only a limited degree of microwave excitation. Once this threshold is exceeded, localized overheating dominates the response, diminishing structural control and impairing separation behavior.
At high microwave power, heating behavior is therefore governed by competition between energy input and the system's capacity for structural relaxation. The pronounced kinetic heterogeneity observed at 600 W provides experimental evidence for an upper kinetic boundary beyond which microwave treatment no longer supports controlled phase transformation.
In non-equilibrium systems, structural evolution and energy utilization do not necessarily follow the same trajectory. Conditions that favor rapid kinetic response may simultaneously reduce energy efficiency through saturation or excessive activation. Evaluating separation behavior alongside normalized energy metrics therefore provides a more comprehensive perspective on the trade-offs governing microwave-induced phase evolution and facilitates identification of operating conditions with practical relevance, as illustrated in Fig. 6.

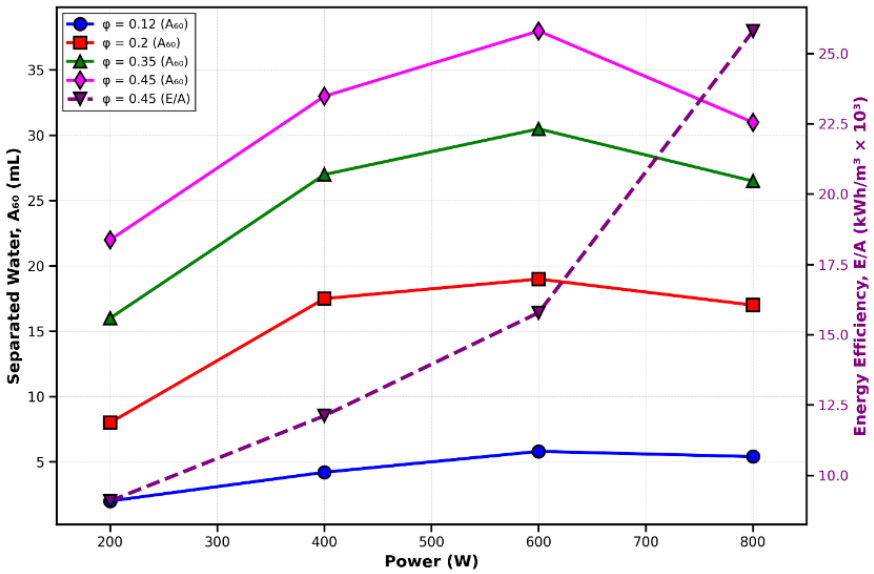


Fig. 6. Temporal heating rate (dT/dt) of water and oil under microwave irradiation, where water exhibits near-linear heating behavior and oil displays distinct thermal response zones.

Fig. 6. compares separated water volume and energy efficiency across the applied microwave power range. For every composition, separation increases with power up to an intermediate level and then either stabilizes or declines. This behavior shows that structural destabilization is not unlimited; it occurs only within a defined power interval.
At low water fractions (φ = 0.12 and 0.20), separation remains modest throughout the entire range. Even with increasing energy input, the structural response is weak, suggesting that limited phase connectivity restricts the ability of microwave excitation to promote effective coalescence.
For φ = 0.35, the response becomes much stronger. Separation improves steadily and reaches a maximum at 600 W, but decreases at 800 W. This decline indicates that excessive activation begins to alter the structural balance, where intensified molecular motion and partial re-dispersion reduce net separation.
The φ = 0.45 system shows the highest absolute separation, again peaking at 600 W. However, beyond this point, separation decreases despite a continued rise in specific energy efficiency (E/A). This divergence suggests that rapid energy processing does not necessarily preserve structural contrast. At high power, the system shifts toward a highly mobile state in which additional energy contributes more to bulk motion than to phase disengagement.
The opposite trends of A_{60} and E/A at elevated power reflect a trade-off between structural control and energy throughput. While higher power accelerates energy transfer, it simultaneously promotes homogenization, reducing effective separation.
These results indicate that microwave-driven phase evolution is controlled by competing kinetic processes. Effective operation is achieved only within a limited power range where energy input and interfacial

relaxation remain balanced. Outside this range, further increases in power favor mobility and partial homogenization rather than sustained phase differentiation.

Conclusion

Microwave irradiation effectively destabilizes water-in-oil emulsions, but separation efficiency shows a non-monotonic dependence on microwave power. Maximum demulsification occurs at intermediate power levels (about 400–600 W), while excessive energy input promotes molecular mobility and partial re-dispersion, reducing separation efficiency. The results demonstrate that microwave-assisted phase separation is governed mainly by kinetic factors related to interfacial polarization and structural relaxation rather than temperature alone. An optimal operating window exists in which energy input and relaxation dynamics remain balanced, enabling efficient separation with lower energy consumption. These findings confirm that microwave demulsification should be considered a kinetically controlled non-equilibrium process important for developing energy-efficient industrial separation technologies

REFERENCES

[28] Zolfaghari R., Fakhru'l-Razi A., Abdullah L.C., Elnashaie S.S.E.H., Pendashteh A. "Demulsification techniques in petroleum industry." *Separation and Purification Technology*, 2016, 170, pp. 377–407. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.06.026

[29] Santos D., Rocha E.C.L., Santos R.L.M., Cancelas A.J., Franceschi E., Santos A.F., Fortuny M., Dariva C. "Microwave demulsification of crude oil emulsions." *Separation and Purification Technology*, 2017, 189, pp. 347–356. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.08.028

[30] Xu L., Song Z., Yu J., Su Y., Zhao X., Sun J., Mao Y., Wang W. "Microwave demulsification of refinery oily sludge." *Fuel*, 2020, 279, pp.118417. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118417

[31] Ji K., Tian Y., Jiang J., Yan X., Tian J., Yang J., He Z., Lu X. "Molecular dynamics study of microwave demulsification." *Fuel*, 2025, 386, pp.134247. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.134247

[32] Assenheimer T., Barros A., Kashefi K., Pinto J.C., Tavares F.W., Nele M. "Evaluation of microwave and conventional heating for electrostatic treatment of water-in-oil model emulsions." *Energy & Fuels*, 2017, 31, pp.6587–6597. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b00275

[33] Adeyemi I., Meribout M., Khezzar L., Kharoua N., AlHammadi K. "Techno-economic comparative assessment of ultrasound, electrostatic and microwave supported coalescence of water droplets in crude oil." *Ultrasonics Sonochemistry*, 2023, 95, pp.106402. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106402

[34] Cerino C., Roussel H., Estel L., Charton S., Polaert I. "Microwave enhanced demulsification of extraction emulsions." *Chemical Engineering Research and Design*, 2024, 207, pp.331–344. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2024.06.010

[35] He X., Liu Q., Xu Z. "Cellulose-coated magnetic nanoparticles for crude oil dewatering." *Chemical Engineering Science*, 2021, 230, pp.116215. https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.116215

[36] Sadighian H., Mohamadnia Z., Ahmadi E. "Eco-friendly ionic liquid demulsifiers for crude oil emulsions." *Langmuir*, 2023, 39, pp.9627–9637. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.3c00564

[37] Binner E.R., Robinson J.P., Silvester S.A., Kingman S.W., Lester E.H. "Mechanisms of microwave heating for separation of water-in-oil emulsions." *Fuel*, 2014, 116, pp.516–521. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.08.042

SIMPLE SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION METHOD FOR SILVER ION IN WATER SAMPLES

Polad Mammadov
Department of Analytical chemstry of Baku State University
Baku, Azerbaijan
poladazer@gmail.com

Abstract: A simple, highly selective, and non-extractive spectrophotometric method has been developed for the determination of trace levels of silver(I) ions. A new analytical reagent- 4-[(E)-2-[4-(4-aminophenyl)phenyl]diazen-1-yl]benzene-1,2,3-triol (R), was proposed for the direct spectrophotometric determination of Ag(I) in aqueous medium. In solution, the reagent reacts rapidly with silver(I) to form a stable, brown-colored chelate complex with a stoichiometric ratio of 1:2 (Ag:R). The complex exhibits a maximum absorption at 490 nm and remains stable for at least 24 h under the experimental conditions. The molar absorptivity and Sandell's sensitivity were determined to be 1.3×10^4 L mol^{-1} cm^{-1} and 8.0 μg cm^{-2}, respectively. A linear calibration range was established over 0.26–75 μg mL^{-1} for Ag(I). The method demonstrates excellent selectivity, as no significant interference was observed from more than 35 coexisting cations, anions, and complexing agents, even in large excess. The proposed procedure was successfully applied to the determination of silver(I) in synthetic mixtures, beverage samples, and tap water, yielding satisfactory accuracy and precision ($S = \pm 0.01$ at 0.5 μg mL^{-1}).

Keywords: silver(I), 4-[(E)-2-[4-(4-aminophenyl)phenyl]diazen-1-yl]benzene-1,2,3-triol, spectrophotometric, determination

Introduction

Silver is an element known since ancient times and has always played a significant role in human life. High chemical stability, valuable physical properties, and an attractive appearance have made silver an indispensable material for the manufacture of coinage, tableware, and jewelry. Silver alloys are used in various fields of technology: as catalysts, for electrical contacts, and as solders. The bactericidal action of silver is widely used in sanitation and medicine. The ability of some silver compounds to be easily reduced upon exposure to light and to produce a latent image on a photographic plate forms the basis of photography[1].

The wide application of silver and its compounds has long stimulated the development and improvement of methods for the qualitative detection and quantitative determination of this element in natural and wastewater samples. Although many sophisticated analytical methods, such as Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) [1–2], Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) [3–4], Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS) [5-6] and (extraction and sorption) spectrometric combined methods [7-8].

Factors such as the low cost of the instrument, easy handling, portable, lack of any requirement for consumables and almost no maintenance, have caused spectrophotometry to remain a popular technique, particularly in laboratories with limited budgets. The azocompounds on the base of pyroghallol had widely been applied for the determination of noble metal ions, this type of reagent has higher sensitivity and high selectivity [9-12]. In this work, a color reaction of reagent 4-[(E)-2-(4-aminophenyl)phenyl]diazen-1-yl]benzene-1,2,3-triol with Ag(I) in the presence of the cationic surfactant was carefully studied. The aim of the present study is to develop a simpler direct spectrophotometric method for the trace determination of silver(I) with an azo compound based on pyrogallol – 4-[(E)-2-[4-(4-aminophenyl)phenyl]diazen-1-yl]benzene-1,2,3-triol (R) in aqueous solutions. The method described here has recorded for the first time the non-extractive direct spectrophotometric determination of silver(I) in aqueous media without the recourse of any "clean-up" step. This method is low cost of analysis, far more selective, non-extractive, simple and rapid than all of the existing methods.

Results and discussions

Absorption spectra

The absorption spectra of greenish yellow color of the silver – R system in presence of pH 8 solution were recorded using a spectrophotometer. The absorption spectra of the silver – R is a symmetric curve with maximum absorbance at 490 nm and an average molar absorptivity of 1.3×10^4 l mol^{-1} cm^{-1}. The reagent blank having maximum absorbance wavelength at 430 nm. In all instances, measurements were made at

490 nm against a corresponding reagent blank. The reaction mechanism of the present method is as reported earlier.

Effect of acidity

Of the various pH 0-10 of the solution studied, pH 7-9 was found to be the optimal for the silver - Rsystem. The maximum and constant absorbance of the silver – R system was obtained in the presence of pH 8 at room temperature $(25\pm5)^0$C. The absorbance of the reagent solution and the silver - Rsystem depends on the medium pH; therefore, the absorption spectra are studied relative to a blank experiment (R).

Effect of time

The reaction is fast. Constant maximum absorbance was obtained just after 5 min of the dilution to volume at room temperature (25 ±5oC), and remained strictly unaltered for 24 h.

Effect of temperature

The absorbance at different temperatures, 0–80°C, of a 25 ml solution of silver - R was measured according to the standard procedure. The absorbance was found to be strictly unaltered throughout the temperature range of 10–40°C. Therefore, all measurements were performed at room temperature (25 ±5°C).

Effect of the reagent concentration

Different molar excesses of Rwere added to a fixed metal-ion concentration and the absorbance was measured according to the standard procedure. It was observed that a 1 mkg ml^{-1} of silver metal (optical path length 1 cm), the reagent molar ratios of 1:10 to 1:50 produced a constant absorbance of Ag – R system. A greater excess of the reagent was not studied. For all subsequent measurements, 2 ml of 2×10^{-4} M Rreagent was added.

Stoichiometry. The component ratio in the complexes was found using the isomolar series method, the relative yield method by Starik and Barbanel', and the equilibrium shift method. All the methods showed that the component ratio was 1: 2 in the the silver – R system. The number of protons displaced upon complexation was determined by the Astakhov method, and the indicated component ratio in the complexes was confirmed.

Analytical performance of the method

Calibration curve

The effect of silver(I) concentration was studied over 0.01–100 mkg l^{-1}, distributed in four different sets (0.01–0.1, 0.1–1, 1–10, 10–100 mkg l^{-1}) for convenience of the measurement. The absorbance was linear for 0.26–75 μg mL^{-1} of silver(I) in aqueous media. From the slope of the calibration graph, the average molar absorption coefficient was found to be 2.3×10^4 l mol^{-1} cm^{-1} in aqueous media. Of the four calibration graphs, the one showing the limit of the linearity range and the selected analytical parameters obtained with the optimization experiments are summarized in Table 1.

Table 1. Selected analytical parameters obtained by optimization experiments.

Parameters	Studied range	Selected value
Wavelength / λmax (nm)	200-800	490
pH	0 - 11	8
Time / h	1 - 24h	5 - 10 min
Temperature / °C	0 - 80 °C	25 ± 5 °C
Molar absorption coefficient / l mol^{-1} cm^{-1}	1.5×10^4- 5.8×10^4	1.3×10^4
Linear range/mkg l^{-1}	0.001-100	0.1-30
Detection limit /mkg l^{-1}	0.01-100	0.01
Sandell's sensitivity /mkg cm^{-2}	0.1 - 10	5
Relative Standard	-	0 -2
Regression Co-efficient	-	0.999

Effect of foreign ions

The effect of over 30 cations, anions and complexing agents on the determination of only 1 μg $mL^{-1}$of silver was studied. The criterion for interference was an absorbance value varying by more than 5% from the expected value for silver(I) alone.

Precision and accuracy

The precision of the present method was evaluated by determining different concentrations of silver(I) (each analyzed at least five times). The relative standard deviation (n = 5) was 2%–0%, for 0.26–0.75 μg $mL^{-1}$of Ag(I), indicating that this method is highly precise and reproducible. The detection limit (3s of the blank) and Sandell's sensitivity (concentration for 0.001 absorbance unit) for Ag(I) were found to be 1 μg mL^{-1}, 5 mkg cm^{-2}, respectively. The reliability of our Ag-chelate procedure was tested by recovery studies. Regression analysis of Beer's law plots at 490 nm revealed a good correlation (R_2 = 0.999).. The results for silver recovery were in good agreement with added values . The average percentage recovery obtained for the addition of silver spike to some oil water samples were quantitative, as shown in (Table 3). Hence, the precision and accuracy of the method were found to be excellent.

Applications

The present method was successfully applied to the determination of silver in series of synthetic mixtures of various compositions and also in a number of water samples.

Determination of silver(I) in synthetic mixtures

Several synthetic mixtures of varying compositions containing silver(I)(II) and diverse ions of known concentrations were determined by the present method using EDTA as a masking agent and the results were found to be highly reproducible. The results are shown in Table 2. The accurate recoveries were achieved in all solutions.

Table 2. Determination of silver(I) in synthetic mixtures.

	Composition of mixture (mkq/ml)	Siver(I) (mkq/ml)		Recovery ± s^b (%)
		Added	Found	
A	Ag^+	15 20	15.2 20.4	102 ± 0.3 104 ± 0.2
B	As in D +Cu^{2+}(25) +Na^+(25)	15 20	14.9 10.2	98 ± 0.2 102 ± 0.1
C	As in A + Ca^{2+} (25)+Fe^{3+}(25)	15 20	15.1 20.2	101 ± 0.2 102 ± 0.2
D	As in B +Sr^{2+} (25)+Co^{3+} (25)	15 20	14.8 19.8	97 ± 0.3 98 ± 0.2
E	As in C +Cr3+(25)+ Ba2+ (25)	15 20	15.2 20.3	102 ± 0.4 103 ± 0.2

Determination of silver(I) in drink and tap water samples

Each drink and tap water samples (1000 ml) was mixed with 10 ml of concentrated HNO_3 and 2ml of concentrated H_2SO_4 in a 2000 ml distillation flask. The sample was digested in the presence of an excess potassium permanganate solution following a method recommended by Greenberg method. The solution was then cooled and neutralized with dilute NH_4OH solution. The resulting solution was then filtered and quantitatively transferred into 50 ml calibrated flask and made up to the mark with deionized water. An aliquot (1-2 ml) of this solution preconcentrated drink water was pipetted into a 25 ml calibrated flask and the silver(I) content was determined as described under the general procedure using EDTA or tartrate as a masking agent. Analyzed drink and tap water samples were taken from markets of Baku city and Baku State University (BSU), respectively. The results of analyses of environmental water samples from various sources for silver(I) are given in Table 3.

Table 3 . Determination of silver(I) in some drink water samples.

Sample	Siver(I) (mkq/ml)		Recovery ± s (%)	Sr (%)
	Added	Found		
Badamli	10 15 20 30	10.3 16 22 34	103 ± 0.2 101± 0.2 102 ± 0.3 104 ± 0.2	0.16 0.29 0.33 0.17

Sirab	10 15 20 30	9.9 16 25 33	98 ± 0.2 101 ± 0.2 105 ± 0.2 103 ± 0.2	0.22 0.18 0.25 0.28
BonAqua	10 15 20 30	10.2 17 18 28	102 ± 0.4 102 ± 0.2 97 ± 0.3 98 ± 0.2	0.15 0.18 0.20 0.28
Tap water (BSU)	10 15 20 30	9.7 17 21 32	97 ± 0.3 102 ± 0.2 101 ± 0.2 102 ± 0.2	

Conclusion

In the present work was developed a simple, selective non-extractive and inexpensive method for the determination of silver(I) in water samples. This method was successfully applied to the monitoring of trace amounts of silver(I) in water samples. Therefore, this method may be use for monitoring to establish trace level of silver(I) in difficult matrices water samples.

REFERENCES

[38] L. Wang, Y. Zhang, and H. Chen, "Determination of trace silver in environmental samples by ICP-MS after microextraction," Analytica Chimica Acta, Jun. 2014, vol. 789, pp. 45–52.

[39] L. Chen and Q. Wang, "Highly sensitive determination of Ag(I) by ICP-MS," Talanta, 2022, vol. 240, pp. 123–130.

[40] V. A. Lemos and J. S. Santos, "Cloud point extraction for silver determination by ICP-OES," Microchimica Acta, 2016, vol. 183, pp. 101–108.

[41] Y. Li and B. Hu, "ICP-OES determination of trace silver in waters," Analytical Methods, 2018, vol. 10, pp. 221–228.

[42] M. Soylak and M. Tuzen, "Solid phase extraction of silver prior to FAAS determination," Microchemical Journal, 2015, vol. 118, pp. 200–206.

[43] V. Yilmaz and S. Kartal, "Cloud point extraction and FAAS determination of Ag(I)," Microchemical Journal, 2020, vol. 155, pp. 104–110.

[44] H. Sereshti and M. Karimi, "Dispersive liquid–liquid microextraction of silver ions in environmental samples," Analytica Chimica Acta, 2012, vol. 712, pp. 57–63.

[45] A. Beiraghi and M. Shamsipur, "Selective extraction of Ag(I) using functionalized sorbents," Talanta, 2014, vol. 119, pp. 437–443.

[46] P. R. Mammadov, "New simple and rapid spectrophotometric methods for the determination of trace level gold(III)," Azerbaijan Chemical Journal, 2020, vol. 1, pp. 20–25.

[47] P. R. Mammadov, N. T. Afandiyeva, F. M. Chiragov, and A. R. Guliyeva, "Simple and rapid spectrophotometric determination method for trace level of silver(I)," New Materials, Compounds and Applications, 2018, vol. 2, no. 2, pp. 123–131.

[48] P. R. Mammadov, "Simple spectrophotometric method for the determination of silver(I)," Journal of Baku Engineering University – Chemistry and Biology, 2020, vol. 4, no. 1, pp. 9–16.

[49] P. R. Mammadov, "Spectrophotometric method for copper(II) determination," Journal of Baku Engineering University – Chemistry and Biology, 2021, vol. 5, no. 2, pp. 123–131.

$NaNO_2$ IŞTIRAKI ILƏ 1-TETRADESENIN NITROLAŞMASI NƏTICƏSINDƏ C_{14} ALIFATIK NITROBIRLƏŞMƏNIN ALINMASI VƏ SPEKTRAL ÜSULLARLA ÖYRƏNILMƏSI

Əmrah Əzizli
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
Baku, Azerbaijan
emazahov@gmail.com

Sara Abbaszadə
Elm və Təhsil Nazirliyinin akademik Y.H.Məmmədəliyev adına Neft-Kimya Prosesləri Institutu
Baku, Azerbaijan
sara.abbaszade578@gmail.com
0009-0009-9344-7496

Rufanə Əlizadə
Elm və Təhsil Nazirliyinin akademik Y.H.Məmmədəliyev adına Neft-Kimya Prosesləri Institutu
Baku, Azerbaijan
rufana.alizada93@gmail.com
0009-000-3400-5381

Xəyalə Abbasova
Elm və Təhsil Nazirliyinin akademik Y.H.Məmmədəliyev adına Neft-Kimya Prosesləri Institutu
Baku, Azerbaijan
vusal-abbasov-79@mail.ru

Xülasə: Azotlu üzvi birləşmələr neft-kimya sintezində reagent və sənayenin müxtəlif sahələrində komponent, aşqar və funksional əlavə kimi geniş tətbiq olunur. Bu işdə xammal kimi α-olefin 1-tetradesen ($C_{14}H_{28}$) seçilərək 57–63% nitrat turşusu (HNO_3) mühitində, $NaNO_2$-nin inisiator iştirakı ilə nitralaşma prosesi aparılmışdır. Prosesin əsas texnoloji amilləri kimi temperatur (60–80 °C) və reaksiya qarışığının kontakt müddəti (30–240 dəqiqə) sistemli şəkildə nəzərdən keçirilmiş, optimal kontakt müddətinin 180 dəqiqə olduğu qəbul edilmişdir. Alınmış nitrotörəmənin molekulyar quruluşu ^1H NMR və İQ spektrləri əsasında təsdiqlənmiş.
Açar sözlər: *1-tetradesen, nitrolaşma, alifatik nitrotörəmə.*

Giriş

Azotlu üzvi birləşmələr neft kimya sintezində reagent, sənayenin müxtəlif sahələrində komponent, aşqar, bərkidici və s. kimi istifadə olunurlar. Bu məqsədlə onların müxtəlif xammallar əsasında sintez üsulları işlənib hazırlanmışdır. Azotlu üzvi birləşmələrdən aminlər, nitrobirləşmələr, imidazollar, imidazolinlər və s. böyük sənaye əhəmiyyəti kəsb edir.

Azotlu üzvi birləşmələrin sintezi və korroziya inhibitoru kimi tədqiqi sahəsində Azərbaycan alimləri də geniş tədqiqat işləri aparmış və üzvi aminlər, nitrobirləşmələr, onların törəmələri və kompozisiyaları əsasında yüksək keyfiyyətli, çoxfunksiyalı korroziya inhibitorları yaratmışlar [1,2].

Biz görəcəyimiz tədqiqat işində qarşıya qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün maye kauçuk, təbii neft turşularının polietilen poliaminlərlə (PEPA, DETA, TETA) qarşılıqlı təsirindən alınmış imidazolinlər və nitrotörəmələrin ($C_{14}H_{28}$ əsaslı) iştirakı ilə kompozisiyaların hazırlanması nəzərdə tutmuşuq.

İlk öncə tədqiqat işində nitrolaşma reaksiyasını aparmaq üçün xammal olaraq α-olefin 1 -tetradesen istifadə etmişik.

Nitrolaşma prosesində α-olefin karbohidrogenlərinin nitrat turşusu ilə qarşılıqlı təsirinin sürəti müxtəlif amillərdən o cümlədən, temperaturdan, reaksiya qarışığının kontakt müddətindən, götürülmüş reagentlərin mol nisbətindən, reaksiya qarışığının qarışma sürətindən və s. asılıdır. [3,4]

Termometr, qarışdırıcı və əks soyuducu ilə təchiz olunmuş, 3 boğazlı kolbaya, hesablanmış miqdarda 57-63%-li nitrat turşusu əlavə olunur. İnisiator kimi turşuya 0,1 mol natrium nitrit əlavə olunur və 60 ºC temperatura qədər qızdırılır. Daha sonra müəyyən zaman müddətində, reaksiya mühitinə uyğun α-olefin damcı qıfı ilə əlavə olunur. Bununla yanaşı reaksiyanın temperatur rejiminə ciddi əməl olunur. Təcrübələr reagentlərin müəyyən kontakt sürətinə əməl olunmaqla aparılmışdır.

Nitrolaşma prosesinin sürətinə təsir edən ən başlıca amillərdən biri temperatur və kontakt müddətidir. Temperatur rejimi 60-80ºC intervalında saxlanılmışdır, belə ki, 60 ºC-dən aşağıda reaksiya çox zəif, lakin 80 ºC-dən yuxarıda isə çox sürətlə gedir və reaksiyanın istiliyini kənarlaşdırmaq çətinləşir. Reaksiyanın kontakt müddəti 30–240 dəqiqə arasında dəyişir. Reaksiyanın optimal müddəti maksimum 180 dəqiqə hesab olunur.

Nitrolaşma reaksiyasında nitrolaşdırıcı agent rolunu əsasən NO_2 oynayır. Reaksiyanın başlaması üçün əvvəlcə soyuq halda $NaNO_2$ ilə qatı 57-63%-li nitrat turşusu qarşılıqlı təsirdə olur. Olefinlərin nitrat turşusu və azot oksidləri ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində müxtəlif quruluşlu nitrotörəmələr alınır. Bu da nitrolaşdırıcı

agentlərin reaksiya qabiliyyətlərinin polivariantlılığı ilə əlaqədardır. Qatı 57-63%-li nitrat turşusu ilə nitrolaşma reaksiyası aşağıdakı sxem üzrə gedir:

$$4HNO_3 \longrightarrow 4NO_2 + 2H_2O + O_2$$

$$2\,R{-}CH{=}CH_2 + 4HNO_3 \xrightarrow{NaNO_2} 2\,R{-}\underset{\displaystyle NO_2}{CH}{-}\underset{\displaystyle NO_2}{CH_2} + 2H_2O + O_2$$

$$R{-}CH{=}CH_2 + 2HNO_3 \xrightarrow{NaNO_2} R{-}\underset{\displaystyle ONO_2}{CH}{-}\underset{\displaystyle NO_2}{CH_2} + H_2O$$

$$R{-}CH{=}CH_2 + HNO_3 \xrightarrow{NaNO_2} R{-}\underset{\displaystyle OH}{CH}{-}\underset{\displaystyle NO_2}{CH_2}$$

Təcrubi hissə

Alifatik əsaslı nitrobirləşmənin sintezi üçün istifadə edilən 1-tetradesenin ($C_{14}H_{28}$) tərkibini xarakterizə edən keyfiyyət göstəriciləri aşağıda göstərilmişdir:

Şüasındırma əmsalı, n_D^{20} – 1,4320

Sıxlıq, ρ_4^{20}, kq/m^3 – 7650

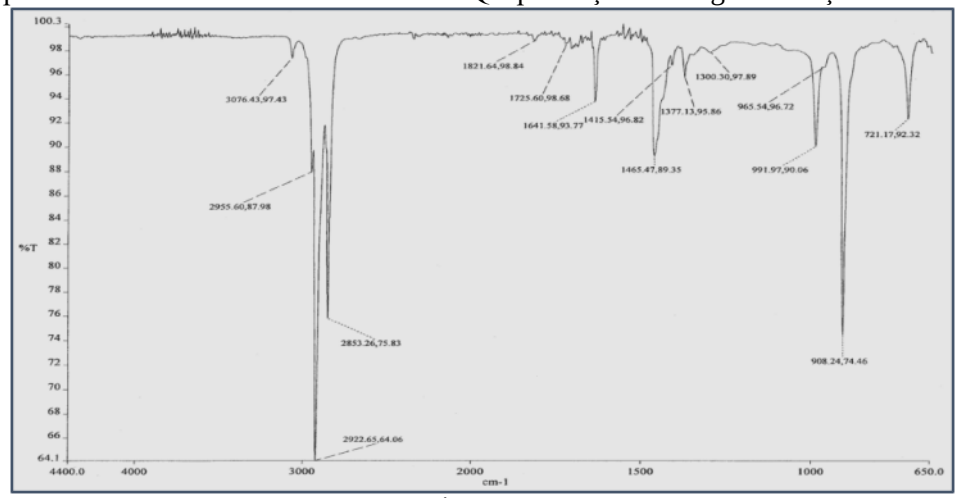
nisbi molekul kütləsi, Mr – 170,5

yod ədədi, 1q J_2 / 100q – 129,8

doymamış karbohidrogenlər – 87,8%(kütlə)

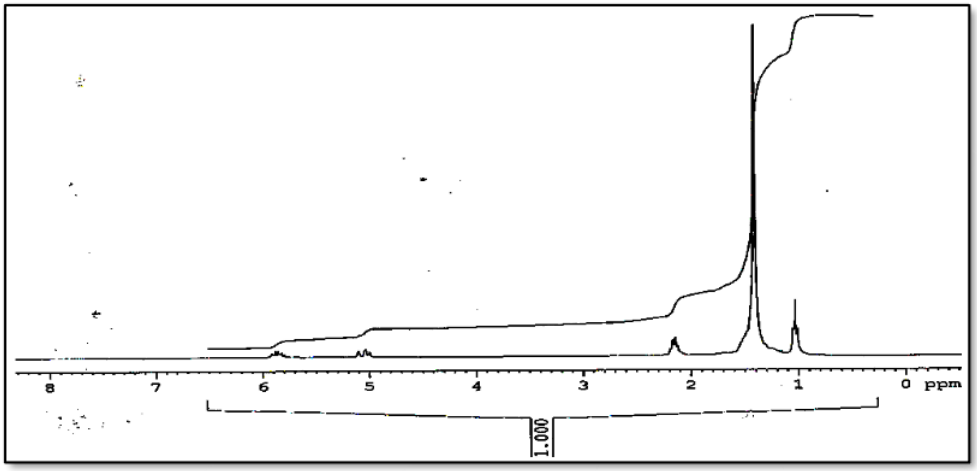
donma temperaturu– 25°C

Konservasiya mayeləri üçün tərkibin əsas komponentlərindən alifatik əsaslı nitrobirləşmənin sintezi üçün nitrolaşma prosesində istifadə edilən 1-tetradesenin İQ- spektri Şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Sintez üçün istifadə edilən 1-tetradesenin İQ spektri.

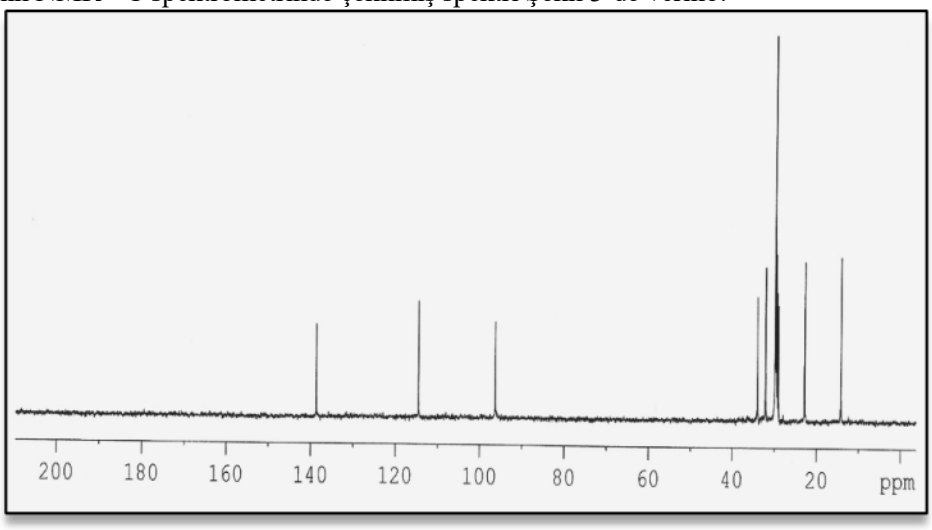
1-Tetradesenin İQ-spektrində CH_2 qrupuna aid olan udma zolaqları 721sm^{-1} (riyazi rəqslər), 908 sm^{-1}, 992 sm^{-1} və 1465 sm^{-1}-də (deformasiya rəqsləri), CH_3-qrupuna aid olan deformasiya rəqsləri isə 1465 sm^{-1}-də qeydə alınmışdır. CH_3- və CH_2-qruplarının varlığını təsdiq edən valent rəqslərinə uyğun udma maksimumları isə 2853 sm^{-1} və 2923 sm^{-1}-də müşahidə olunur. İQ-spektrində 3076 sm^{-1}-də qeydə alınan udma zolağı CH-qrupunun varlığını sübut edir. C=C əlaqəsinin valent rəqslərinə aid udma zolağının maksimumu 1641,58 sm^{-1}-dir. Bu, molekulun sonunda $CH{=}CH_2$ rabitəsinin mövcud olduğunu təsdiq edir.



Şəkil 2. Tetradesen-1-in NMR - ^{1}H spektrometrində çəkilmiş spektri

1-Tetradesenin NMR-^{1}H spektrində müxtəlif struktur fraqmentlərə uyğun rezonans siqnallar müşahidə olunur: maqnit sahəsinin δ = 1,0 və 1,4 m.h. qiymətlərində alkil zəncirin doymuş CH_3 və CH_2 qruplarına məxsus udma zolaqları, Bundan əlavə spektrin δ = 1,0 – 1,55 m.h. sahəsində 1-tetradesenin strukturlarına məxsus siqnallar və δ = 2,2 m.h. qiymətində ikiqat rabitə ilə əlaqədə olan CH_2 qrupunun udma zolağı da müşahidə olunur.

1-Tetradesenin NMR ^{13}C spektrometrində çəkilmiş spektri Şəkil 3-də verilib:



Şəkil 3. Tetradesen-1-in NMR ^{13}C spektrometrində çəkilmiş spektri

1-Tetradesenin NMR ^{13}C spektrometrində çəkilmiş spektrində

δ = 14 m.h. – də CH_3 qrupunun, δ = 23,0 – 34,0 m.h. sahəsində parafin zəncirinin CH_2 və CH fraqmentlərinə məxsus siqnallar qeydə alınmışdır.

Nitrolaşmadan sonra alınan 1-tetradesen əsaslı nitrotörəmənin bəzi fiziki-kimyəvi xassələri aşağıda göstərilmişdir:

Orta molekul kütləsi 296,7

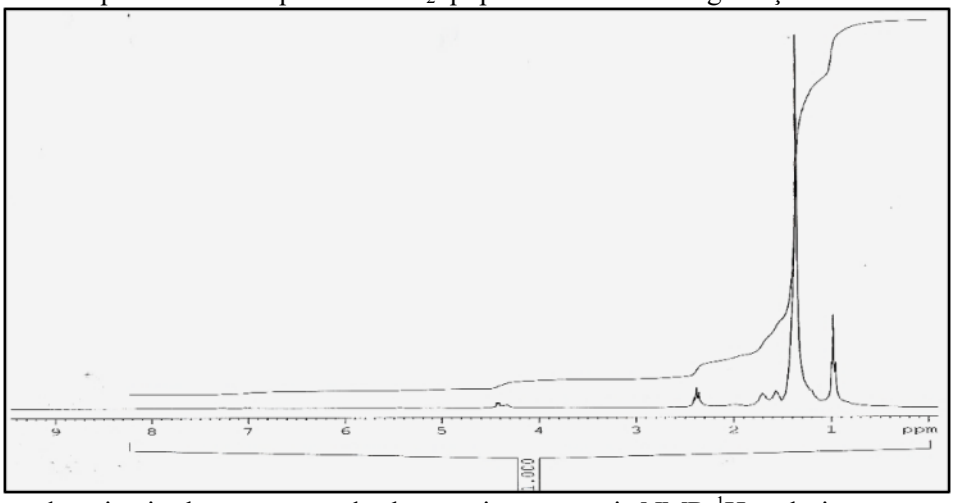
Sıxlıq, 20˚-də kq/m^3 0,9800

Şüasındırma əmsalı, n_D^{20} 1,4580

Yod ədədi, qJ_2/100q 0

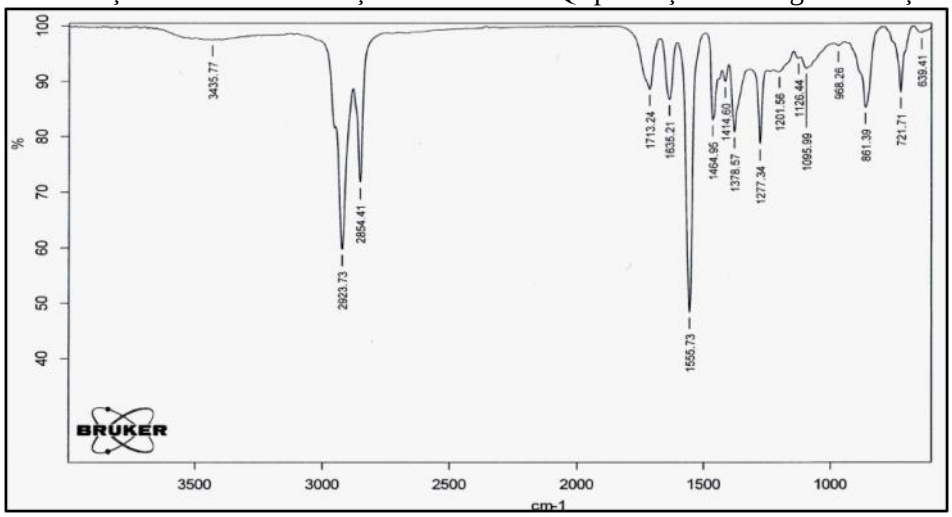
1-Tetradesen əsasında sintez olunmuş nitrotörəmənin NMR-^{1}H spektrində müxtəlif struktur fraqmentlərə uyğun rezonans siqnallar müşahidə olunur: maqnit sahəsinin δ = 1,0 və 1,4 m.h. qiymətlərində alkil zəncirin doymuş -CH_3 və -CH_2- qruplarına məxsus udma zolaqları, δ = 4,4 və 5,2 m.h. qiymətlərində isə -OH və -NO_2 ilə əlaqədə olan –CH–CH_2 karbohidrogenlərinin multiplet siqnalları identifikasiya olunaraq qeydə alınmışdır.

Bundan əlavə spektrin δ = 1,55 – 1,80 m.h. oblastında tetradesen strukturlarına məxsus siqnallar və δ = 2,5 m.h. qiymətində ikiqat rabitə ilə əlaqədə olan CH_2 qrupunun da udma zolağı müşahidə olunur.



Şəkil 4. 1-tetradesenin nitrolaşması əsasında alınmış nitrotörəmənin NMR-^{1}H spektri.

1-tetradesenin nitrolaşması əsasında alınmış nitrotörəmənin İQ spektri şəkil 5- də göstərilmişdir:



Şəkil 5.1-tetradesenin nitrolaşması əsasında alınmış nitrotörəmənin İQ- spektri.

Sintez olunmuş nitrobirləşmələrin analizi spektrofotometrdə aşağıdakı dalğa uzunluğuna malik spektrlərlə təsvir olunmuşdur:

$(CH_2)_{n\geq6}$-da 721.57 sm^{-1}-də C-H rəqsi;

metilen qrupunun C-H rabitəsinin deformasiya (1462.71 sm^{-1}) və valent (2923.73 sm^{-1}) rəqsi;

metil qrupunun C-H rabitəsinin deformasiya (1377. 15 sm^{-1}) və valent (2853.30 sm^{-1}) rəqsi;

ikili spirtin OH qrupunun deformasiya rəqsi (1105.48 sm^{-1});

C-N əlaqəsinin valent rəqsi (855.79, 938.10 sm^{-1});

O-NO_2 qrupunun deformasiya rəqsi (1277.50, 1629.57 sm^{-1});

NO_2 qrupunun deformasiya (1352.43, 1555.30 sm^{-1}) rəqsləri.

Nəticə.

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində 1-tetradesenin $NaNO_2$ iştirakı ilə 57–63%-li HNO_3 mühitində nitrolaşması yolu ilə C_{14} alifatik nitrobirləşmə sintez olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, prosesin optimal şəraiti 60–80 °C temperatur intervalı və 180 dəqiqə kontakt müddətidir.

İQ və ^{1}H NMR spektral analizləri nəticəsində alınmış məhsulun quruluşu təsdiq edilmiş, molekulda nitro qruplarının mövcudluğu və ilkin olefin rabitəsinin sərf olunması müəyyən edilmişdir. Yod ədədinin sıfıra yaxınlaşması reaksiyanın tam getdiyini göstərmişdir.

Alınmış alifatik nitrobirləşmə gələcək tədqiqatlarda korroziya inhibitoru və konservasiya mayelərinin tərkibində funksional komponent kimi istifadə üçün perspektivli hesab edilə bilər.

Ədəbiyyat

[1] Abbasov, V.M., Həsənov, E.K., Ağazadə, Y.C.Təbii neft turşularının duzları və amidoaminlər əsasında yaradılmış konservasiya mayelərinin tədqiqi // H.Əliyevin anadan olmasının 91-ci ildönümünə həsr olunmuş "Müasir biologiya və kimyanın aktual problemləri" elmi konfransı,– Gəncə:12-13may, 2014,–s.101-105.
[2] Abbasov, V.M. C_{16}-C_{18} α-olefin əsasında sintez olunmuş nitrobirləşmənin təbii neft turşusunun duzları ilə konservasiya mayesi kimi tədqiqi /V.M.Abbasov, Y.C.Ağazadə, E.K. Həsənov [və b.] // Gənc alimlərin əsərləri, – Bakı: – 2013. №8, – s.69-74.
[3] Abbasov, V.; Abbaszade,S.; Ismailov,T.; Tahirova,F.; Aliyev, T.; Abbasova, Kh.
Nitration behavior of aromatic and olefin-enriched coking light fraction with ionic
catalytic systems, Turan-fundamental sciences symposium, 2025, pp.154.
[4] Abbaszade, S.M. Research of the possibility of developing conservative liquids based on nitrolated oil distillates, Processes of Petrochemistry and Oil Refining, 2023, Vol. 24, No. 3, pp. 473-478.

PVS/NiCr-LİH/PbS NANOKOMPOZİTİNİN DİELEKTRİK SABİTİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

Xəzəngül İbrahimova
Kimya fakültəsi, Bakı Dövlət Universiteti, Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Baku, Azərbaycan
0000-0002-9990-9059
khazangul.ibrahimova1994@mail.ru

Abdülsəyid Əzizov
Kimya fakültəsi, Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan
0009-0005-5051-7774

Ofeliya Balayeva
Kimya fakültəsi, Bakı Dövlət Universiteti
Bakı, Azərbaycan
0000-0003-4403-6948

Xülasə: Təqdim olunan işdə sonokimyəvi üsul ilə polivinil spirti (PVS) əsaslı nikel-xrom əsaslı laylı ikili hidroksid (NiCr-LİH) nanokompoziti sintezi və ardıcıl ion təbəqə adsorbsiyası və reaksiya metodu (SİLAR) ilə PbS tərkibli nanokompozitinin sintez üsulundan və dielektrik sabitinin tədqiq edilməsindən bəhs olunur. Alınmış PVS/NiCr-LİH/PbS nanokompozit təbəqəsinin dielektrik xüsusiyyətləri 20–100 °C temperatur intervalında və 120 Hz–10 MHz tezlik diapazonunda tədqiq edilmişdir. Nanokompozitin dielektrik sabitinin həqiqi (ε') və xəyali hissələri (ε") ölçülərək qrafik təsvirləri və Cole-cole diaqramları verilmişdir. Aşağı tezliklərdə nanokompozitin dielektrik sabiti dispersiya göstərmişdir. Lakin, 100 kHz-dən yuxarı tezliklərdə demək olar ki, tezlikdən asılı olmayan sabit davranış müşahidə olunmuşdur. Tezliyin artması ilə dielektrik sabitinin real hissəsi elektrik relaksasiya prosesi baş verdiyindən zəifləyir.
Açar sözlər: *laylı ikili hidroksid, polimer nanokompozit, sonokimyəvi sintez, dielektrik xassəsi*

Son illərdə polivinil spirti əsaslı müxtəlif nanokompozitlərin sintezində və onların optik, istilik, elektrik və maqnit xüsusiyyətlərini müəyyən edən müxtəlif parametrlərin tədqiqində mühim irəliləyişlər əldə edilmişdir [1]. PVS və laylı ikili hidroksidlərdən ibarət olan kompozitlərin yeni xüsusiyyətlər nümayiş etdirdiyi aşkar edilmişdir ki, bu da molekulyar səviyyədə iki fərqli kimyəvi komponentin birləşməsi ilə müşahidə edilə bilər [2,3].
PbS nanohissəciklərini sintez etmək əsasən vakuum çökdürmə, elektrokimyəvi çökdürmə, kimyəvi vanna çökdürmə (KVÇ), impulslu lazer çökdürmə, sonokimyəvi, sprey pirolizi və ardıcıl ion təbəqə adsorbsiyası və reaksiya metodu (SİLAR) üsullarından istifadə olunur [4]. İşıq saçan cihazlar, fotodiodlar, fotovoltaik günəş batareyaları və qaz sensorları kimi nanokompozit əsaslı cihazlar, əsasən yumşaq litoqrafiya,

laminasiya, spin-örtükləmə və ya məhlul tökmə və batırma örtükləmə texnikaları kimi kimyəvi metodlardan istifadə etməklə hazırlanmışdır [5].

Təqdim olunan işdə sonokimyəvi və ardıcıl ion təbəqə adsorbsiyası və reaksiya metodları ilə PVS/NiCr-LİH nanokompoziti sintez olunmuşdur. Alınmış nanokompozit təbəqələri fiziki tədqiqat üsulları ilə analiz olunaraq quruluş xüsusiyyətləri, optik xassələri, morfoloji quruluşu, maqnit və elekrtrik xassələri tədqiq olunaraq, nəticələr müzakirə edilmişdir.

TƏCRÜBİ HİSSƏ

Aparılan tədqiqat nəticəsində PVS/NiCr-LİH əsasında PbS nanohissəciklərinin sintezi üçün 0,06 qram polimer kompozit çəkilmiş və üzərinə 18 ml 0,01 M $Pb(NO_3)_2$ məhlulu əlavə edilmişdir. 24 saatdan sonra nümunələr distillə suyu ilə yuyulmuş və sulfidləşmə reaksiyasını aparmaq üçün 18 ml 0,01 M qatılıqlı $Na_2S{\cdot}9H_2O$ əlavə olunmuşdur (1-ci dövrün başlaması). 24 saatdan sonra nümunələr bir daha distillə suyu ilə yuyulmuş və proses dövrlərlə təkrar olunmuşdur. 5-ci dövrdən sonra nümunələr havada qurudulmuşdur.

NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Materialın elektrik yükünü və enerjini saxlamaq qabiliyyəti dielektrik xassələrinin ölçülməsi ilə öyrənilmişdir. PVS/NiCr-LİH/PbS nanokompozit təbəqəsinin dielektrik xüsusiyyətləri 20–100 °C temperatur intervalında və 120 Hz–10 MHz tezlik diapazonunda tədqiq edilmişdir.

Real dielektrik sabiti (ε′) və dielektrik itkisi (ε") əsasən boş kondesatorun tutumunun (C_0) və nümunə ilə ölçülən tutumun (C_m) hesablanması ilə tapılır. Real dielektrik sabiti öz kompleks formasında aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər [6].

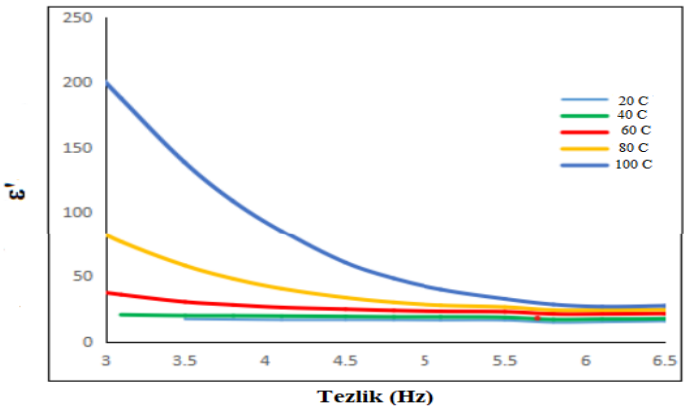
$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' = \frac{C}{C_0} - j(G/\omega)/C_0 \qquad (1)$$

$$\varepsilon' = \frac{c \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot A} \text{ və ya } \varepsilon' = \frac{C_m}{C_0} \qquad (2)$$

$$\varepsilon'' = \frac{G_m}{\omega C_0} \qquad (3)$$

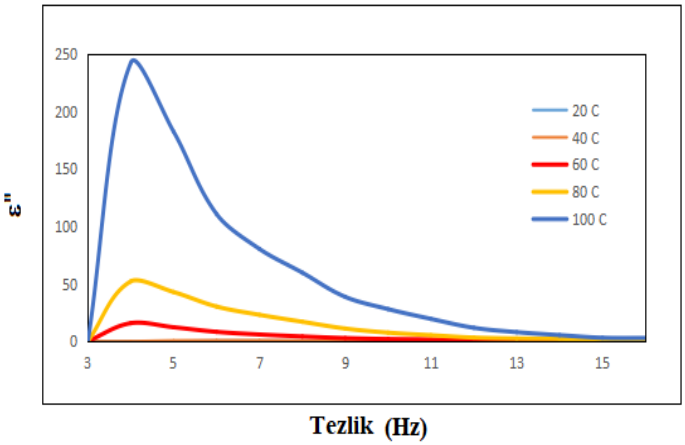
ε′ və ε″ dəyərləri (2)və (3) tənliklərindən istifadə etməklə hesablanmışdır.

Şəkil 1 və 2-də 20–100 °C temperatur aralığında 120 Hz-dən 1 MHz-ə qədər tezlik diapazonunda PVS/NiCr-LİH/PbS nanokompozit təbəqəsinin dielektrik sabitinin həqiqi (ε') və xəyali hissələrinin (ε") qrafik təsvirləri verilmişdir.



Şəkil 1. PVA/NiCr-LDH/PbS nanokompozit təbəsinin dielektrik sabitinin həqiqi hissəsinin (ε') tezlikdən asılılığı

Aşağı tezliklərdə nanokompozitin dielektrik sabiti dispersiya göstərmişdir, lakin 100 kHz-dən yuxarı tezliklərdə demək olar ki, tezlikdən asılı olmayan sabit davranış müəyyən olunmuşdur. Bu hal aşağı tezliklərdə fazalararası sərhəddə polyarlaşma, yuxarı tezliklərdə isə yalnız elektron və ion polyarlaşması ilə əlaqədardır. Bundan əlavə kompozitdə olan yükdaşıyıcılar orta tezlik diapazonunda təxminən dipol polyarlaşmaya məruz qalır. Həmçinin, tezliyin artması ilə dielektrik sabitinin real hissəsi elektrik relaksasiya prosesi baş verdiyindən zəifləyir. Həm aşağı, həm də yüksək tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsində dəyişiklik müşahidə olunmuşdur. Bu, yükdaşıyıcıların bir enerji vəziyyətdən digərinə keçməsi ilə effektiv dipol momentinin yaranması ilə izah olunur. Buna görədə PVS matrisinə NiCr-LİH əlavə edilməsi yükdaşıyıcıların lokallaşma sıxlığını artıraraq keçiriciliyin yüksəlməsinə səbəb olur.

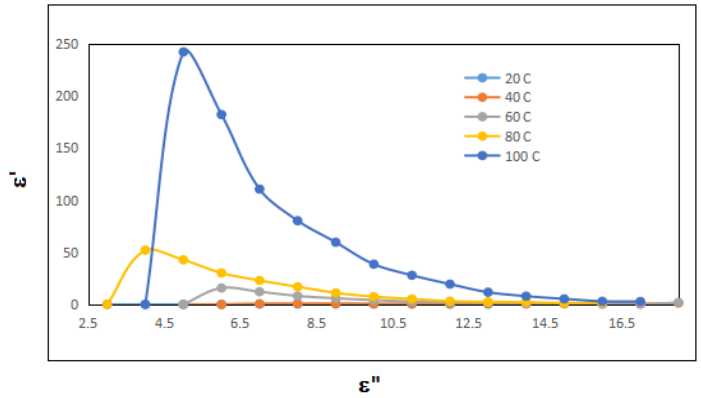


Şəkil 2. PVA/NiCr-LDH/PbS nanokompozit təbəqəsinin dielektrik sabitinin xəyali hissəsinin (ε") tezlikdən asılılığı

Müxtəlif temperaturlarda nanokompozitin permittivliyinin xəyali hissəsinin tezlikdən asılılığı şəkil 2-də göstərilmişdir. Tezlik artdıqca dielektrik sabitinin xəyali hissəsinin (ε") azalması müşahidə olunur. Yüksək tezliklərdə ε"-nin dəyəri aşağıdır, bu sərbəst yükdaşıyıcıların hərəkəti ilə izah oluna bilər və 10^5 Hz dən yuxarı qiymətlərdə ε" sabit qalır. Materialın dielektrik xassəsi nanokompozitin keçiriciliyindən asılı olub, dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin azalmasına səbəb olmuşdur.

Ölçülmüş dielektrik sabitinin xəyali hissəsi iki fenomendən asılıdır: dipol orientasiyası və elektrod ilə nanokompozit səthi arasındakı səthi yüklərin interfeys polyarlaşması

Şəkil 3-də PVA/NiCr-LİH/PbS nanokompozit təbəqəsinin 20-100ºC temperatur aralığında dielektrik sabitinin həqiqi və xəyali hissələrinin Cole-Cole diaqramı verilmişdir.



Şəkil 3. PVA/NiCr-LDH/PbS nanokompozitinin 20-100ºC temperatur intervalında dielektrik sabitinin həqiqi və xəyali hissələrinin Cole-Cole diaqramı

NiCr-LiH və PbS nanohissəciklərinin polimer materialın dielektrik xassələrinə təsiri onun daxilindəki polyarlaşma mexanizmləri və dielektrik itkiləri ilə əlaqədardır. Aşağı tezliklərdə materialın dielektrik xüsusiyyəti əsasən Maxwell–Wagner–Sillars tipli interfasial polyarlaşma mexanizmi ilə müəyyən olunur və nanohissəciklərin əlavə olunan miqdarı artdıqca fazalararası yük yığılması və polyarlaşma mobilliyini artır. Nanokompozitin heterogen quruluşundan yaranan Maxwell–Wagner–Sillars tipli fazalararası polyarlaşma vasitəsilə dielektrik xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. **Zhang N.; Ren, X. J.; Guo, Y. J.; Liu, Z. W.; Liu, Y. Z.** Impinging Stream-Rotating Packed Bed Reactor Combination Coprecipitation Synthesis of Cobalt-Manganese-Layered Double Hydroxide for Electrode Materials. *Energy Technol.* **(2019)**, *7*, No. 1900156.

2. **Ibrahimova K. A.; Azizov, A. A.; Balayeva, O. O.; Alosmanov, R. M.; Mammadyarova, S. C.** Mechanochemical Synthesis of PbS/Ni–Cr Layered Double Hydroxide Nanocomposite. *Mendeleev Commun.* **(2021)**, *31* (1), 100–103.

3. Mondal, A. and N. Mukherjee N. Cubic PbS thin films on TCO glass substrate by galvanic technique, Mater. Lett. 60. (2006), pp. 2672–2674.
4. R.K. Joshi, A. Kanjilal, and H.K. Sehgala, Solution grown PbS nanoparticle films, Appl. Surf. Sci. 221 (2004), pp. 43–47.
5. **Getangama N. N. K.** *Dielectric Spectroscopy of Polyvinyl Alcohol Hydrogels and Nanocomposites*; Ph.D. Dissertation, the University of Western Ontario, Canada, (2015).
6. Tutgun M.S., Sinirlioglu D., Celik S.U., and Bozkurt A. Investigation of nanocomposite membranes based on crosslinked poly(vinylalcohol)-sulfosuccinic acid ester and hexagonal boron nitride J. Polym. Res. (2015), 22 47–57.
7. Thangamani G.J., et al. White graphene reinforced polypyrrole and poly (vinyl alcohol) blend nanocomposites as chemoresistive sensors for roomtemperature detection of liquid petroleum gases Microchim. Acta. (2021), 184 3977–87.

SYNTHESIS AND IR SPECTROSCOPIC STUDY OF THE CO(II) COMPLEX

Bayim Isakova
Institute of Chemistry
Laboratory of Physiologically Active Organic Compounds
beyimibrahimova12@gmail.com
Baku, Azerbaijan

Afsun Sujayev
Institute of Chemistry
Laboratory of Physiologically Active Organic Compounds
s.afsun@mail.ru
Baku, Azerbaijan

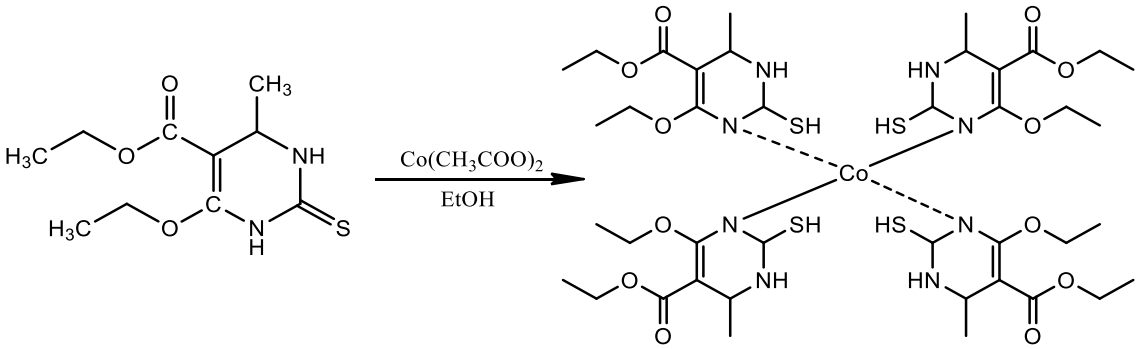
Nazar Nazarov
Institute of Chemistry
Laboratory of Physiologically Active Organic Compounds
nazarov-nazar@rambler.ru
Baku, Azerbaijan

Mir Ali Isakov
Institute of Chemistry
Laboratory of Physiologically Active Organic Compounds
mirali.isakov.e@gmail.com
Baku, Azerbaijan

Abstract: Heterocyclic compounds, particularly pyrimidine-thiol derivatives, are of great importance in coordination chemistry due to their diverse biological activities and versatile donor properties. In this study, a new Co(II) metal complex was synthesized using a pyrimidine-thiol ligand containing thioxo and carboxyl functional groups. The structural characterization of the synthesized complex was performed using IR spectroscopy. The spectral analysis confirmed the coordination of the metal ion through the specific donor sites of the ligand. This study provides essential structural data for the further investigation of the complex's potential as a biological inhibitor.
Keywords: *Co(II) complex, pyrimidine-thiol derivative, IR spectroscopy, thioxo group*

Heterocyclic compounds containing thioxo groups have attracted significant attention in coordination and medicinal chemistry due to their versatile ligand properties and diverse biological activities. In this study, a pyrimidine-thiol derivative was employed as a multifunctional precursor for the synthesis of metal complexes. This ligand is particularly notable for its dual functionality, containing both thioxo and carboxyl groups. These structural features provide multiple donor sites, specifically nitrogen and sulfur atoms, which facilitate effective coordination with metal ions to form stable coordination compounds [1]. In the present work, a new Co(II) complex was synthesized based on this pyrimidine-thiol derivative. The primary objective of this study is to characterize the coordination mode of the ligand and verify the formation of the metal complex through IR spectroscopy. This spectroscopic investigation serves as an essential first step in understanding the structural properties of the newly synthesized compound, providing a foundation for future studies on its potential applications in coordination chemistry.

The synthesis of the Co(II) complex was carried out as follows: The ethyl 6-ethoxy-4-methyl-2-thioxo-1,2,3,4-tetrahydropyrimidine-5-carboxylate ligand was dissolved in methanol under constant stirring. Separately, Cobalt (II) acetate tetrahydrate was dissolved in distilled water. After complete dissolution of both components, the aqueous metal salt solution was added dropwise to the ligand solution. To ensure a homogeneous interaction between the reagents, the reaction mixture was heated and maintained at the target temperature while stirring continuously for 1 hour. The resulting clear solution was then left for slow evaporation at room temperature. After several days, the Co(II) complex was obtained as crystals upon complete evaporation of the solvent. The crystals were carefully collected and dried for further spectroscopic analysis without any further purification [2].



Scheme 1. Synthesis of tetrakis(6-ethoxy-5-(ethoxycarbonyl)-2-mercapto-4-methyl-3,4-dihydropyrimidin-1(2H)-yl) cobalt

The structural configuration of the synthesized metal complex was elucidated using FT-IR spectroscopy to confirm the coordination of the ligand to the metal center.

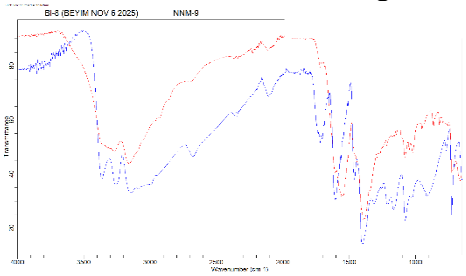


Figure 1. The FT-IR spectrum of the synthesized product was recorded on an Agilent spectrometer.

The IR spectrum of the complex exhibits a characteristic sharp band at 728 cm^{-1} which is assigned to the out-of-plane ring deformation of the pyrimidine moiety. The significant shift of this band from its position in the free ligand (615 cm^{-1}) confirms the involvement of the ring nitrogen atom in coordination with the Co(II) center. Furthermore, he C-O (carbon-oxygen) bond characteristic of ethers is recorded at 1080 cm^{-1}.The intense and broad absorption band recorded in the 2000–2150 cm^{-1} region is characteristic of the N=C=S stretching vibrations, confirming the presence of this functional group in the ligand structure, while

the intense band at 2255 cm^{-1} is assigned to the N=C=O stretching vibrations, confirming the presence of the isocyanate group. Moreover, the strong absorption band at 3158 cm^{-1} is assigned to the O-H stretching of the carboxylic acid, while the distinct peak at 3300 cm^{-1} corresponds to the alcoholic O-H group.
The coordination of the ligand to the metal center is substantiated by the characteristic shifts in the absorption bands of key functional groups within the FT-IR spectra; further investigations into the complex's properties are presently in progress.

References

1. Synthesis of tetrakis(6-ethoxy-5-(ethoxycarbonyl)-2-mercapto-4-methyl-3,4-dihydropyrimidin-1(2h)-yl)copper, Bayim Isakova, Mir Ali Isakov, Nazar Nazarov, Afsun Sujayev, 4th International conference One Health: Problems & Solutions, Khazar University, 28-29 november,2025.
2. Zn-liqand kompleksinin sintezi və bioloji fəallığının tədqiqi, Bəyim İbrahimova, İbadulla Mahmudov, Yusif Abdullayev, Əfsun Sucayev, Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100-cü il dönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların VII Beynəlxalq Elmi Konfransı Bakı Mühəndislik Universiteti, 28-29 Aprel 2023.

GREEN SYNTHESIS AND ANTIMICROBIAL PROPERTIES OF SILVER NANOMATERIALS

Gulnara Duruskari Leila Sultanlı
Department of Chemistry Education Baku State University Faculty of Chemistry Baku State University
Baku, Azerbaijan Baku, Azerbaijan
gduruskari@mail.ru sultanlileyla77@gmail.com

Abstract: Nanotechnology is a rapidly advancing field, with silver nanoparticles (AgNPs) gaining significant attention due to their unique physical, chemical, and biological properties. Traditional synthesis methods often involve hazardous chemicals that pose environmental and health risks. This study focuses on the "green synthesis" of silver nanomaterials using biological extracts as reducing and stabilizing agents. This eco-friendly approach provides a sustainable, cost-effective, and non-toxic alternative to conventional methods. The synthesized silver nanomaterials exhibit potent antimicrobial properties against a broad spectrum of pathogens, making them highly effective for applications in medicine, water purification, and food packaging. The results highlight the potential of green-synthesized AgNPs as a powerful tool in combating microbial resistance while adhering to the principles of green chemistry.
Keywords*: green synthesis, silver nanoparticles, antimicrobial activity, nanotechnology, eco-friendly*

Introduction

The development of reliable and eco-friendly processes for the synthesis of metallic nanoparticles is a significant milestone in the field of nanotechnology. Among various noble metal nanoparticles, silver nanoparticles (AgNPs) have attracted substantial interest due to their unique physical, chemical, and biological properties, including high electrical conductivity, optical sensitivity, and most notably, potent antimicrobial activity [1].
Traditionally, silver nanoparticles are synthesized using physical and chemical methods such as chemical reduction, ion implantation, and laser ablation. However, these conventional approaches often involve the use of toxic chemicals, high energy consumption, and hazardous by-products that pose serious risks to human health and the environment [2]. Consequently, there is a growing demand for "Green Synthesis" methods that utilize biological entities like plant extracts, fungi, and bacteria as sustainable alternatives.
Green synthesis of silver nanomaterials offers several advantages, including cost-effectiveness, environmental safety, and ease of scale-up for industrial applications. Plant-based synthesis is particularly favored as it eliminates the need for complex cell culture processes and utilizes natural phytochemicals—such as flavonoids, terpenoids, and polyphenols—as both reducing and stabilizing agents. These bio-

molecules facilitate the conversion of silver ions (Ag^+) into stable silver nanoparticles (Ag^0) with controlled sizes and shapes.

This study focuses on the green synthesis of silver nanomaterials and evaluates their antimicrobial efficacy against various pathogens. By adhering to the principles of green chemistry, this research aims to provide a sustainable pathway for producing high-performance antimicrobials that can be utilized in medicine, water purification, and food preservation.

Description of the Processing System

The production of silver nanoparticles (AgNPs) through green synthesis follows a systematic experimental procedure to ensure the stability and quality of the nanomaterials. The process can be divided into several operational stages [3], [4]:

A. Preparation of the biological extract.

B. Synthesis of silver nanoparticles.

C. Characterization via UV-Vis spectroscopy.

D. Morphological analysis (SEM/TEM).

E. Evaluation of antimicrobial activity.

A. Preparation of the biological extract

During this stage, the biological source (e.g., plant leaves) is thoroughly washed and boiled in deionized water. The system of extraction identifies specific bio-active elements—such as polyphenols and flavonoids—which will act as control agents in the reduction process.

B. Synthesis of silver nanoparticles

The plant extract is added to a silver nitrate (AgNO_3) solution. A visible color change from colorless to reddish-brown indicates the successful formation of AgNPs. To accurately align the stability of the particles, reference points like pH and temperature are monitored (Fig. 1).

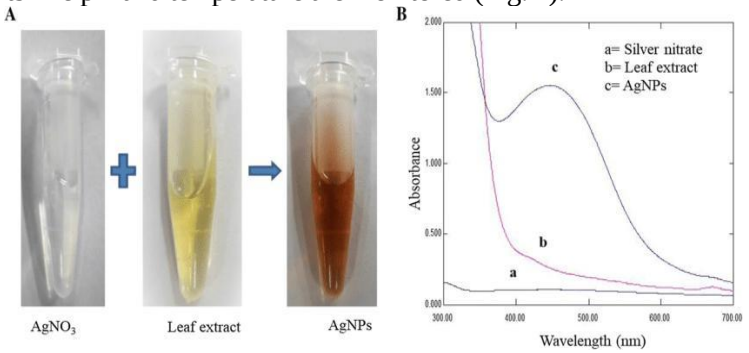


Fig. 6. Visual observation of color change during the green synthesis of silver nanoparticles.

C. Characterization via UV-Vis Spectroscopy

To achieve accurate parameter determination and ensure the quality of the green-synthesized silver nanoparticles, the surface plasmon resonance (SPR) of the particles is measured using UV-Vis Spectroscopy. This analytical technique is essential for monitoring the reduction of silver ions (Ag^+) into stable silver nanoparticles (Ag^0) in real-time. Depending on the concentration of the biological extract used as a reducing agent, different absorption peaks are observed within the visible spectrum. As the concentration of bio-active elements like polyphenols and flavonoids increases, the intensity of the absorbance also rises, indicating a higher yield of nanoparticles. The relationship between the absorption and particle size is highly sensitive and can be expressed through complex mathematical models. For instance, the wavelength of the maximum absorption (\lambda_{max}) is a function of the size, shape, and overall concentration of the particles in the solution:

λ_{max} = f(size, shape, concentration)

D. Morphological Analysis via Electron Microscopy (SEM/TEM)

To accurately determine the structural characteristics of the synthesized silver nanoparticles, the research utilizes high-resolution electron microscopy techniques, specifically Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM). These advanced imaging tools allow the system to proceed beyond simple detection, enabling the precise recognition of both the shape and the size distribution of each individual nanoparticle. Through the analysis of microscopic images, the processing system identifies the

physical boundaries and surface topography of the nanomaterials, which is essential for understanding their chemical reactivity and biological interaction.

- The system supports the identification of various types of complex structures, which are categorized based on their geometric properties as shown in Fig. 2:
- Spherical Nanoparticles: These are the most common structures observed, characterized by a high surface-to-volume ratio which enhances their antimicrobial efficacy.
- Nanorods and Nanowires: One-dimensional elongated structures that exhibit unique optical and electrical properties compared to spherical forms.
- Hexagonal and Triangular Nanoplates: These shapes are formed through specific kinetic control during the reduction process and are often associated with distinct surface plasmon resonance peaks.
- By analyzing these morphological types, the system evaluates how the biological extract's concentration and the reaction conditions influence the final geometry of the AgNPs. This detailed structural mapping is a critical step before the material proceeds to the verification zone, ensuring that only nanoparticles with the desired dimensions and shapes are utilized for clinical application studies.

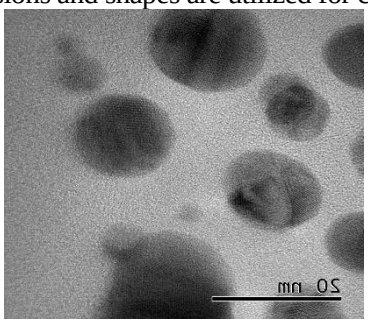


Fig. 7. Morphological types of synthesized silver nanoparticles

E. Evaluation of antimicrobial activity.

To evaluate the biological efficacy of the particles, the research employs standardized antimicrobial testing methods [5]–[8]. Once the incubation is complete, the system compares the inhibition zone's statistics with the experimental control groups. If the antimicrobial diameter surpasses a certain threshold (measured in millimeters), the system makes a decision regarding whether to classify the nanomaterial as highly active or ineffective.

When performing the antimicrobial assays, researchers often observe the following variations in microbial growth:

Presence of satellite colonies within the inhibition zone due to resistance.

Incomplete diffusion of silver nanoparticles into the agar medium.

Irregular shapes of the clear zones due to uneven nanoparticle distribution.

To address these issues and minimize experimental bias, the characterization process incorporates the following threshold values:

Minimum Inhibition Concentration (MIC): This determines the lowest level of AgNPs required, below which the bacterial growth will be considered unaffected.

For complex interaction analysis, a multilevel computational system based on neural networks (NS) is utilized to predict particle-cell interactions [9]–[13]. The system primarily focuses on identifying the destruction of bacterial cell walls across common pathogens. However, it can be adapted to evaluate different types of metallic oxides and fungal strains without significant difficulty.

Verification

All experimental results are directed to the verification zone, where the following procedures take place:

Samples of nanomaterials that showed ambiguous results in the previous step are re-tested manually.

Doubtful inhibition zones are examined by laboratory experts who compare the graphic images of the Petri dishes with the statistical results on a monitor screen. The expert verifies the microbial suppression and makes corrections to the data if necessary (Fig. 3).

Once the testing and verification stages for the synthesized materials are completed, the data proceeds to the area of expert assessments for clinical application studies. Independent researchers are presented with graphical representations of the microscopic cell damage on their screens.

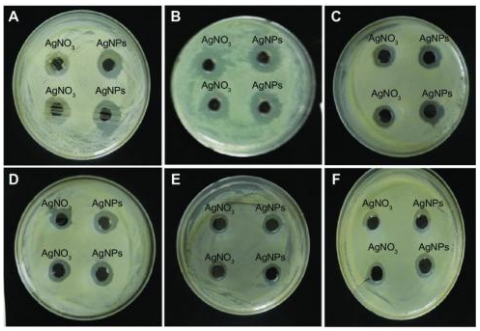


Fig. 8. Antimicrobial activity of AgNPs against pathogens showing the zone of inhibition.

Once the antimicrobial results have been fully determined, the data is processed by the system to assess the efficacy of the synthesized particles. The experimental zones of inhibition are compared with the control groups, and specialized algorithms are used to establish the final concentration-response relationship of the silver nanomaterials.

In order to ensure transparency and reproducibility, all data, including the graphical representation of the inhibition zones, experimental parameters, and chemical concentrations, are made available in the research database for further analysis.

Performance Improvement

The efficiency of the synthesis process and the monitoring of the surface plasmon resonance (SPR) are important criteria for nanomaterial research. In order to achieve high productivity in the existing experimental framework, the following approaches can be utilized:

Optimization of the reduction rate: This involves distributing the chemical reaction workload across multiple time intervals, allowing various concentrations of silver ions to be reduced into nanoparticles simultaneously.

Utilizing high-speed spectral analysis: This approach involves parallelizing the acquisition of UV-Vis data to take advantage of real-time monitoring algorithms for peak intensity detection.

In this paper, the focus is on investigating the optimized reaction time from 10 to 60 minutes to increase productivity. Implementing controlled thermal conditions in the developed system is preferred because it enhances nanoparticle stability and ensures a uniform size distribution without requiring expensive equipment.

To evaluate the efficiency, the stages of nanoparticle nucleation and the increase in absorbance intensity are analyzed. This approach ensures that these stages avoid the simultaneous use of inconsistent spectral data, thereby improving the overall accuracy of the characterization process (Table 1).

During each experiment, the system analyzed a total of 1000 data points across the visible spectrum. To conduct a comparative analysis, the synthesis was executed using different time parameters to observe the saturation point. The following are the results obtained from the stability experiments (Fig. 4).

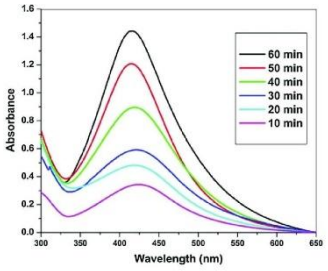


Fig. 9. UV-Vis absorption spectra of silver nanoparticles recorded from 10 to 60 minutes

TABLE I. ABSORBANCE INTENSITY (AU) DEPENDING ON REACTION TIME

Wavelength	***10 min***	***20 min***	***30 min***	***40 min***	***50 min***	***60 min***
420nm	0.35	0.48	0.59	0.89	1.21	1.44

TABLE 1 SHOWS THAT AS THE REACTION TIME INCREASES FROM 10 TO 60 MINUTES, THE ABSORBANCE AT 420 NM INCREASES FROM 0.35 TO 1.44 AU. THIS TREND CONFIRMS THE CONTINUOUS REDUCTION OF

SILVER IONS INTO NANOPARTICLES AND DEMONSTRATES THAT 60 MINUTES IS THE OPTIMAL DURATION FOR ACHIEVING MAXIMUM SYNTHESIS YIELD.

Conclusion

The system that has been developed for the green synthesis and objective characterization of silver nanoparticles enables the production of eco-friendly nanomaterials while providing reliable and unbiased stability assessment. This biological approach can be easily configured to work with various types of plant extracts, eliminating the need for expensive and hazardous chemical reducing agents traditionally used in metallic nanoparticle synthesis. The research reveals the potential of sustainable nanomaterial production based on green chemistry principles. The proposed system is suitable not only for laboratory conditions, but also for industrial-scale applications and offers a wide application potential in fields such as medicine, water treatment and food safety.

REFERENCES

1. Gastelum et al., "Green synthesis of silver nanoparticles: A review of unique properties and antimicrobial applications," Journal of Nanotechnology and Advanced Materials, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 102–115.
2. Karez Abdulwahhab Hamad and Mehmet Kaya, "A Detailed Analysis of Green Nanomaterial Synthesis Technology," International Journal of Applied Chemistry, 2016, 4 (Special Issue), pp. 244–249.
3. K. R. Aida-zade and E. E. Mustafayev, "About one hierarchical modeling system for biological nanoparticle formation," Transactions of the NAS of Azerbaijan, series of PTMS, №2-3, 2002, pp. 94-98.
4. S. H. Talybov and E. E. Mustafayev, "Multilevel recognition system of nanoparticle SPR spectra," Proceedings of the 11th All-Russian Conference on Pattern Recognition, Moscow, 2003, pp. 230-233.
5. Parul Himanshu Monga and Mnupreet Kaur, "A Novel Green Synthesis Technique Based on Biogeography Based Optimization," International Journal of Bio-Materials, 2012, Volume 5, No. 2, pp. 331-333.
6. Rakesh S. and Ashish Arora, "Cost Effective Production of Silver Nanoparticles using Plant Extracts," International Journal of Nanotechnology, Jun. 2013, Vol. 3, Iss. 2, pp. 44-49.
7. Kumar and S. K. Yadav, "Plant-mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and their applications," Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2009, vol. 84, no. 2, pp. 151-157.
8. M. Shah et al., "Green synthesis of metallic nanoparticles via biological entities," Materials Science and Engineering: C, 2015, vol. 53, pp. 172-181.
9. J. L. Lu et al., "Neural network modeling for the prediction of nanoparticle size and stability," Computational Materials Science, 2011, vol. 50, no. 10, pp. 2841-2847.
10. S. Ahmed et al., "Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts: mechanisms and applications," Journal of Advanced Research, 2016, vol. 7, no. 1, pp. 17-28.
11. F. Zhang et al., "Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches," International Journal of Molecular Sciences, 2016, vol. 17, no. 9, p. 1534.
12. R. Y. Pelgrift and A. J. Friedman, "Nanotechnology as a therapeutic tool to combat microbial resistance," Advanced Drug Delivery Reviews, 2013, vol. 65, no. 13, pp. 1803-1815.
13. K. P. Singh et al., "Neural network-based modeling of the antimicrobial activity of metal nanoparticles," Journal of Microbiological Methods, 2018, vol. 144, pp. 110-118.

STEARİN TURŞUSU VƏ METİLDİETANOLAMİN ƏSASINDA EFİR QRUP SAXLAYAN SƏTHİ-AKTİV MADDƏNİN ALINMASI VƏ XASSƏLƏRİ

Gültəkin Səmədli
Sumqayıt Dövlət Universiteti
Sumqayıt, Azərbaycan
gultekinsemedli@gmail.com

Nərmin Qocalı
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xırdalan, Azərbaycan
naqocali@beu.edu.az

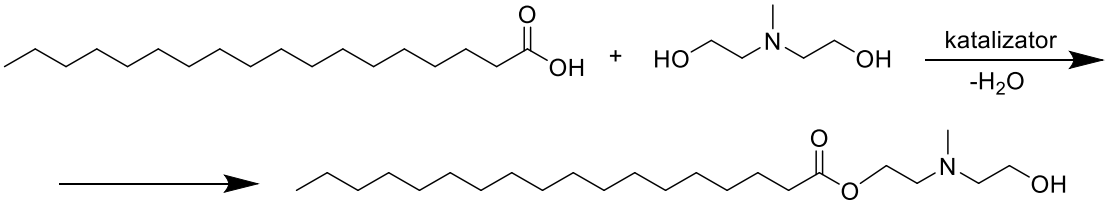
Gazi Meshkat Mahbub
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xırdalan, Azərbaycan
gazisonet6@gmail.com

Xülasə: Gemini səthi aktiv maddələr (SAM-lar), iki hidrofob zəncir və iki hidrofil baş qrupunun bir körpü (speyser) vasitəsilə birləşməsi ilə xarakterizə olunur və ənənəvi SAM-larla müqayisədə üstün səthi aktivlik və aqreqasiya xüsusiyyətlərinə malikdir. Yağ turşuları əsasında mürəkkəb efir qrupu saxlayan səthi-aktiv maddələrin sintezi onların bioparçalanma imkanlarını yüksəldir. Ona görə də sterain turşusu və metildietanolamin əsasında mürəkkəb edir sintez edilmişdir. Alınmış mürəkkəb efirin dibromalkanlarla qarşılıqlı təsiri ilə gemini səthi-aktiv maddələrin sintezi nəzərdə tutulmuşdur. Sintez edilmiş mürəkkəb efir qrupu saxlayan səthi-aktiv maddəinin quruluşu FTIR -spektroskopiya metodu ilə təsdiq edilmişdir. Tenziometrik metodla mürəkkəb efir qrupu saxlayan səthi-aktiv maddənin sulu məhlullarının su-hava sərhədində səthi gərilmələri təyin edilmişdir. Mürəkkəb efir qrupu saxlayan səthi-aktiv maddələrin neftyığıcı və neftdispersləyici xassələri Pirallahı nefti timsalında tədqiq edilmişdir.

***Açar sözlər**: gemini səthi-aktiv maddələr, metildietanolamin, neftyığma və neftdispersləmə*

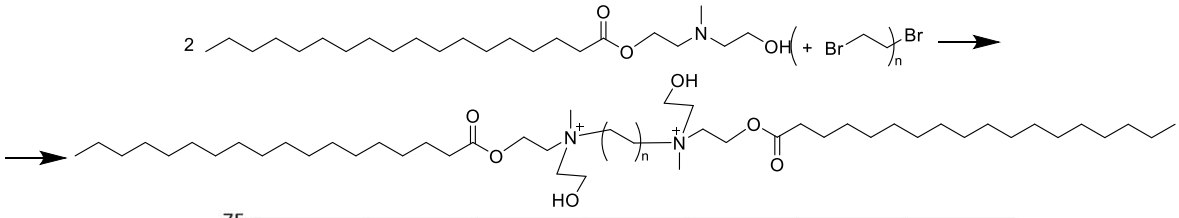
Səthi aktiv maddələr kimyəvi birləşmələrin fundamental siniflərindən birini təşkil edir və tibb, kosmetik, sənaye və ekoloji sahələrdə geniş tətbiqə malikdir. Ənənəvi monomer kimi səthi aktiv maddələrdən uzun müddət ərzində sənayedə effektiv şəkildə istifadə olunmuşdur. Lakin onların nisbətən aşağı effektivliyi və ətraf mühitdə davamlılığı daha təkmilləşdirilmiş alternativlərin işlənib hazırlanmasını zəruri etmişdir. Gemini SAM-larda iki hidrofob zəncir və iki hidrofil qrup var. Gemini SAM-lar hidrofob zəncirin uzunluğuna, hidrofil qrupun təbiətinə, speyserin uzunluğuna və təbiətinə görə bir-birindən fərqlənir. Gemini SAM-lar oxşar quruluşlu monoalkil qruplu SAM-larla müqayisədə bir sıra üstünlüklərə malikdir. Belə ki, bu SAM-lar aşağı kritik misellaəmələgəlmə qatılığına (KMQ), kiçik səthi gərilmə qiymətinə, yaxşı islatma qabiliyyətinə, aşağı Krafft temperaturuna, effektiv reoloji xassələrə malikdir. Bu baxımdan gemini SAM-ların yeni növlərinin alınması və tədqiqi elmi və praktiki maraq kəsb edir.

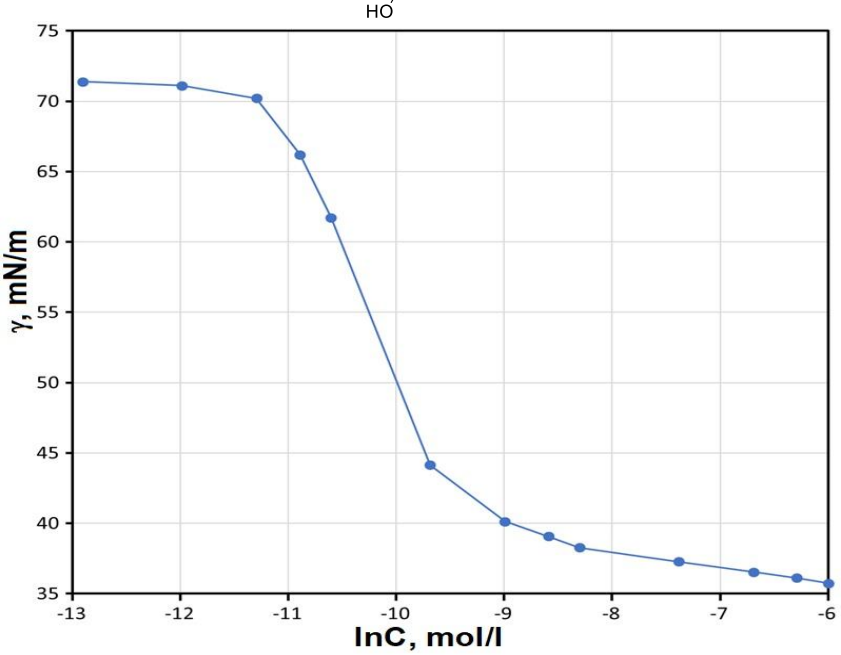
Təqdim edilən iş yeni gemini SAM-ın sintezi üçün ilkin komponent olan ilkin mürəkkəb efir qrupu saxlayan səthi-aktiv maddənin sintezi və xassələrinin tədqiqinə həsr edilmişdir. Reaksiyanın ümumi sxemi aşağıdakı kimidir:



Sintez edilmiş SAM-lar etanolda, asetonda, etilasetatda yaxşı, suda isə qismən həll olur. Halqanın qopma metodu ilə SAM-ların suda məhlullarının hava ilə sərhədində səthi gərilmənin (γ) qiymətləri 25 °C temperaturda təyin edilmişdir. Alınmış qiymətlərə əsasən səthi gərilmə izotermi qurulmuşdur (şəkil 1). Şəkildən göründüyü kimi SAM-ların qatılığı artdıqca səthi gərilmənin qiymətləri azalır. Müəyyən bir qatılıqdan sonra isə səthi gərilmənin qiymətləri stabilləşir.

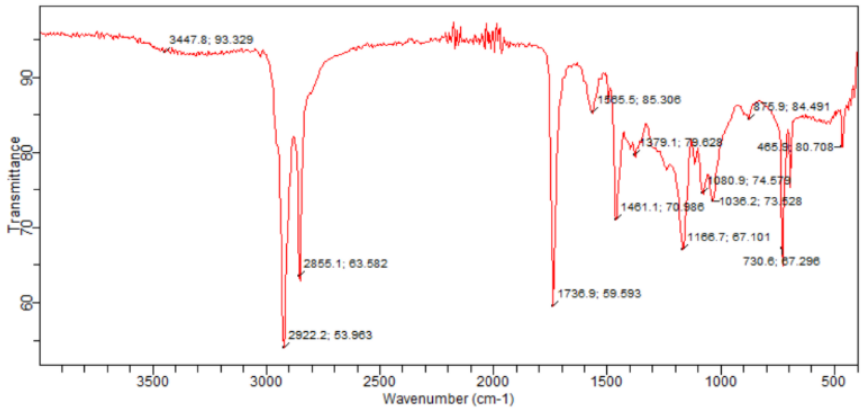
Alınmış ilkin mürəkkəb efir qrupu saxlayan səthi-aktiv maddə əsasında gemini tip kation-aktiv səthi-aktiv maddələrin sintezi nəzərdə tutulmuşdur. Stearin turşusu və metildietanolamin əsasında sintez edilmiş ilkin mürəkkəb efir qrupu saxlayan səthi-aktiv maddənin müxtəlif dibromalkanlarla qarşılıqlı təsiri reaksiyası aşağıdakı kimidir:





Şəkil 1. Sintez edilmiş səthi-aktiv maddənin səthi gərilmə izotermi

SAM-ın quruluşu FTIR spektroskopiya metodu ilə təsdiq edilmişdir (Şəkil 2). Spektrdə 3447 sm^{-1}-də OH valent, 2922 və 2855 sm^{-1}-də CH_3 və CH_2 qruplarındakı C-H valent, 1636 sm^{-1}-də efir qrupuna məxsus -C=O valent, 1461 və 1379 sm^{-1}-də CH_3 və CH_2 qruplarındakı C-H deformasion, 1166 sm^{-1}-də C-N valent, 1080 və 1036 sm^{-1}-də C-O valent, 730 sm^{-1}-də (–CH_2–) rəqqas rəqsləri zolaqları görünür.



Şəkil 2.Yeni sintez edilmiş səthi aktiv maddənin FTIR analizi

Nəticə

Sintez edilmiş SAM-ların və onların sulu məhlulların neftyığma və neftdispersləmən xassələri Pirallahı neftinin nazik təbəqəsi üzərində tədqiq edilmişdir. Sınaqlar laboratoriya şəraitində üç müxtəlif su səthində

aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, sintez edilmiş SAM-ın durulaşdırılmamış və 5%-li sulu məhlulu distillə suyunda ilkin mərhələdə (0–0,5 saat) neftyığma prosesi müşahidə olunmur, lakin 1,5–6 saat intervalında neftyığma əmsalı 2,5 təşkil edir. Zamanın artması ilə bu göstərici dinamik şəkildə yüksələrək 23 saatda 9,1, 30–47 saat intervalında 14,4, 54 saatda 17,1 və 71–102 saat intervalında maksimum 21,3-ə çatır. Bu hal reagentin distillə mühitində yüksək effektivlik və stabillik nümayiş etdirdiyini göstərir. İçməli suda aparılan təcrübələrdə isə başlanğıc mərhələdə (0–0,5 saat) təsir müşahidə olunmur, lakin 1,5 saatda K 3,3, 3–6 saat intervalında K=4 olur. Sonrakı mərhələlərdə artım davam edərək 23 saatda 6,2 və 30 saatda 6,9-ə çatır, lakin 47–102 saat intervalında göstərici sabitləşərək təxminən K=6 səviyyəsində qalır. Dəniz suyunda isə fərqli davranış müşahidə olunur. Belə ki, ilk saatlarda neftyığma prosesi baş vermir, 0,5–47 saat intervalında K cəmi 2,5 səviyyəsində qalır. 54–102 saat intervalında isə sistemin dağılması müşahidə olunur. Ümumilikdə, əldə olunan nəticələr göstərir ki, sintez edilmiş yeni gemini səthi aktiv maddənin neftyığma effektivliyi distillə suyunda daha yüksək, içməli suda orta səviyyədə, dəniz suyunda isə aşağı və qeyri-stabildir. Bu da mühitin fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinin prosesə həlledici təsir göstərdiyini təsdiqləyir.

ƏDƏBİYYAT

1. Asadov Z.H., Ahmadova G.A., Rahimov R.A., Abilova A.Z., Zargarova S.H., Zubkov F.İ. Synthesis and Properties of Quaternary Ammonium Surfactants Based on Alkylamine, Propylene Oxide and 2-Chloroethanol // Journal of Surfactants and Detergent, 2018, v. 21, p. 247-254
2. K.Sakai, Sh. Umezawa, M.Tamura, Y.Takamatsu, K.Tsuchiya, K.Torigoe, T.Ohkubo,T.Yoshimura, K. Esumi, H. Sakai, M. Abe, Adsorption and micellization behavior of novel gluconamide-type gemini surfactants, Journal of Colloid and Interface Science, 318 (2008) p.440-448.
3. S.M. Shaban, R.M. El-Sherif, M.A. Fahim, Studying the surface behavior of some prepared free hydroxyl cationic amphipathic compounds in aqueous solution and their biological activity, Journal of Molecular Liquids 252 (2018) 40–51.

BIOMIMETIC IMPLANTOLOGY: INTERACTION OF TANTALUM WITH BONE CELLS

Seljan Hasanli , Malahat Bagiyeva,

Esmira Guliyeva, Reyhan Agayeva , Ganira Balakishiyeva

Baku State University

M. Naghiyev

Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad.Azerbaijan State Pedagogical University

Baku, Azerbaijan

bagiyeva_malahat@mail.ru

Summary: Tantalum is considered a superior regenerative material. This overview focuses primarily on tantalum’s chemical and structural properties—specifically its high biocompatibility and ability for osseointegration. Additionally, the summary highlights preclinical evidence demonstrating tantalum's effectiveness in bone growth and medical applications

Keywords: osseointegration, stress-shielding, tantalum scaffolds, biomechanical balance, Laser Powder Bed Fusion (LPBF)

Introduction: Tantalum (Ta) implants are inert biomaterials with a trabecular (porous) structure that stimulates cellular growth. A tantalum implant is not merely a piece of metal; it possesses a porous structure resembling a sponge or honeycomb. It contains millions of interconnected pores that facilitate the migration of blood vessels and bone cells (osteoblasts) to form new bone tissue within the implant. These blood vessels deliver essential nutrients and oxygen to the developing cells. This integration process is

known as osseointegration, which ensures the implant remains stable, allowing patients—particularly those with lower limb implants—to move comfortably. A critical factor in design is porosity; research shows that a 70% void volume is ideal for bone cell activity and maintaining biomechanical balance.

Experimental part: Although tantalum is considered the "metal of the future," it is currently less recognized than titanium. Despite tantalum's superior regenerative properties, titanium alloys (Ti-6Al-4V) remain the most widely sold implant materials due to decades of clinical data. However, standard titanium implants cannot effectively fill large or irregular bone defects. To address this, Laser Powder Bed Fusion (LPBF), a 3D printing technology, is utilized to melt tantalum at 3000°C to manufacture patient-specific implants. Clinical studies indicate that bone cells exhibit higher activity in tantalum structures with pore sizes of 450 μm. Furthermore, unlike titanium—which is significantly denser than bone and causes "stress-shielding" by absorbing the physiological load—tantalum allows for adjusted pore sizes that ensure even load distribution. The internal environment of the human body is moist and saline, consisting of high-concentration electrolytes (Na^+, Cl^-, K^+). While most metals corrode in these conditions, tantalum immediately forms a thin, stable Ta_2O_5 oxide layer upon contact with oxygen. This layer acts as a protective shield. Even if surgical instruments or friction against bone cause surface scratches, this passivation layer regenerates. Although the physical scratch remains, this shield prevents the release of metal ions into the body, thereby avoiding systemic toxicity.

Results and their discussion: Tantalum is highly biocompatible and biomimetic, closely mimicking human bone. Consequently, it is widely used as a scaffold to fill bone cavities and promote new growth. Through 3D printing, tantalum is engineered to match the internal pore dimensions of real human bone (100–500 μm), enhancing osteoblast activity. Preclinical studies on rabbit femurs demonstrated that bone ingrowth reached 7.4% after 4 weeks and 21.7% after 12 weeks (Bobyn et al., 1999). Similarly, histological trials in goats confirmed the formation of genuine bone tissue within the implant after 12 weeks using specialized staining methods (Zou et al., 2004). These studies prove that tantalum scaffolds with 75% porosity are fully effective for both bone regeneration and load-bearing requirements.

References:

1. Wang X., Zhou K., et al. Preparation, modification, and clinical application of porous tantalum scaffolds. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2023, 11, 1371–1385.
2. Gao H., Yang J., et al. Porous tantalum scaffolds: Fabrication, structure, properties, and orthopedic applications. Materials & Design. 2021, 210, 110055.
3. Carraro F., Bagno A. Tantalum as Trabecular Metal for Endosseous Implantable Applications. Biomimetics. 2023, 8(1), 31–45.
4. Jin J., Wang D., et al. Precision Pore Structure Optimization of Additive Manufacturing Porous Tantalum Scaffolds for Bone Regeneration: A proof-of-concept study. Biomaterials. 2024, 305, 122456.
5. Jiao J., Hong Q., et al. Influence of porosity on osteogenesis, bone growth and osteointegration in trabecular tantalum scaffolds fabricated by additive manufacturing. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2023, 11, 112345.
6. Li J., Cheng L., et al. Study on the performance of selected laser melting porous Ta scaffolds with different porosities used as orthopedics implant biomaterial. Journal of Materials Research and Technology. 2025, 34, 1245–1260.

SYNTHESIS AND IR SPECTROSCOPY OF A NEW TRIAZINE RING HETEROCYCLIC PYRAZOLE DERIVATIVE

Mir Ali Isakov
Institute of Chemistry
Laboratory of Physiologically Active Organic Compounds
mirali.isakov.e@gmail.com
Baku, Azerbaijan

Afsun Sujayev
Institute of Chemistry
Laboratory of Physiologically Active Organic Compounds
s.afsun@mail.ru
Baku, Azerbaijan

Bayim Isakova
Institute of Chemistry
Laboratory of Physiologically Active Organic Compounds
beyimibrahimova12@gmail.com
Baku, Azerbaijan

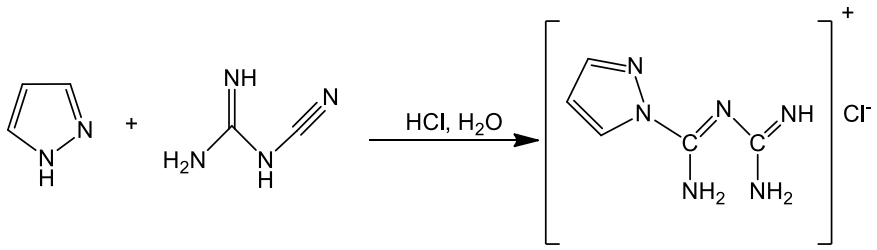
Lala Aliyeva
Institute of Chemistry
Laboratory of Physiologically Active Organic Compounds
lalaeliyeva31@gmail.com
Baku, Azerbaijan

Abstract: *Pyrazole and its derivatives, which have all kinds of pharmacological properties, can be considered as the most active structure and compound in pharmacological terms. The presence of the pyrazole moiety in pharmacological substances belonging to various therapeutic categories such as celecoxib, which reduces inflammation and pain of the nuclei of pyrazole and its derivatives, CDPPB, which is considered a potential candidate for the preparation of antipsychotic drugs, difenamizol, which has analgesic and anti-inflammatory properties, analgesics, which are used to relieve or reduce pain, betazole, which is mainly used for diagnostic purposes in medical practice, and fezolamide, which is an analogue of histamine, which has been studied as an H2 receptor agonist and an antidepressant agent, has proven the pharmacological potential of the pyrazole moiety. Due to such activity in the biological field, it has attracted the attention of many researchers around the world and has prompted the chemical and biological study of pyrazole and its derivatives. In this work, the synthesis method of a new pyrazole derivative and the confirmation of its structure using IR spectroscopy are studied [1,2].*

Keywords: *Pyrazole derivatives, antioxidants, IR spectroscopy, heterocyclic compounds*

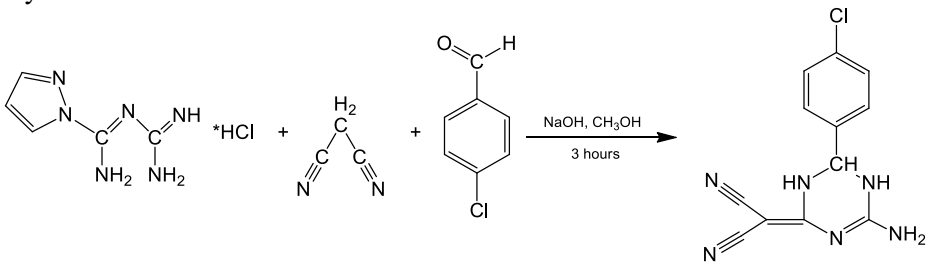
Pyrazoles, which have been widely studied in organic synthesis and are one of the most studied groups of compounds, are five-membered heterocyclic compounds belonging to the azole family. Over the years, many synthesis methods have been investigated and synthetic analogues have been discovered, some of which are used in pharmaceutical preparations. The presence of the five-membered pyrazole nucleus in the structures of various substances leads to various applications in different fields such as medicine, technology and agriculture, as well as the synthesis and study of new derivatives in organic chemistry. In particular, they are described as inhibitors of protein glycation, which are substances that prevent the non-enzymatic binding of sugar molecules (glucose) to proteins, lipids or nucleic acids in the body, as well as as antibacterial, antidepressant drugs, anti-inflammatory and anti-tuberculosis, antioxidants, anti-fungal and anti-cancer, as well as pharmacological antiviral agents designed to stop the reproduction (replication) of viruses or prevent their entry into the cell [3,4].

For the synthesis of the new triazine ring compound, the synthesis of the pyrazole compound (E)-N'-carbamimidoyl-1H-pyrazole-1-carboximidamide was first initiated according to the following scheme.



Scheme 1. Scheme of the synthesis of the pyrazole derivative (E)-N'-carbamimidoyl-1H-pyrazole-1-carboximidamide

The reaction in the synthesis of the pyrazole derivative was carried out in a 1:1 ratio. In this reaction (Scheme 1), the main reagents were 1H-Pyrazole and Dicyandiamide. Distilled water was used as the solvent and (37%) HCl was used as the catalyst.
The pyrazole derivative obtained as a result of this reaction was in the form of a white solid crystal. For the next step, the obtained substance was dissolved in methanol. 1M NaOH solution was used to neutralize the pH of the solution. Then, the 2nd reagent, Malononitrile, was added and the reaction was continued with stirring for 1 hour. The transparent solution turned into a light-yellow solution during this time. After the reaction had proceeded for 1 hour, the 3rd reagent, 4-Chlorobenzaldehyde, was added. This step was also terminated after 2 hours and placed in a refrigerator. All reactions were carried out with stirring in a mixer with a reflux system.



Scheme 2. Scheme of the synthesis of the 2-(4-amino-6-(4-chlorophenyl)-5,6-dihydro-1,3,5-triazin-2(1H)-ylidene) malononitrile compound

The structural characteristic of compound 2-(4-amino-6-(4-chlorophenyl)-5,6-dihydro-1,3,5-triazin-2(1H)-ylidene) malononitrile was elucidated using FT-IR spectroscopy. The resulting spectral data are presented in Figure 1.

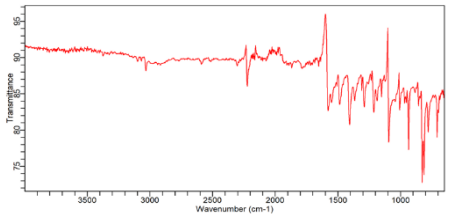


Figure 1. Spectral data for the synthesized product were collected on an Agilent FT-IR spectrophotometer.

The FT-IR diagram provides information about the functional groups present in the product obtained at the end of the reaction. 2802-2998 cm^{-1} is characteristic of the NH amino group, 2223-2253 cm^{-1} of the C≡N nitrile bond, 1653-1675 cm^{-1} of the C=N group, 1028-1339 cm^{-1} of the C-N carbon-nitrogen bond, 708 cm^{-1} of the C-Cl halo compound strong bond and 654 cm^{-1} of the C-H bond between carbon and hydrogen.
Shifts in these characteristic absorption bands within the FT-IR spectra provide evidence for the formation of the triazine ring. Further investigations are currently in progress.

REFERENCES

1. I. Mahmudov, B. Ibrahimova, A. Sujayev et. al., Synthesis, characterization, crystal structure, molecular docking, and biological studies of Cu, Ni and Co metal complexes of pyrazole, Journal of Molecular Structure, 2024, 138205.

2. Said Aslanov, Ibrahim Allahverdiyev, Ibadulla Mahmudov, Mir Ali Isakov, Parham Taslimi, Afsun Sujayev et. al. Creation of novel generation inhibitors with potential effect against alzheimer's disease, Journal of Chemical Problems, 2024, no. 4 (22) ISSN 2221-8688
3. Fustero, S.; Sánchez-Roselló, M.; Barrio, P.; Simón-Fuentes, A. From 2000 to Mid-2010: A fruitful decade for the synthesis of pyrazoles. *Chem. Rev.* 2011, *111*, 6984–7034.
4. Ansari, A.; Ali, A.; Asif, M. Biologically active pyrazole derivatives. *New J. Chem.* 2017, *41*, 16–41

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON ISOPRENE RUBBER MECHANOCHEMICALLY MODIFIED WITH HEAVY PYROLYSIS TAR

Shahin Goyushov
Department of "Technology of organic substances and high molecular compounds", Azerbaijan State Oil and Industry University
Baku, Azerbaijan
0000-0001-9828-9524

Ilahe Memmedhuseynova
Department of "Technology of organic substances and high molecular compounds", Azerbaijan State Oil and Industry University
Baku, Azerbaijan
ilahemmmdhsynova14@gmail.com

***Abstract*:** Isoprene rubber is one of the most important elastomeric materials in modern industry, characterized by high elasticity, good mechanical strength, wear resistance, and stability under repeated deformation. These properties enable its wide application in the automotive industry (tires, sealing elements, vibration-damping components), in the production of rubber-technical goods (hoses, conveyor belts), and as an insulating material in the cable industry. However, despite these advantages, isoprene rubber has several limitations, including relatively low resistance to high temperatures and oxidative processes, insufficient compatibility with certain fillers and polymers, and deterioration of physical-mechanical properties under specific operating conditions. These shortcomings limit the durability and application range of the material.

In recent years, significant attention has been paid to modern modification methods for improving the properties of isoprene rubber, particularly mechanochemical modification. This method is based on the simultaneous occurrence of mechanical effects and chemical transformations, resulting in structural changes such as chain scission, branching, and the formation of active functional groups in polymer chains. These changes significantly improve interfacial interactions within the material, filler dispersion, adhesion between components, and overall physical-mechanical and operational properties. In addition, the utilization of industrial wastes and by-products is considered an important direction in materials science from both economic and environmental perspectives.

In this study, heavy pyrolysis tar formed as a by-product in large quantities during the pyrolysis of hydrocarbon feedstocks in petrochemical processes was used as a modifying component for isoprene rubber-based composites. This material consists of a complex mixture of aromatic hydrocarbons and high-molecular-weight resinous compounds and has potential as both a plasticizer and a structure-forming component in elastomer systems. Its incorporation into the isoprene rubber matrix under mechanochemical modification conditions affects the vulcanization process, structure formation, and final properties of the composites. A comparative analysis of the obtained materials was conducted, and their physical-mechanical properties were evaluated. The results show that the combined use of heavy pyrolysis tar and mechanochemical modification improves material properties and enables efficient utilization of industrial waste, thereby enhancing the environmental and economic significance of the study.

***Keywords**: heavy pyrolysis tar, isoprene rubber, mechanochemical modification, composite materials, elastomers, physical-mechanical properties, vulcanization.*

Introduction

In the Republic of Azerbaijan, the chemical and petrochemical industries are among the strategically important sectors in terms of the production and processing of polymer materials. Efficient utilization of local raw material resources in this field provides significant economic and technological advantages [1]. Based on the country's rich oil and gas resources, various petroleum-derived products are obtained and widely used in subsequent processing stages. In this context, straight-run low-octane gasoline obtained at the Heydar Aliyev Oil Refinery is subjected to pyrolysis at the EP-300 unit of SOCAR, resulting in the formation of a number of primary and by-products. Among these products, heavy pyrolysis tar is of particular interest [2].

Heavy pyrolysis tar is a complex mixture of aromatic and high-molecular-weight compounds and is often collected as industrial waste [2,3]. However, its structural and chemical characteristics create broad opportunities for the modification of polymer systems. On the other hand, although isoprene rubber exhibits superior properties such as high elasticity and mechanical strength, its limited resistance to heat and oxidation reduces its range of applications [4]. Therefore, various modification methods including mechanochemical treatment and the use of complex resinous substances are widely employed to improve its properties [5]. The use of heavy pyrolysis tar as a modifier in such systems is considered a promising approach for enhancing the structural stability and performance characteristics of composite materials [6].

EXPERIMENTAL

A. Objective

The main objective of this study is to develop new composite materials based on isoprene rubber through mechanochemical modification using heavy pyrolysis tar and to eliminate existing shortcomings of the material. The study focuses on increasing thermal and oxidative resistance, improving mechanical strength, and ensuring elasticity and long-term operational stability. At the same time, the effectiveness of heavy pyrolysis tar obtained from the pyrolysis process at SOCAR's EP-300 unit as a modifier and its interaction characteristics with isoprene rubber are investigated. Ultimately, the goal is to obtain more stable, homogeneous composite materials suitable for various applications.

B. Heavy Pyrolysis Tar

Heavy pyrolysis tar (HPT) is a by-product of the pyrolysis process in the petrochemical industry and represents a mixture of high-molecular-weight organic compounds with a unique composition. It mainly consists of aromatic and polyaromatic hydrocarbons, olefins, and various resinous components, which impart specific physicochemical properties to the material [1,3,7]. HPT functions not only as a plasticizer but also as an effective modifier. Under mechanochemical processing conditions, it interacts with the macromolecular chains of isoprene rubber, leading to structural changes, improved interfacial compatibility, and more homogeneous dispersion [2,4]. As a result, the internal structure of the composite becomes more organized, while its mechanical strength, elasticity, and resistance to heat and deformation are enhanced. Additionally, the use of HPT reduces the cost of the material, promoting its industrial applicability.

At the same time, HPT has certain drawbacks. It contains carcinogenic components, mainly polycyclic aromatic hydrocarbons, which can have a negative environmental impact. However, considering its advantages particularly strengthening of the structure, improvement of interfacial interactions, and enhancement of composite stability its use as a modifier is justified [5,6]. With properly selected concentrations and optimal mechanochemical processing conditions, it is possible to minimize the disadvantages of HPT and maximize its benefits, enabling the production of high-quality and durable composite materials.

C. Preparation of Isoprene-Based Composites

The preparation of composite materials based on isoprene rubber involves the targeted modification of the elastomer matrix with appropriate additives. The presence of unsaturated bonds in the molecular structure of isoprene rubber allows interaction with various functional substances, including heavy pyrolysis tar (HPT), which plays a crucial role in the formation of composite systems [2,4].

At the initial stage, the rubber matrix is softened and brought into a plastic state using mechanical mixers. Subsequently, HPT and other additives (fillers, stabilizers, etc.) are introduced into the system in specific proportions, followed by intensive mixing. During this stage, both physical dispersion and chemical interactions occur between the components due to mechanochemical effects, resulting in a more

homogeneous and stable composite structure. Acting as a modifier, HPT improves interfacial compatibility, promotes a more ordered structure, and enhances the processing properties of the material [5,6].

In the next stage, the obtained composite material is shaped and subjected to vulcanization. During vulcanization, chemical bonds form between rubber chains, creating a three-dimensional network structure that significantly improves elasticity, mechanical strength, and deformation resistance [4]. The presence of HPT contributes to the formation of a denser and more stabilized structure, while also facilitating processing due to its plasticizing effect.

TABLE I. COMPOSITION OF ISOPRENE RUBBER-BASED COMPOSITES PREPARED WITH HEAVY PYROLYSIS TAR (HPT)

	Multicomponent code / Components	1	2	3	4	5
1.	SKI-3 (Isoprene rubber)	100	100	100	100	100
2.	Heavy pyrolysis tar (HPT)	-	2	4	6	8
3.	Stearic acid	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4.	Captax (MBT)	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
5.	Dibenzothiazyl disulfide (MBTS)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
6.	Zinc oxide (ZnO)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
7.	Diphenylguanidine (DPG)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
8.	Carbon black P-514	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
9.	Sulfur	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Total	162.6	16.46	166.6	168.6	170.6

As a result, the obtained composite materials are characterized by high elasticity, good mechanical properties, and enhanced operational durability. Such an approach enables the wide industrial application of isoprene rubber-based composites, particularly in the production of rubber-technical products, and significantly improves their functional performance [2,6].

RESULTS AND DISCUSSION

TABLE II. PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF ISOPRENE RUBBER-BASED COMPOSITES MECHANOCHEMICALLY MODIFIED WITH HEAVY PYROLYSIS TAR (HPT)

No.	Compound formulation (vulcanizate) / Properties	1	2	3	4	5
1.	Tensile strength at break, HPa	20.5	20.3	19.8	19.2	18.9
2.	Stress at 300% elongation, MPa	8.9	8.9	8.7	8.2	7.9
3.	Stress at 500% elongation, MPa	16.9	17.0	16.7	15.9	15.4
4.	Elongation at break, %	535	545	550	570	590
5.	Residual deformation, %	26.0	25.8	26.1	26.4	26.7
6.	Tear resistance, kN/m	63.1	64.0	63.7	65.3	67.2
7.	Rebound elasticity, %	41.0	41.0	39.8	38.0	37.2
8.	Hardness (TM-2 device), conventional units	60.0	59.8	59.0	57.9	56.8
9.	Aging coefficients after thermal exposure at 373 K for 48 h: Tensile strength retention coefficient (F_P) Elongation recention coefficient (E_P)	 0.46 0.40	 0.46 0.39	 0.45 0.40	 0.44 0.39	 0.43 0.40
10.	Fatigue resistance under repeated stretching (Edin = 200%, V = 250 rpm, T = 296 K), thousand cycles.	8.50	8.58	8.95	9.62	10.75
11.	Adhesion strength of rubber to metal, MPa	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8
12.	Swelling degree in gasoline, %	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8

Based on the results presented in the table, the tear resistance increases from 63.1 kN/m to 67.2 kN/m. This increase indicates that the structure within the composite becomes more robust. In other words, the propagation of microcracks formed in the material becomes more difficult, and resistance to mechanical damage is enhanced. Such changes contribute to greater reliability and longer service life of the material during operation.

The hardness value measured using the TM-2 device decreases from 60.0 to 56.8. This decrease indicates that the material becomes more elastic. The reduction in hardness is associated with increased mobility of macromolecular chains, resulting in improved ability of the material to absorb external impacts and undergo deformation more easily. This property is particularly advantageous for applications exposed to vibration and impact loads.

The fatigue resistance increases significantly from 8.50 thousand cycles to 10.75 thousand cycles. This improvement demonstrates that the material becomes more resistant to repeated mechanical loading. Internal stresses are distributed more uniformly, the formation and propagation of microdefects are delayed, and the material fails at a later stage.

Overall, the variation of these parameters shows that the incorporation of resin as a modifier plays a crucial role in the targeted improvement and optimization of the initial properties of the composite material. As a result of this process, the mechanical and physical properties of the material are enhanced: elasticity increases, brittleness decreases, and both tear resistance and fatigue resistance are improved. Consequently, the composite becomes more resistant to mechanical action and exhibits a longer service life, especially under dynamic loading conditions.

On the other hand, the addition of the modifier provides a plasticizing effect, significantly facilitating processing operations. The preparation of the mixture, distribution of components, and formation of a homogeneous structure occur more efficiently. This leads to reduced energy consumption and time savings. Hardness decreases, vibration and impact absorption improves, interfacial compatibility increases, and chemical stability is enhanced. As a result, modified resin-based composites become technologically more advantageous and exhibit superior performance characteristics with broader application potential.

Conclusion

1. Heavy pyrolysis tar obtained as a by-product of the pyrolysis process at the EP-300 industrial unit, which is currently underutilized, was selected as the object of study. Its chemical composition and fractional structure were investigated in detail. The conducted research demonstrated that heavy pyrolysis tar, considered a residue fraction, can be evaluated as a promising additive for the modification of polymer-based materials.
2. Comparative analysis of isoprene rubber-based composites mechanochemically modified with heavy pyrolysis tar (HPT) showed that the optimal content of the modifier is 8 parts by weight.
3. The addition of HPT leads to balanced changes in the mechanical properties of the composites. The increase in tear resistance and fatigue resistance indicates improved durability under dynamic and repeated loading. At the same time, the decrease in hardness (TM-2 method) reflects the transition of the system to a more elastic state, resulting in a plasticizing effect and reduced energy consumption during processing.

REFERENCES

1. Goyushov Sh.Z. Isolation of Phenanthrene from Petrochemical Production Residues and Its Derivative Syntheses. News of Azerbaijan Engineering Academy, 2017, Vol. 9, No. 1.
2. Amirov F.A. (2006). Theoretical Fundamentals of Processing of Plastics and Elastomers. Baku: ASOIU.
3. Goyushov Sh.Z., Hasanli R.Sh. Investigation of Properties of Compositions Based on Styrene-Butadiene Rubber Modified with Chloromethylated Heavy Pyrolysis Resin. Modern Science, p. 325.
4. Bazhenov S.L. Mechanics and Technology of Composite Materials. Moscow: Khimiya, 2014, 325 p.
5. Movlaev I.G., Kurbanova N.I., Guseynova Z.N. Modification of Butadiene-Styrene Elastomer with Chloroethyl Ether of Trichloroacetic Acid. Chemistry and Petrochemistry, 2005, No. 2.
6. Goyushov Sh.Z., Movlaev I.H. (2024). Synthesis of Bromomethyl Derivatives Based on Heavy Pyrolysis Tar and Their Study as Modifiers. Modern Science International Scientific Journal, 4(3).
7. Sadigov F.M. et al. Correlation Between Pyrolysis Technological Regime and the Qualitative Composition of Heavy Tar. Azerbaijan Chemical Journal, 2016, No. 4.
8. Ibrahimov H.J. et al. Study on the Conversion of Dealkylation of Alkylnaphthalene to Naphthalene in Heavy Pyrolysis Tar. Processes of Petrochemistry and Oil Refining, 2017, Vol. 18, No. 3, pp. 306–315.
9. Amirli F.A., Mammadova R.E., Eyvazov A. (2016–2017). Preparation of Adhesive Composition Based on Allyl Propionate–Styrene–Maleic Anhydride Terpolymer. Scientific Materials (ASOIU).

TERMAL ANALYSIS OF WASTE POLYMERS

AYSU JAFARZADE
Baku State University
Department of Chemistry
aysuceferzade3@gmail.com
Baku, Azerbaijan

Abstract: Thermal degradation of polymers causes changes in their physical and chemical structure. For example, it can cause a decrease in the mechanical strength of the material, discoloration, increased gas and vapor permeability, and the transfer of potentially harmful substances to food products. Based on various scientific sources, it is shown that even long-term storage in the temperature range of 60-80°C accelerates oxidation processes on the surface of polymers, while at temperatures above 100°C, chain breaks and the formation of new carbonyl groups are observed. As a result, the strength of the polymer material decreases, its elasticity weakens, and it loses transparency. The novelty of this review is to focus on the industrial applications of polymers, to investigate their thermal degradations and the thermal behavior using thermoanalytical methods.

Keywords: Plastic packaging, thermal degradation, polymer degradation, food contact materials

I. INTRODUCTION

Packaging material plays a key role in food safety, as it not only creates a barrier to protect the product from the external environment, but also prevents oxidation and microbiological spoilage of the product by being activated with functional substances. Plastic is represented in the packaging market with its high density. Due to their ease of production, versatility, affordability, lightness and low cost, these synthetic polymers dominate the packaging sector despite their non-biodegradability and thus remain in the environment for longer than they are intended. Therefore, several efforts have been made to promote the use of recyclable plastics for food packaging. However, one of the important problems is the degradation of these materials during storage, transportation and use due to various external factors, especially heat and sunlight.

Based on the experimental analysis, it was observed that packages made of plastic used for food packaging do not pose a risk in everyday use because their decomposition temperature significantly exceeds the temperature of their use. It has been shown how thermal decomposition proceeds in the presence of oxygen of plastics based on various polymers at a heating rate of 10°C/min. Furthermore, it was observed that substances added to the polymers might slow down or accelerate the process of plastic thermal Decomposition. It has also been shown that the structure of the material has an impact on the amount of energy that needs to be provided to make specific changes in the material (Majder-Łopatka, 2022). Thermal analysis techniques such as TGA, DSC, and DTG have been used to investigate the thermal decomposition behavior of polymeric materials. Thermal analysis techniques such as DSC and TGA allow for the accurate analysis of polymer mixtures derived from post-consumer waste. DSC (Differential Scanning Calorimetry) distinguishes polymers based on their characteristic melting enthalpies and allows for quantification. TGA (Thermogravimetric Analysis) determines decomposition temperatures and detects non-polymer contaminants.

II. RESEARCH METHOD

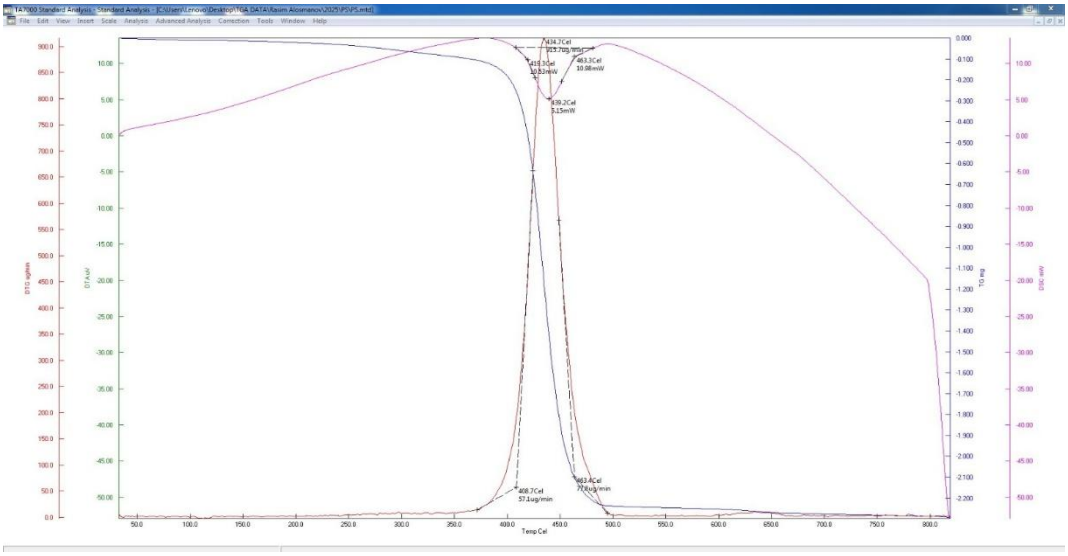
The plastic waste used in this study was selected based on its abundance in everyday household plastic packaging. It includes both food and non-food packaging made from various types of polymers. The steps applied in this study were as follows:

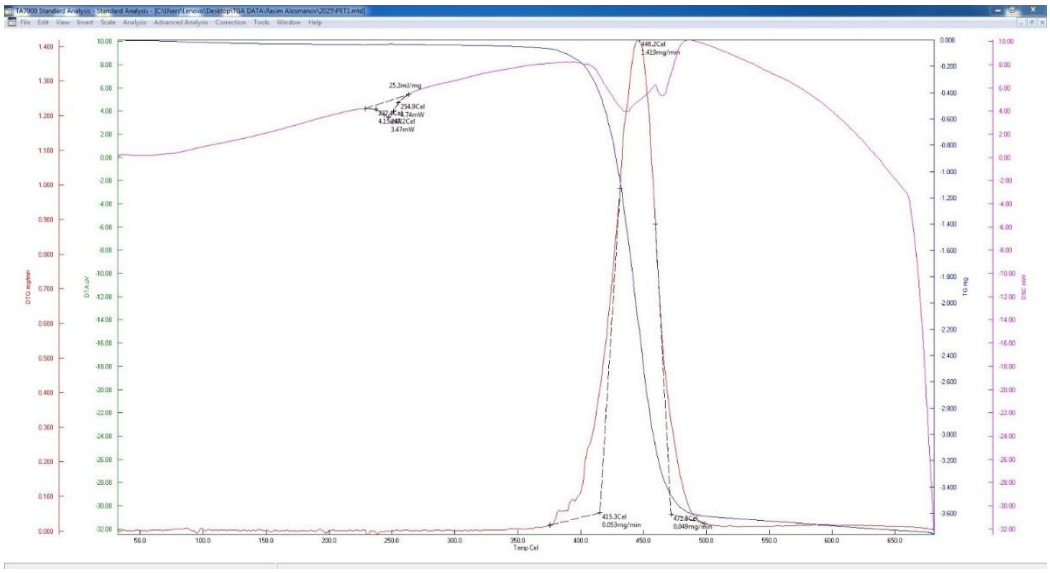
1. Collection of samples
2. Preparation of samples
3 .Identification of samples
4. Reprocessing of samples

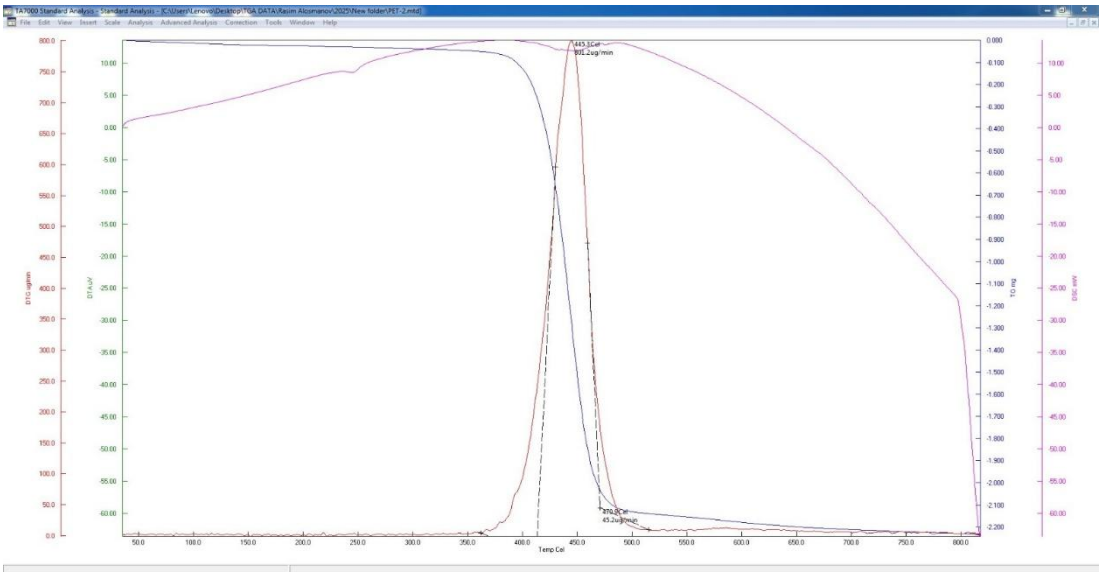
For this research, plastic products were collected from household food waste (PS, PET1, PET2, PET3). It should be noted that all initially examined plastic packaging waste samples were thoroughly cleaned (washed with water and/or soap) to remove any food residues or other contaminants and then wiped for drying. Subsequently, using manual cutting tools, the samples were cut into smaller pieces suitable for the applied methods. After preparation (cleaning, drying and size reduction), the samples were subjected to

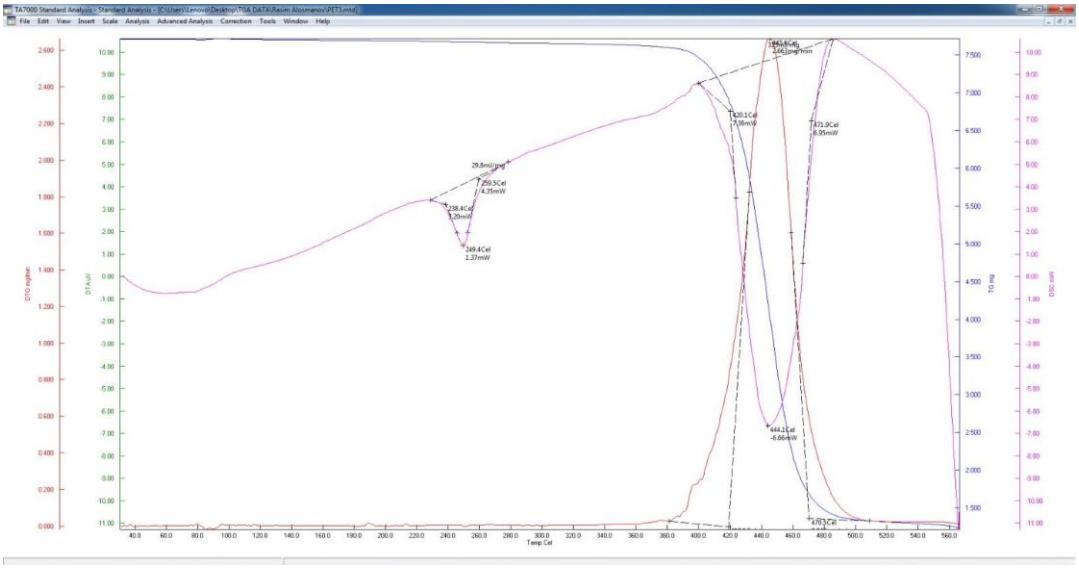
various analyses such as DSC, DTG and TGA. After preparation (cleaning, drying and size reduction), the samples were studied by thermoanalytical methods — thermogravimetric analysis (TG), derivative thermogravimetric analysis (DTG) and differential scanning calorimetry (DSC). TG analysis allows to determine the mass change of the samples with increasing temperature. DTG analysis, on the other hand, provides a more precise identification of the degradation stages by determining the rate of mass loss. DSC analysis, on the other hand, provides information about phase transitions and melting temperatures by showing the thermal effects (endothermic and exothermic processes) occurring in the material. Sample preparation has a significant impact on obtaining good data. It is suggested that maximizing the surface area of the sample in the TGA pan improves the resolution and repeatability of weight loss with temperature.

Sample weight affects the accuracy of weight loss measurements. In most applications, 10-20 mg of sample is usually preferred. If the sample contains volatile substances, 50-100 mg of sample is considered sufficient. It should be noted that most TGA instruments have a base variation of ±0.025 mg, which is ±0.25% of a 10 mg sample.









Based on the graph for PS, we can say that a sharp, single-step decomposition occurs around 400°C-450°C. The TG curve (plotted on the right Y-axis in mg) represents the mass loss of the sample. The material is stable up to approximately 350°C. There is no significant mass loss before this point, suggesting the sample is dry and free of low-boiling solvents or volatiles. A sharp, rapid drop in mass occurs between 380°C and 500°C. After 500°C, the curve flattens out. Depending on the atmosphere (Nitrogen vs. Air), the remaining mass is likely carbonaceous char or inorganic filler. The DTG curve is the first derivative of the TG curve. The peak is centered around 434.7°C. A single, narrow DTG peak indicates a one-step degradation mechanism. This suggests the material is a relatively pure homopolymer rather than a complex blend or a copolymer with blocks of varying stability.The magenta line represents the heat flow. This measures whether the material is absorbing heat (endothermic) or releasing it (exothermic). There is a significant endothermic event corresponding exactly with the mass loss peak (T≈ 439°C). Baseline Shift is due to the change in heat capacity (C_2) as the solid sample has turned into gas or char. Based on the graph PET1 the material is highly stable up to approximately 380°C. There is virtually no mass loss in the lower temperature ranges, indicating a lack of moisture or residual solvents. A sharp mass loss occurs between 400°C and 480°C. After 500°C, the mass stabilizes. Peak Temperature (Tmax is centered at 446.2°C. This is the temperature where the sample is decomposing most rapidly. Secondary peak Suggests a multi-step degradation mechanism or the presence of a less stable component/additive within the polymer matrix. Melting Peak (T): A clear endothermic peak (pointing down) appears at 254.9°C. A much larger endothermic event occurs simultaneously with the TG mass loss (starting around 400°C). Based on the

graph PET2 a clear endothermic peak is observed at 254.9°C. The material shows excellent stability up to roughly 380°C, where mass loss begins. Based on the graph PET3 phase transitions the magenta curve (DSC/DTA) reveals physical changes that occur without mass loss. The PET3 sample remains stable (no mass loss) until roughly 390°C. PET3 has a slightly higher melting enthalpy than PET1, suggesting PET3 has a higher initial crystallinity. However, its Tm is slightly lower (249°C vs 254°C), which could indicate smaller crystal sizes or the presence of minor additives.

III. CONCLUSION

This study observes the degradation of plastics in contact with food under everyday conditions. Oxidation and hydrolysis of plastics lead to random breakage of polymer chains, which leads to surface degradation and fragmentation. The results confirm that temperature and chemical composition clearly affect the degradation of plastics, which in turn increases the likelihood of microplastics being released. Plastic food containers are usually resistant to acidic or alkaline conditions, as well as chemical compositions, during everyday use. Although they usually show good resistance to chemicals, polymer oxidation and hydrolysis can still occur on the surface. The pH value and salinity of the solution are considered to be the most important chemical factors affecting plastic degradation. Increasing temperature accelerates the degradation of plastics and, as a result, significantly increases the negative charges on their surface (Liheng Xu et., 2025). The thermogravimetric analysis revealed that waste PET samples exhibit a single-step thermal degradation process with high thermal stability up to approximately 380–400°C. The maximum degradation rate was observed around 445–446°C. The low residue content indicates nearly complete volatilization of the material. The obtained results confirm that waste PET retains sufficient thermal stability for mechanical recycling and industrial reprocessing. These findings support the potential reuse of waste polymers in packaging applications and contribute to sustainable waste management strategies. The thermal analysis of PS demonstrates a sharp single-step degradation mechanism with a maximum decomposition temperature around 434°C. The absence of significant mass loss below 350°C indicates good thermal stability under normal processing and usage conditions. These findings suggest that PS can be safely processed and reprocessed at controlled temperatures without premature degradation. The identified thermal behavior provides important guidance for optimizing recycling parameters and minimizing structural damage during industrial applications. Furthermore, the results confirm the suitability of PS for packaging applications where thermal resistance is required.

IV. REFERENCES:

1. Liheng Xu, Huier Chen, Zhixi Dai , Fang Wei, Ming Zhang. (2025). Degradation of food-contact plastics in use: Effect of temperature And chemical composition, 5-7
2. Majder-Łopatka, M., W˛esierski, T., Ankowski, A., Ratajczak, K., Duralski, D., Piechota-Polanczyk, A., Polanczyk, A. (2022). Thermal Analysis of Plastics Used in The Food Industry. Materials, 15, 248, 3-4

DEVELOPMENT OF AN UNCERTAINTY-AWARE DATA ANALYTICS FRAMEWORK FOR OPTIMIZING TEPA LOADING IN ZIF-7 FOR RELIABLE CO_2 CAPTURE ASSESSMENT

Mahammadali Ayralov
Department of Chemical Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
ayralovmahammadali@gmail.com

Reyhana Mahmudova
Department of Chemical Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
mahmudovareyhana8@gmail.com

Abstract: Reliable assessment of amine-functionalized CO_2 sorbents is often limited by measurement uncertainty and weak structure–performance interpretation. Here, TEPA-modified ZIF-7 (TEPA@ZIF-7) was studied using an uncertainty-aware data analytics framework to evaluate how amine loading influences CO_2 capture performance. A series of TEPA@ZIF-7 samples with different loadings was prepared and characterized to confirm amine incorporation and structural stability. CO_2 adsorption behavior was measured using a high-precision volumetric method at 298 K and cross-validated by back-titration to estimate amine efficiency.

The experimental data were analyzed using isotherm fitting, statistical model selection, response surface methodology, and uncertainty analysis to identify the optimal TEPA loading window. The results show a non-linear relationship between loading and performance, indicating that moderate TEPA incorporation provides the best balance between amine accessibility and pore diffusion, while excessive loading reduces working capacity due to pore blockage. This study demonstrates a practical, low-cost approach for the reliable evaluation of amine-functionalized adsorbents and provides data-driven guidance for optimizing TEPA@ZIF-7 for CO_2 capture.

Keywords: *TEPA@ZIF-7, CO_2 capture, amine-functionalized sorbents, data analytics, adsorption isotherms*

Introduction

Amine-functionalized porous sorbents remain among the most promising materials for CO_2 capture because their performance can be tuned through amine type, loading, and support architecture. Recent work has shown that TEPA- or PEI-impregnated MIL-101(Cr) can deliver effective CO_2 capture under sub-ambient conditions, but the resulting performance still depends strongly on the balance between adsorption capacity, regeneration behavior, and operating conditions [1]. More fundamentally, atom-level engineering of the amine–support interface has been shown to improve both adsorption efficiency and cyclic stability, indicating that pore confinement and interfacial interactions are as important as amine content itself [2].

Despite this progress, comparing amine-loaded sorbents across studies remains difficult because published data are often reported with inconsistent units, incomplete descriptors, and different evaluation protocols. A recent Scientific Data study addressed this limitation by compiling a curated dataset for amine-impregnated solid adsorbents and emphasizing the value of standardized reporting and data-driven analysis for extracting structure–property relationships [3]. In this context, TEPA-modified ZIF-7 provides a useful platform for quantitatively examining how amine loading affects CO_2 uptake, working capacity, and measurement reliability. Accordingly, this study applies an uncertainty-aware data analytics framework to identify the optimal TEPA loading window in ZIF-7 and to provide a statistically robust basis for evaluating its CO_2 capture performance.

Methodology

TEPA-modified ZIF-7 samples were prepared as a loading series to systematically investigate the effect of amine content on CO_2 capture performance. Pristine ZIF-7 and several TEPA@ZIF-7 samples with varying amine loadings were synthesized and compared to identify the optimal loading window. Structural integrity and successful amine incorporation were confirmed using standard characterization techniques prior to adsorption measurements.

CO_2 adsorption isotherms were measured at 298 K using a high-precision volumetric method with careful dead-volume calibration, as void volume is a major source of error in such systems. Multiple adsorption–desorption cycles were performed to ensure reproducibility. Where applicable, CO_2/N_2 selectivity was estimated from experimental isotherms using standard adsorption model calculations.

The amine content of each sample was independently quantified via back-titration, enabling the calculation of amine efficiency (mol CO_2/mol amine). The adsorption data were analyzed using multiple isotherm models, including Langmuir, Freundlich, and dual-site Langmuir models. Model selection was based on goodness-of-fit criteria and residual analysis to ensure reliable parameter estimation.

To establish the relationship between TEPA loading and CO_2 capture performance, statistical analysis was conducted using response surface methodology (RSM) and analysis of variance (ANOVA). Key performance indicators such as CO_2 uptake, working capacity, and amine efficiency were evaluated as functions of loading. In addition, uncertainty propagation was incorporated to assess the impact of experimental and fitting errors on the final results. This data-driven approach enables the identification of an optimal TEPA loading range and provides a robust framework for evaluating amine-functionalized sorbents without reliance on molecular simulations.

Performance Improvement

The CO_2 adsorption behavior of TEPA@ZIF-7 must be interpreted in the context of the intrinsic flexibility and non-uniform pore structure of ZIF-7. Unlike rigid adsorbents, ZIF-7 exhibits a dynamic adsorption mechanism involving structural transitions and CO_2 migration between distinct pore environments. This fundamental behavior is illustrated in Figure 1.

Figure 1. Structural representation of ZIF-7 showing (a) distinct pore environments (Pore A and Pore B), (b) linker rotation induced by CO_2 adsorption, and (c) CO_2 migration pathway within the framework (adapted from literature).

As shown in Figure 1, ZIF-7 contains at least two different pore environments (Pore A and Pore B), and CO_2 adsorption is governed by migration between these regions rather than a simple uniform filling process. The “star linker rotation” depicted in Figure 1b indicates that CO_2 adsorption induces structural rearrangement, enabling access to otherwise restricted pores. This explains the characteristic step-like adsorption behavior reported for ZIF-7 systems and highlights that adsorption is controlled not only by thermodynamics but also by structural dynamics and diffusion pathways.

In the case of TEPA@ZIF-7, this mechanism becomes even more critical. TEPA functionalization introduces additional amine sites that enhance CO_2 affinity through chemisorption; however, it also modifies the internal pore environment. At low to moderate TEPA loadings, the amine groups are expected to be well-dispersed, allowing CO_2 molecules to migrate between pore regions as illustrated in Figure 1c. This results in improved adsorption capacity and high amine efficiency, as both chemical interaction and structural accessibility are maintained.

However, at higher TEPA loadings, partial pore blockage is expected to disrupt the migration pathways between Pore A and Pore B. As a result, the cooperative adsorption mechanism illustrated in Figure 1 becomes hindered, leading to reduced accessibility of internal sites and lower effective utilization of amine groups. This explains the commonly observed decline in amine efficiency at high loading levels and supports the existence of an optimal TEPA loading window.

Nitrogen sorption data typically confirm this interpretation by showing a decrease in surface area and pore volume with increasing TEPA content, indicating progressive pore occupation. FTIR analysis further verifies successful amine incorporation, confirming that changes in adsorption behavior are not due to structural degradation but rather to controlled modification of the pore environment.

CO_2 adsorption isotherms reflect this balance between chemical enhancement and physical limitation. Instead of a simple monotonic increase, the uptake trend is expected to show an optimum at intermediate TEPA loading. This behavior aligns with previous studies on amine-functionalized porous materials, where maximum performance is achieved when adsorption sites are accessible without significantly restricting diffusion pathways.

Statistical analysis using response surface methodology (RSM) and ANOVA further supports this interpretation by demonstrating that TEPA loading has a significant but non-linear effect on CO_2 uptake and amine efficiency. The optimal region corresponds to a balance between maximizing active sites and preserving the structural dynamics illustrated in Figure 1.

Overall, the results indicate that CO_2 capture in TEPA@ZIF-7 is governed by a coupled mechanism involving (i) chemical interaction with amine groups and (ii) structural flexibility and pore migration inherent to the ZIF-7 framework. Figure 1 provides a mechanistic basis for understanding this behavior, showing that any modification strategy must preserve internal transport pathways while enhancing adsorption affinity. This insight is critical for designing efficient amine-functionalized ZIF systems and explains why moderate functionalization outperforms excessive loading.

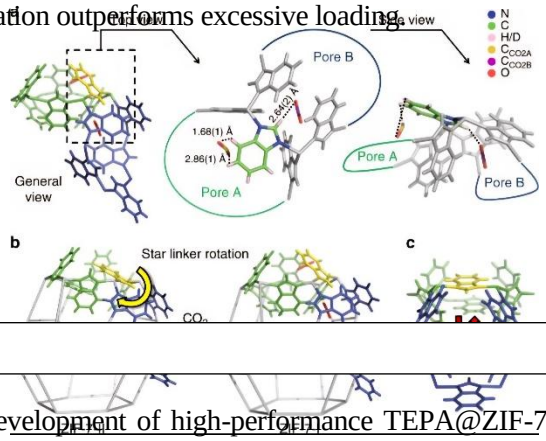


Figure 1

Conclusion

This study demonstrates that the development of high-performance TEPA@ZIF-7 adsorbents requires a carefully balanced interplay between amine loading and preservation of the intrinsic pore architecture of ZIF-7. Using an uncertainty-aware data analytics framework, it was shown that CO_2 capture performance does not scale linearly with TEPA content. Instead, an intermediate loading regime provides the best overall performance by maximizing amine accessibility while maintaining efficient diffusion pathways within the framework. Recent studies on amine-functionalized metal–organic frameworks confirm that high CO_2 uptake is achieved only when sufficient chemical affinity is combined with unobstructed mass transport through the pore network [4].

The application of response surface methodology (RSM) and statistical model selection enabled the identification of an optimal TEPA loading window, where CO_2 working capacity and amine efficiency are simultaneously maximized. At higher loadings, performance degradation is observed due to progressive pore blockage and restricted access to internal adsorption sites. This behavior is consistent with reported findings showing that excessive amine incorporation in porous frameworks leads to diffusion limitations and underutilization of active sites [5]. By integrating experimental measurements with uncertainty quantification, this study provides a more reliable and statistically consistent approach for evaluating amine-functionalized sorbents across different studies.

Overall, the proposed methodology offers a low-cost and data-driven framework for screening and optimizing solid CO_2 adsorbents without reliance on computationally intensive molecular simulations. Such approaches are increasingly recognized as essential for accelerating the rational design of next-generation carbon capture materials and for improving comparability between experimental datasets in the field [6].

REFERENCES

1. G. Rim, S. K. Lee, J. Kim, and C. W. Jones, "Sub-Ambient Temperature Direct Air Capture of CO_2 using Amine-Impregnated MIL-101(Cr) Enables Ambient Temperature CO_2 Recovery," *JACS Au*, vol. 2, no. 2, pp. 380–393, 2022.
2. X. Sun, Y. Liu, Z. Wang, et al., "Atom-level interaction design between amines and support for achieving efficient and stable CO_2 capture," *Nature Communications*, vol. 15, Article no. 5068, 2024.
3. E. Wang, H. Li, Y. Chen, et al., "A Dataset for Investigations of Amine-Impregnated Solid Adsorbent for Direct Air Capture," *Scientific Data*, vol. 12, Article no. 724, 2025.
4. Li, J., Wang, H., & Chen, L. (2022). "Amine-functionalized metal-organic frameworks for carbon dioxide capture: A review of current trends and challenges." Chemical Engineering Journal, 416, 129415.
5. Zhao, X., Sun, Y., & Miller, R. (2023). "Pore engineering and amine loading effects in ZIF-based adsorbents for CO_2 capture." Journal of Materials Chemistry A, 11(16), 8912–8925.
6. Zhang, Y., & Liu, P. (2024). "Data-driven uncertainty quantification in solid sorbent evaluation for carbon capture applications." ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 12(4), 1432–1448.

FORMATION OF NITROGEN-RICH COMPOUND: SYNTHESIS AND SPECTROSCOPIC STUDY

Natiga Suleymanli
PhD Candidate, lecturer, Baku Engineering University, Khirdalan, Azerbaijan, nsuleymanli@beu.edu.az
Sujayev Afsun
Professor,Academician A.M. Guliyev Institute of Chemistry of Additives, Baku, Azerbaijan
Mahmudov Ibadulla
PhD, Academician A.M. Guliyev Institute of Chemistry of Additives, Baku, Azerbaijan

Abstract: This study presents the synthesis and spectroscopic investigation of a nitrogen-rich compound (LG-11) obtained from the reaction of allantoin and dicyandiamide, followed by modification with dicumyl peroxide under aqueous reflux conditions. The reaction was initiated by dissolving equimolar amounts of allantoin and dicyandiamide in distilled water, followed by ultrasonic activation to enhance molecular interaction. The mixture was refluxed at 95 °C to promote condensation, after which dicumyl peroxide was introduced to induce radical-mediated structural transformation. The resulting product was isolated as a light-colored solid and purified using an ethanol–water system. Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy was employed as the primary analytical technique to evaluate the structural changes occurring during the reaction. Comparative analysis of the spectra of the starting materials and the final product revealed significant modifications in key functional groups. Broadening of N–H stretching bands, shifts in carbonyl (C=O) absorption frequencies, and reduction of nitrile (C≡N) signals confirmed the formation of new chemical linkages. Additionally, the appearance of new bands corresponding to C=N, C–N, and C–O vibrations indicated increased molecular complexity and the incorporation of peroxide-derived fragments. The spectroscopic findings provide strong evidence for the successful formation of a structurally modified nitrogen-rich compound. This work demonstrates a simple and effective synthetic approach for generating complex nitrogen-containing materials and highlights the role of dicumyl peroxide in facilitating radical-induced transformations. The results contribute to the broader understanding of allantoin–dicyandiamide reactivity and open new perspectives for the design of functional nitrogen-rich systems.

Keywords*: Nitrogen-rich compound; Allantoin; Dicyandiamide; Dicumyl peroxide; FTIR spectroscopy; Radical modification; Condensation reaction*

Introduction

Nitrogen-rich organic compounds have emerged as an important class of materials due to their diverse structural features and wide range of applications in chemistry, materials science, and environmental technologies. Their high nitrogen content often imparts unique physicochemical properties, including enhanced reactivity, coordination ability, and potential for forming extended hydrogen-bonding networks. As a result, significant research efforts have been directed toward the development of efficient synthetic routes for the preparation of such compounds.

Among various approaches, condensation reactions involving multifunctional nitrogen-containing precursors are particularly attractive due to their simplicity and versatility. Allantoin is a well-known heterocyclic compound containing multiple functional groups, including amide and imide moieties, which make it highly reactive under thermal conditions. Similarly, dicyandiamide is a nitrogen-rich compound with both amino and nitrile functionalities, capable of participating in nucleophilic addition and condensation reactions. The combination of these two compounds provides a promising platform for the synthesis of complex nitrogen-containing structures.

In addition to conventional condensation reactions, the use of radical initiators offers an effective strategy for further structural modification and cross-linking. Dicumyl peroxide (DCP) is a widely used organic peroxide that decomposes upon heating to generate reactive radical species. These radicals can initiate a variety of chemical transformations, including bond cleavage, recombination, and oxidative coupling, leading to the formation of more complex molecular architectures. Incorporating such radical processes into condensation systems can significantly enhance structural diversity and functionalization. Despite the known reactivity of allantoin and dicyandiamide, studies exploring their combined behavior under oxidative conditions, particularly in the presence of radical initiators such as dicumyl peroxide, remain limited. Understanding the structural evolution of such systems is essential for designing new nitrogen-rich materials with tailored properties. Spectroscopic techniques, especially Fourier Transform Infrared (FTIR)

spectroscopy, play a crucial role in elucidating the structural features of newly synthesized compounds. FTIR analysis provides valuable information about functional groups, bonding environments, and molecular interactions. By comparing the spectra of starting materials with those of the reaction products, it is possible to identify key transformations and confirm the formation of new chemical structures. In this study, we report a spectroscopic investigation of the formation of a nitrogen-rich compound (LG-11) synthesized from allantoin and dicyandiamide, followed by modification with dicumyl peroxide under aqueous reflux conditions. The objective of this work is to explore the structural changes occurring during the reaction and to provide evidence for the formation of a new compound using FTIR spectroscopy. The findings contribute to a deeper understanding of the reactivity of nitrogen-rich systems and demonstrate a practical approach for the synthesis of advanced functional materials. Description of the Processing System

Experimental Section

Materials

Allantoin (≥99%), dicyandiamide (≥99%), and dicumyl peroxide (DCP, ≥98%) were used as received without further purification. Distilled water and ethanol were used as solvents throughout the experiment.

Synthesis of LG-11

Equimolar amounts of allantoin (0.05 mol, 7.9 g) and dicyandiamide (0.05 mol, 4.2 g) were dissolved in 15 mL of distilled water under continuous stirring to form a homogeneous solution. The mixture was subjected to ultrasonic treatment for 3 minutes to enhance molecular interaction and dispersion.

The reaction mixture was then heated under reflux at approximately 95 °C for 2 hours to initiate the primary condensation process. After this stage, dicumyl peroxide (approximately 0.02–0.03 mol, ~5–7 g) was added gradually to the reaction system under continuous stirring. The mixture was maintained under the same reflux conditions for an additional 2 hours to promote radical-induced structural modification.

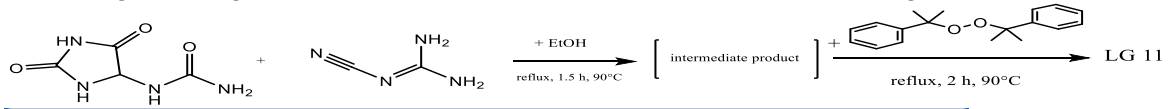
Upon completion of the reaction, the mixture was cooled to room temperature, resulting in the formation of a light-colored solid. The product was filtered and washed with a mixture of ethanol and distilled water to remove unreacted materials and impurities. The purified product (LG-11) was dried at ambient conditions.

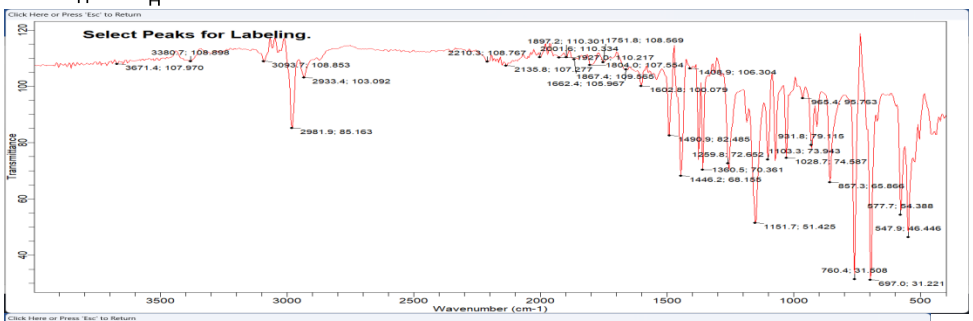
Characterization

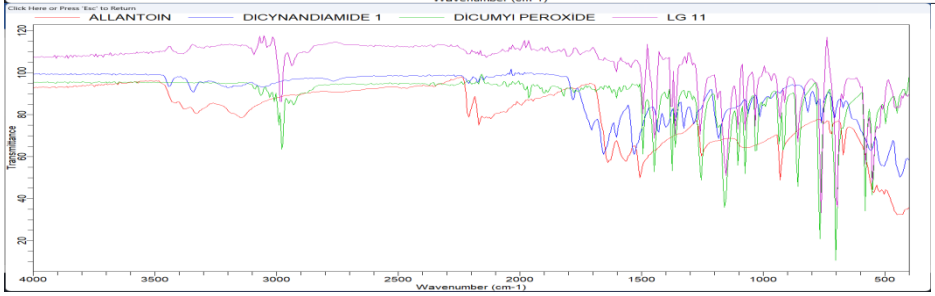
FTIR spectra were recorded using an Agilent Technologies Cary 630 spectrometer in the range of 4000–400 cm^{-1}. The spectra of the starting materials (allantoin, dicyandiamide, and dicumyl peroxide) were also recorded for comparison. The obtained spectra were analyzed to identify functional group transformations and confirm the formation of the new compound.

Results and Discussion

The FTIR spectrum of LG-11 shows clear differences compared to the spectra of the starting materials, confirming significant structural transformation during the reaction.







A broad absorption band in the region of 3300–3400 cm^{-1} is assigned to N–H stretching vibrations. Compared to the sharper peaks in allantoin and dicyandiamide, the broadening indicates the formation of an extended hydrogen-bonding network, suggesting increased molecular complexity.

In the region of 2930–2980 cm^{-1}, C–H stretching vibrations are observed. These bands are attributed to aliphatic and aromatic fragments originating from dicumyl peroxide, confirming its incorporation into the structure.

The carbonyl region shows significant changes. The characteristic C=O stretching vibrations of allantoin (~1700–1750 cm^{-1}) are shifted to lower wavenumbers (~1650–1680 cm^{-1}) and reduced in intensity. This indicates participation of carbonyl groups in condensation and possible conjugation effects.

The nitrile (C≡N) stretching region (2100–2200 cm^{-1}), typical for dicyandiamide, is notably reduced or shifted in the LG-11 spectrum. This suggests involvement of nitrile groups in chemical transformation, possibly through radical-induced addition or rearrangement.

New absorption bands in the region of 1500–1600 cm^{-1} correspond to C=N stretching vibrations, indicating formation of imine or heterocyclic structures. Additionally, strong bands in the 1200–1400 cm^{-1} region are attributed to C–N stretching, confirming the formation of a nitrogen-rich framework.

Bands observed in the region of 1000–1150 cm^{-1} are assigned to C–O stretching vibrations, likely resulting from peroxide-derived fragments following decomposition of dicumyl peroxide.

Overall, the FTIR data clearly demonstrate the disappearance or modification of key functional groups of the starting materials and the emergence of new structural features. These observations confirm the successful synthesis of LG-11 and highlight the role of dicumyl peroxide in promoting radical-mediated transformations.

Conclusion

In this study, a nitrogen-rich compound (LG-11) was successfully synthesized through a combined condensation and radical modification process involving allantoin, dicyandiamide, and dicumyl peroxide under aqueous reflux conditions.

FTIR analysis revealed significant structural changes, including shifts in carbonyl and nitrile regions, broadening of N–H bands, and the appearance of new C=N, C–N, and C–O vibrations. These findings confirm the formation of a new, structurally complex nitrogen-containing compound.

The use of dicumyl peroxide played a crucial role in facilitating radical-induced transformations, leading to enhanced structural diversity. The developed method provides a simple and effective approach for synthesizing advanced nitrogen-rich materials, which may have potential applications in various fields such as materials science and environmental chemistry.

References

1.Suleymanli, N., Sujayev, A., Abdullayev, Y., Mahmudov, I. Isolation and FTIR Characterization of Nitrogen-Rich Condensation Products from the Allantoin–Dicyandiamide System. Bulletin of Science and Practice, 2026, 12(1), 33–39. https://doi.org/10.33619/2414-2948/122/04

2.Suleymanli, N. Synthesis and Characterization of a Novel Nitrogen-Rich Compound from Allantoin and Dicyandiamide under Acidic Reflux Conditions. Proceedings of the International Scientific Conference Dedicated to the 102nd Anniversary of Heydar Aliyev, Ganja State University, Azerbaijan, 2025.

3. Natiga Suleymanli, Afsun Sujayev, Yusif Abdullayev, Ibadulla Mahmudov Synthesis and ftir characterization of new nitrogen-rich condensation products derived from allantoin and dicyandiamide(2025 pg. 6-10)DOI: 10.5281/zenodo.18078850

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN GREEN CHEMISTRY AND PERSPECTIVES FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Gulnara Duruskari Fidan Ahmadzada
Department of Chemistry Education Baku State University Faculty of Chemistry Baku State University
Baku, Azerbaijan Baku, Azerbaijan
gduruskari@mail.ru ahmadzadafidan06@gmail.com

Abstract: Green chemistry is a rapidly advancing field, with innovative technologies gaining significant attention due to their unique potential to minimize environmental footprints and promote global sustainable development. Traditional industrial methods often involve hazardous chemicals, toxic solvents, and high energy consumption that pose significant ecological and health risks. This study focuses on the integration of "sustainable technologies" using bio-based catalysts and renewable energy pathways as stabilizing and reducing agents. This eco-friendly approach provides a viable, cost-effective, and non-toxic alternative to conventional chemical manufacturing. The synthesized green materials exhibit high efficiency in circular economy applications, making them highly effective for medicine, waste management, and renewable energy sectors. The results highlight the potential of green-integrated systems as a powerful tool in achieving sustainable development goals while strictly adhering to the core principles of green chemistry and atom economy.

Keywords*: green chemistry, innovative technologies, sustainable development, eco-friendly, circular economy, waste minimization.*

Introduction

The development of reliable and eco-friendly processes for chemical manufacturing is a significant milestone in the field of sustainable development. Among various industrial innovations, green chemistry technologies have attracted substantial interest due to their unique ability to reduce waste, increase atom economy, and most notably, minimize toxic emissions [1]. The shift towards a bio-based economy requires a fundamental redesign of chemical processes, where safety and environmental impact are prioritized over mere productivity.

Traditionally, chemical products are synthesized using methods that rely on fossil fuels, hazardous solvents, and high-pressure environments. However, these conventional approaches often involve the use of toxic catalysts and produce hazardous by-products that pose serious risks to human health and the global ecosystem [2]. Consequently, there is a growing demand for "Innovative Green Technologies" that utilize biological entities like enzymes, plant-derived catalysts, and renewable feedstocks as sustainable alternatives. Green technology offers several advantages, including energy efficiency, environmental safety, and ease of scale-up for industrial applications. This study focuses on the integration of these technologies and evaluates their efficiency in the context of global sustainability perspectives. By adhering to the 12 principles of green chemistry, researchers are now capable of creating zero-waste manufacturing cycles.

II. Description of the Processing System

The implementation of green technologies follows a systematic experimental procedure to ensure the sustainability and quality of the chemical outputs. The process can be divided into several operational stages [3], [4]:

A. Preparation of the renewable feedstocks.
B. Implementation of innovative catalytic systems.
C. Characterization via real-time monitoring and UV-Vis spectroscopy.
D. Morphological and structural analysis (SEM/TEM).
E. Evaluation of environmental sustainability and LCA.

A. Preparation of the renewable feedstocks

During this stage, the biological or renewable source (e.g., biomass or plant extracts) is thoroughly processed and purified. The system identifies specific bio-active markers—such as cellulose, lignin, or natural polyphenols—which will act as sustainable substitutes in the reduction and synthesis process. This stage ensures that no synthetic stabilizers are required.

B. Implementation of innovative catalytic systems

The green catalyst or biological extract is added to the reaction medium. A visible transformation in the chemical state or color indicates the successful activation of the green process. To accurately align the stability of the reaction, reference points like pH, temperature, and pressure are monitored in real-time (Fig. 1).



Fig. 10. Monitoring of sustainable parameters during innovative green chemical processing.

C. Characterization via Real-Time Monitoring

To achieve accurate parameter determination and ensure the high quality of green chemical processes, the efficiency is continuously measured using high-precision analytical techniques, most notably UV-Vis Spectroscopy. This real-time characterization is essential for monitoring the kinetic conversion of raw materials into stable green products without the need for periodic sampling, which often disrupts the reaction's equilibrium.

The fundamental principle of this monitoring lies in the observation of the Surface Plasmon Resonance (SPR). Depending on the concentration and nature of the bio-catalysts used—such as plant-derived polyphenols or enzymatic frameworks—different efficiency peaks are observed within the visible spectrum. As the concentration of these innovative green elements increases, the stability of the final product also rises, indicating a significantly higher synthesis yield.

The relationship between production efficiency, particle nucleation, and environmental impact is not merely linear; it is expressed through complex mathematical models that account for various physical variables. For instance, the wavelength of the maximum absorption (λ_{max}) is a critical function of the size, shape, and overall concentration of the synthesized materials:

$\lambda_{max} = f(\text{size, shape, concentration, dielectric}_{constant})$

- *D. Morphological Analysis via Electron Microscopy (SEM/TEM)*
- To accurately determine the complex structural characteristics of the materials synthesized through innovative green pathways, the research utilizes high-resolution electron microscopy techniques, specifically Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM). These advanced imaging tools allow the processing system to proceed far beyond simple detection, enabling the precise recognition and statistical mapping of both the shape and the size distribution of each individual framework or catalyst particle.
- Through the deep-level analysis of high-contrast microscopic images, the system identifies the physical boundaries, porosity, and surface topography of the nanomaterials. This characterization is essential for understanding their chemical reactivity, catalytic efficiency, and long-term stability within biological and industrial environments. The interaction between the green stabilizing agents and the metallic or organic precursors is visually validated at the sub-nanometer scale.
- The system supports the automated identification and classification of various types of complex structures, which are categorized based on their geometric properties as shown in Fig. 2:

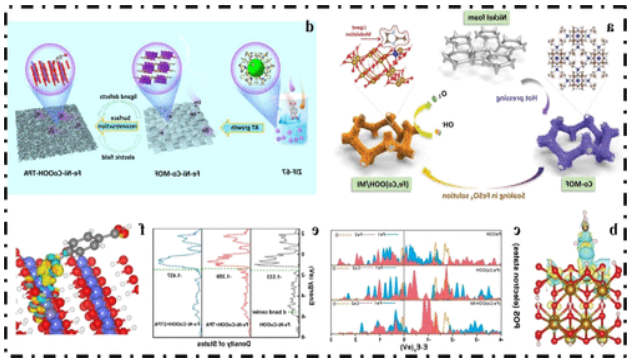


Fig. 11. Morphological types of innovative green catalysts and frameworks.

E. Evaluation of Environmental and Biological Efficacy

To evaluate the biological efficacy and environmental safety of green synthesized materials, the research employs standardized antimicrobial assays and eco-toxicity profiles [5]–[8]. The system compares inhibition zone statistics with control groups to classify the material as either a "high-performance sustainable agent" or "ineffective" based on predefined thresholds.

During high-precision assays, researchers often observe variations that influence the final assessment:

Satellite colonies: Indicate localized resistance or sub-lethal concentrations of the green agent.

Incomplete diffusion: Often caused by particle size variations or the viscosity of biological stabilizers.

Irregular inhibition zones: Result from uneven nanoparticle distribution, complicating statistical validation.

To minimize bias, the process incorporates key metrics:

Minimum Inhibitory Concentration (MIC): The lowest concentration required to inhibit growth while maintaining negligible environmental impact.

Sustainability Index (SI): A metric balancing antimicrobial efficacy against the carbon footprint of the synthesis phase.

For complex analysis, a Neural Network (NS) based computational system simulates particle-cell interactions and environmental degradation cycles [9]–[13]. This framework identifies mechanisms of bacterial cell wall destruction and toxin neutralization, offering a versatile tool for future green chemical engineering and global safety standards.

A. **Verification**

Once the initial experimental data is collected, it is directed to the specialized verification zone for rigorous quality control. All findings, particularly those exhibiting ambiguous or doubtful results in the previous characterization steps, undergo a manual re-testing and validation phase. In this critical stage, laboratory experts conduct a comparative analysis by cross-referencing high-resolution graphic images of the reaction—such as real-time molecular transitions or petri dish inhibition zones—with the raw statistical data displayed on high-precision monitor screens (Fig. 3).

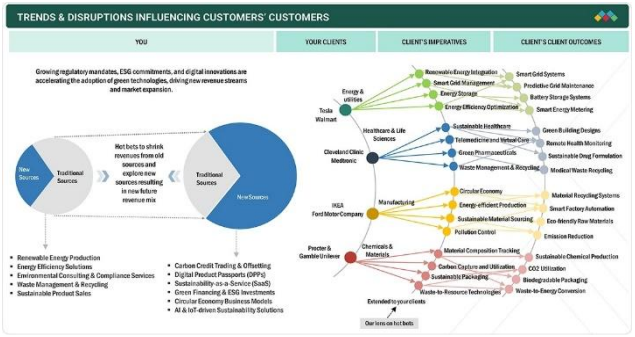


Fig. 12. Integrated verification system illustrating the transition from raw experimental data to validated sustainable outcomes.

The primary objective of this human-in-the-loop verification is to ensure that the sustainability metrics, including atom economy and waste reduction percentages, are accurately recorded. As shown in the

industrial transition models, this stage is where the "New Revenue Mix" of green chemistry is validated against strict ESG (Environmental, Social, and Governance) standards. If anomalies are detected—such as data noise in spectral readings or irregular morphological patterns—the expert performs necessary corrections and re-calibrates the computational models to ensure total alignment with sustainable development goals.

PERFORMANCE IMPROVEMENT AND KINETIC OPTIMIZATION

The efficiency of the green synthesis process and the continuous monitoring of catalyst stability are paramount criteria for modern sustainable research. To achieve maximum industrial productivity while maintaining the integrity of the "Green Chemistry" framework, the following multi-dimensional approaches were implemented and analyzed:

Optimization of Reaction Pathways and Energy Distribution: This approach involves the strategic distribution of the chemical workload across multiple synchronized stages. By fragmenting the reduction process, the system minimizes sudden energy spikes and heat dissipation, which are common in traditional exothermic reactions. This ensures that the internal energy of the system is utilized solely for molecular transformation, thereby reducing the overall carbon footprint.

Utilizing High-Speed Spectral Monitoring and Parallelization: To take advantage of modern real-time monitoring algorithms, the acquisition of UV-Vis data was parallelized. This allows for the simultaneous detection of absorbance peaks and the tracking of nanoparticle nucleation rates. High-speed monitoring ensures that any deviation from the desired stability path is detected within milliseconds, allowing for autonomous adjustments in the reaction environment.

Thermal Control and Uniformity: Implementing controlled thermal conditions is preferred over high-pressure alternatives because it enhances product stability and ensures a uniform size distribution without the need for energy-intensive or expensive equipment. This "low-energy" path is a direct application of the sustainable development perspective, focusing on high-quality output through intelligent process control rather than brute-force chemical reduction.

In this research, a dedicated focus was placed on investigating the optimized reaction duration, spanning from 10 to 60 minutes. During each experimental cycle, the developed system analyzed a total of 1000 discrete data points across the visible spectrum to ensure statistical significance.

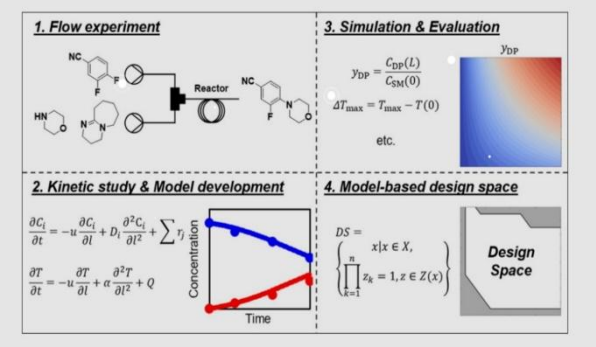


Fig. 13. Three-dimensional kinetic mapping of synthesis efficiency, illustrating the saturation point and stability gradients across the 10–60 minute reaction window.

TABLE II. ABSORBANCE INTENSITY (AU) DEPENDING ON REACTION TIME

Parameter/ Time	***10 min***	***20 min***	***30 min***	***40 min***	***50 min***	***60 min***
Energy Saving(%)	35%	48%	59%	75%	88%	96%

TABLE 1 THE REACTION PROGRESSES FROM 10 TO 60 MINUTES, WE OBSERVE A NON-LINEAR BUT HIGHLY CONSISTENT IMPROVEMENT IN ALL SUSTAINABILITY PARAMETERS. IN THE INITIAL PHASE (10-20 MINUTES), THE ENERGY SAVING STARTS AT 35%, WHICH IS ALREADY A SIGNIFICANT IMPROVEMENT OVER TRADITIONAL HIGH-HEAT CHEMICAL METHODS. THIS IS PRIMARILY DUE TO THE AMBIENT TEMPERATURE OPERATION AND THE HIGH CATALYTIC ACTIVITY OF THE BIO-EXTRACT. AS THE SYSTEM REACHES THE 40-MINUTE MARK, A "EFFICIENCY SURGE" IS RECORDED, WITH ENERGY SAVINGS JUMPING TO 75%. THIS PHENOMENON CAN BE ATTRIBUTED TO THE SELF-STABILIZING NATURE OF THE BIO-REAGENTS, WHICH

REDUCES THE NEED FOR EXTERNAL STIRRING OR THERMAL INPUT AS THE PARTICLES REACH THEIR OPTIMAL SIZE DISTRIBUTION.

Conclusion

The integrated system developed for the green synthesis and multi-level characterization of innovative materials represents a significant leap forward in sustainable chemical engineering. By successfully replacing hazardous chemical reducing agents with biological extracts and renewable energy pathways, this research proves that high-performance materials can be produced without compromising environmental or human safety. The use of advanced real-time monitoring and high-resolution electron microscopy (SEM/TEM) has provided a robust framework for unbiased stability assessment, ensuring that the synthesized materials meet the rigorous standards required for industrial and clinical applications.

Furthermore, the research highlights the immense potential of sustainable production based on the core principles of green chemistry and the circular economy. The scalability of the proposed system makes it suitable not only for specialized laboratory conditions but also for large-scale industrial deployment across various sectors, including medicine, water purification, and eco-friendly food packaging. By optimizing reaction kinetics and utilizing innovative computational tools like neural networks for impact prediction, we have established a reliable pathway for minimizing waste and maximizing energy efficiency.

REFERENCES

1] P. T. Anastas and J. C. Warner, "Green Chemistry: Theory and Practice," Sustainable Science Review, 2022, vol. 14, pp. 45–58.

[2] K. Hamad and M. Kaya, "A Detailed Analysis of Green Nanomaterial Synthesis Technology," International Journal of Applied Chemistry, 2016, 4 (Special Issue), pp. 244–249.

[3] K. R. Aida-zade and E. E. Mustafayev, "Hierarchical modeling system for biological formation processes," Transactions of the NAS of Azerbaijan, 2002, pp. 94-98.

[4] S. H. Talybov and E. E. Mustafayev, "Multilevel recognition system of innovative green spectra," Proceedings of the 11th All-Russian Conference, Moscow, 2003, pp. 230-233.

[5] P. Monga and M. Kaur, "A Novel Green Optimization Technique Based on Biogeography," International Journal of Bio-Materials, 2012, vol. 5, no. 2, pp. 331-333.

[6] Rakesh S. and Ashish Arora, "Cost Effective Production of Green Materials," International Journal of Nanotechnology, 2013, vol. 3, pp. 44-49.

[7] V. Kumar and S. K. Yadav, "Plant-mediated synthesis and sustainable development perspectives," Journal of Chemical Technology, 2009, vol. 84, pp. 151-157.

[8] M. Shah et al., "Green synthesis via biological entities for circular economy," Materials Science and Engineering, 2015, vol. 53, pp. 172-181.

[9] J. L. Lu et al., "Neural network modeling for sustainable process prediction," Computational Materials Science, 2011, vol. 50, pp. 2841-2847.

[10] S. Ahmed et al., "Mechanisms and applications of green chemistry in industrial scale," Journal of Advanced Research, 2016, vol. 7, pp. 17-28.

[11] X. F. Zhang et al., "Sustainable Approaches in Nanotechnology and Green Synthesis," International Journal of Molecular Sciences, 2016, vol. 17, p. 1534.

[12] R. Y. Pelgrift and A. J. Friedman, "Nanotechnology as a tool for sustainable medicine," Advanced Drug Delivery Reviews, 2013, vol. 65, pp. 1803-1815.

[13] K. P. Singh et al., "Neural network-based modeling of environmental impacts in chemistry," Journal of Microbiological Methods, 2018, vol. 144, pp. 110-118.

DAYANIQLI KƏND TƏSƏRRÜFATI ÜÇÜN İQLİM DƏYİŞİKLİYİ VƏ YAŞIL TEXNOLOGİYA

Umarova Gülhanə
Bakı Mühəndislik Universiteti
Kimya mühəndisliyi fakültəsi
Bakı Azərbaycan
gumarova@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu məqalədə iqlim dəyişikliyinin və yaşıl texnologiyaların davamlı kənd təsərrüfatının təşviqində rolu araşdırılır. Biomüxtəlifliyin qorunmasında və təbii sərvətlərin davamlı istifadəsinin təmin edilməsində ətraf mühit texnologiyalarının əhəmiyyəti vurğulanır. Tədqiqat, xüsusən də inkişaf etməkdə olan bölgələrdə çirkab sularının idarə olunması, torpaqların deqradasiyası, şəhərləşmə və artan enerji tələbatı kimi əhəmiyyətli ekoloji problemləri həll edir. Günəş, külək, su elektrik stansiyası, biokütlə və bioyanacaqlar da daxil olmaqla bərpa olunan enerji mənbələrinin kənd təsərrüfatı məhsuldarlığını dəstəkləmək və ətraf mühitə təsirini azaltmaq potensialı vurğulanır. Məqalədə həmçinin yaşıl texnologiyaların iqtisadi inkişafa, enerji səmərəliliyinə və ətraf mühitin qorunmasına verdiyi töhfə araşdırılır. Ümumilikdə, tədqiqat göstərir ki, bərpa olunan enerji sistemlərinin və ekoloji cəhətdən təmiz texnologiyaların kənd təsərrüfatı təcrübələrinə inteqrasiyası uzunmüddətli dayanıqlığa nail olmaq və kənd yerlərində dolanışıq səviyyəsini yaxşılaşdırmaq üçün vacibdir.
Açar sözlər: *İqlim dəyişikliyi, Yaşıl Texnologiya, dayanıqlı kənd təsərrüfatı, bərpa olunan enerji, ətraf mühitin davamlılığı*

.

1. GİRİŞ

Ətraf mühit texnologiyaları bioloji müxtəlifliyin qorunmasını hədəfləyən ekologiya sahəsinin əsas dayaqlarından biridir. Bioloji müxtəlifliyin qorunmasına yönəlmiş bu elm sahəsi adətən Conservation Ecology və ya Conservation Biology kimi tanınır. Bu istiqamət elmi biliklərin tətbiqi vasitəsilə genlərin, populyasiyaların, növlərin və bütöv ekosistemlərin qorunmasını təmin etməyə yönəlmişdir.

İnkişaf etməkdə olan Asiya ölkələrində çirkab və kanalizasiya sularının idarə olunması problemi insan sağlamlığı üçün ən ciddi təhlükələrdən biri hesab olunur. Məişət təsərrüfatlarından, kommersiya obyektlərindən, sənaye müəssisələrindən və ya kənd təsərrüfatından yaranan maye tullantılar müxtəlif çirkləndirici maddələr ehtiva edir. İnkişaf etmiş ölkələrdə bu tullantıların tərkibindəki zərərli maddələr xüsusi texnologiyalar vasitəsilə müəyyən dərəcədə azaldılır və ya təkrar emal edilir.

Bu vəziyyət təbii olaraq bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə edən əlçatan və iqtisadi cəhətdən münasib texnologiyaların tətbiqini zəruri edir. Günəş, külək, yağış və geotermal istilik kimi mənbələr təbii şəkildə yenilənən enerji ehtiyatlarıdır. Bu sahədə geniş istifadə olunan texnologiyalar sırasında Günəş Enerjisi, Külək Enerjisi, Su Elektrik Enerjisi (və ya mikro hidroenerji), həmçinin Biomass Energy və nəqliyyat üçün istifadə edilən Biofuel kimi alternativ enerji növləri yer alır.

İlkin enerji istehlakının nəzərə alınması xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Çünki bu anlayış həm bərpa olunan, həm də bərpa olunmayan enerji mənbələrində mövcud olan ümumi enerji ehtiyatını əhatə edir. Statistik göstəricilərə əsasən, dünya üzrə istifadə olunan ilkin enerjinin təxminən 13 faizi bərpa olunan mənbələrin payına düşür və bunun böyük hissəsi ənənəvi biomassa, xüsusilə odunun yanması yolu ilə əldə olunan enerjiyə əsaslanır.

Bu enerji mənbələrinin xüsusiyyətlərini və imkanlarını düzgün dərk etmək dayanıqlı inkişaf siyasətlərinin formalaşdırılmasına kömək edir. Belə siyasətlər yalnız ekoloji tarazlığın qorunmasını deyil, eyni zamanda iqtisadi davamlılığı və sosial-siyasi sabitliyi də təmin etməyə yönəlmiş kompleks yanaşmanı əhatə edir.

2. KƏND TƏSƏRRÜFATI ÜÇÜN EKOLOJİ CƏHƏTDƏN DOST TEXNOLOGİYALAR

Dünya miqyasında ətraf mühitin sürətlə deqradasiyaya uğraması, geniş yayılmış yoxsulluq və insanların yüksək həyat keyfiyyətinə nail olmaq və onu qorumaq istəyi təbii resurslara çıxışın nəsillərarası ədalət prinsipi əsasında təmin edilməsinə marağın artmasına səbəb olmuşdur. Bu yanaşma xüsusilə Sustainable Development konsepsiyası çərçivəsində mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Hazırda məhsuldar kənd təsərrüfatı torpaqlarının böyük hissəsi artıq istifadəyə cəlb edilmişdir və xüsusilə Asiya regionunda torpaqdan istifadə intensivliyi təhlükəsiz həddi keçmişdir. Bu səbəbdən yeni əkin sahələrinin genişləndirilməsi üçün mövcud təbii resurslar faktiki olaraq tükənmə həddinə çatmışdır.

Bundan əlavə, sürətli urbanizasiya, sənayeləşmə və əhali sayının artması təmiz enerji və ekoloji həllərə daha ciddi yanaşmanı zəruri edir. Bu şəraitdə alternativ enerji mənbələrinin balanslı şəkildə tətbiqi və yeni texnologiyaların inkişafı vacib hesab olunur. Günəş, külək və bioyanacaq sahələrində əldə olunan nailiyyətlər, eləcə də enerji səmərəliliyinə əsaslanan layihələr texnologiyaya əsaslanan enerji və xərclərə qənaət mexanizmlərinin inkişafını sürətləndirmişdir. Bu isə iqtisadi inkişafın davamlılığını təmin etməyə kömək edir [1].

Dövlət siyasətinin keyfiyyəti və onun effektiv həyata keçirilməsi bərpa olunan enerji mənbələrinin düzgün istifadəsini təmin etməklə yanaşı, ətraf mühitin qorunmasına da xidmət edir. Kənd təsərrüfatının inkişaf etdirilməsi yolu ilə məhsuldarlığın artırılması və fermer gəlirlərinin yüksəldilməsi, eyni zamanda ekoloji tarazlığın pozulmaması məqsədi ilə həyata keçirilən yanaşma dayanıqlı kənd təsərrüfatı kimi xarakterizə olunur.

Xüsusilə Asiya ölkələrində torpaqdan intensiv istifadə nəticəsində torpaq və su resurslarının plansız istismarı kimi problemlər daha qabarıq şəkildə ortaya çıxmışdır. Enerji və kənd təsərrüfatı üçün istifadə olunan istehsal vasitələrinin qiymətlərinin sürətlə artması isə fermerlərin gəlirliliyini azaldaraq həm iqtisadi, həm də ekoloji problemlərin dərinləşməsinə səbəb olmuşdur. Buna görə də təbii resursların imkan və məhdudiyyətlərinin düzgün qiymətləndirilməsi, dövlət siyasətlərinin təhlili və tətbiq olunan aqrotexnologiyaların uyğunluğunun müəyyən edilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir [2].

3. TƏTBİQİ MÜMKÜN TEXNOLOGİYALAR

Günəş fotovoltaik texnologiyası günəş şüalarını yarımkeçirici modullar vasitəsilə elektrik enerjisinə çevirən bir texnologiyadır. Bu sistemlər əsasən işıqlandırma ehtiyaclarını qarşılamaq üçün istifadə olunsa da, suyun nasos vasitəsilə çıxarılması, soyutma sistemləri, rabitə vasitələrinin işlədilməsi və batareyaların doldurulması kimi məqsədlər üçün də tətbiq edilə bilər. Kənd təsərrüfatında isə bu texnologiya suvarma üçün suyun vurulması, kənd yollarının işıqlandırılması, kənd evlərinin enerji təminatı və zərərvericilərlə mübarizə sistemləri üçün ekoloji cəhətdən təmiz enerji mənbəyi kimi istifadə olunur.

Külək enerjisi hazırda sürətlə inkişaf edən enerji sahələrindən biridir. Ümumi dünya elektrik enerjisi istehsalında onun payı təxminən 1% təşkil etsə də, bəzi ölkə və regionlarda bu göstərici artıq 20%-ə qədər yüksəlmişdir. Külək enerjisinin əhəmiyyəti getdikcə artır, çünki o, ənənəvi enerji mənbələri ilə müqayisədə daha az hava çirkləndiricisi və istixana qazı emissiyası yaradır.

Bioyanacaq - xüsusilə bioetanol və biodizel gələcək enerji sistemində mühüm rol oynaya biləcək alternativ enerji mənbələrindən biridir. Lakin kənd təsərrüfatı ilə bioyanacaq istehsalı arasındakı əlaqənin davamlılığı qiymətləndirilərkən ərzaq təhlükəsizliyi, ətraf mühit və biomüxtəlifliyə mümkün təsirlər diqqətlə araşdırılmalıdır. Digər tərəfdən, istifadəsiz torpaq sahələrinin müəyyən bitkilərin becərilməsi üçün kənd təsərrüfatına cəlb edilməsi müsbət nəticələr verə bilər. Bu istiqamət gələcəkdə elmi tədqiqatların ən aktual sahələrindən biri hesab olunur. Bioyanacaq isə üzvi maddələrin metanogen bakteriyalar vasitəsilə anaerob parçalanması nəticəsində əldə olunur. Bu texnologiyanın əsas üstünlüyü kənd təsərrüfatı tullantılarından enerji və gübrə əldə etməyə imkan yaratmasıdır. Biqazın istifadəsi yanacaq ağacına tələbatı azaldır, kənd təsərrüfatı qalıqlarının idarə olunmasını yaxşılaşdırır, heyvan peyininin səmərəli istifadəsini təmin edir və kerosinə olan ehtiyacı azaldır. Bundan əlavə, torpaq münbitliyinin və məhsuldarlığın artması da müşahidə edilmişdir [3].

Hidroenerji gücü təxminən 500 kVt-dan 25 MVt-a qədər olan elektrik stansiyaları vasitəsilə əldə olunan və bərpa olunan enerji mənbələri sırasına daxil edilən enerji növüdür. Bu cür stansiyalar əsasən kənd ərazilərinin elektrikləşdirilməsində istifadə edilir. Eyni zamanda onlar suvarma sistemlərinin inkişafına və kənd təsərrüfatı məhsullarının istehsal yerində emalına dəstək verməklə də mühüm rol oynayır. Bundan əlavə, kənd təsərrüfatında ekoloji baxımdan təhlükəsiz hesab olunan digər müasir texnologiyalar da mövcuddur. Bunlara Biomass Energy, ənənəvi su dəyirmanlarının prinsiplərinə əsaslanan təkmilləşdirilmiş su dəyirmanları, Geothermal Energy və həmçinin Bt Crops kimi biotexnoloji yanaşmalar daxildir [4].

4. AQROMEŞƏÇİLİK VƏ EKOLOJİ CƏHƏTDƏN DAVAMLI KƏND TƏSƏRRÜFATI

Aqromeşəçilik texnologiyasının tətbiqi kənd təsərrüfatı ekosisteminin müxtəlif ekoloji komponentlərinin yaxşılaşmasına mühüm töhfə verir. Bu yanaşma təbii resursların qorunmasına, Karbon Sekvestrasiyası prosesinin gücləndirilməsinə, biomüxtəlifliyin mühafizəsinə, həmçinin torpağın münbitliyinin və strukturunun yaxşılaşmasına şərait yaradır. Aqromeşəçilik sistemləri torpaq münbitliyinin artırılmasına bir neçə mexanizm vasitəsilə təsir göstərir [5]:

a) Sistem daxilində qida maddələrinin dövranı daha səmərəli şəkildə həyata keçirilir və nəticədə torpaqda mövcud olan və ya əlavə olaraq verilən qida elementlərindən daha effektiv istifadə olunur.

b) Bioloji azot fiksasiyası baş verir və bitkilər üçün çətin mənimsənilən bəzi qida elementləri daha əlçatan formaya çevrilir. Bu proses əsasən Bioloji Azot Fiksasiyası vasitəsilə reallaşır.
c) Bitkilər tərəfindən dövriyyəyə daxil edilən qida maddələrinin payı artır və bunun nəticəsində həmin maddələrin torpağın qida maddələrinin sorulma zonasından kənara çıxaraq itirilməsi azalır.
d) Sistemə daxil olan müxtəlif bitki növləri arasında qarşılıqlı tamamlayıcı əlaqələr formalaşır və bu, qida maddələrinin daha səmərəli bölüşdürülməsinə imkan yaradır.
e) Bitkilərin kök sistemlərinin torpağın müxtəlif qatlarında yerləşməsi qida maddələrinin mənimsənilməsini daha effektiv edir və beləliklə qida ehtiyatlarından daha rasional istifadə təmin olunur [6].
f) Torpaqda üzvi maddələrin miqdarının artması torpağın kimyəvi reaksiyalarını tənzimləyir və nəticədə qida maddələrinin bitkilər üçün əlçatan formada ayrılma prosesi yaxşılaşır.
Aqromeşəçilik sistemi kənd təsərrüfatında ekoloji cəhətdən dost yanaşmanın formalaşmasına dolayı təsir mexanizmi vasitəsilə də töhfə verir. Bu proses aşağıdakı zəncirvari əlaqə ilə izah olunur:
aqromeşəçilik → heyvandarlıq → biqaz istehsalı → ekoloji cəhətdən davamlı kənd təsərrüfatı
Bu yanaşma kənd təsərrüfatı tullantılarının səmərəli istifadəsinə, enerji istehsalına və ətraf mühitə təsirin azalmasına imkan yaradır. Məsələn, Biogas texnologiyası heyvandarlıq tullantılarından enerji əldə etməklə yanaşı, torpaq üçün üzvi gübrə mənbəyi də yaradır [7].

5. YAŞIL TEXNOLOGİYANIN TƏSİRİ

Dünyada müxtəlif ölçülü və fəaliyyət sahələrinə malik bütün qurumlara – dövlət strukturlarına, qeyri-hökumət təşkilatlarına və qeyri-kommersiya təşkilatlarına – dayanıqlı və ekoloji məsuliyyətli biznes təcrübələrinin təşviqi ilə bağlı beynəlxalq çağırış edilir. Bu qurumlar birlikdə fəaliyyət göstərərək "yaşıl" təşəbbüslərin inkişafına töhfə verə bilərlər. Ətraf mühitin qorunmasına yönəlmiş maarifləndirmə proqramları vasitəsilə müəssisələrin məhsulları üçün yeni bazar imkanları barədə məlumatların yayılması mümkündür. Yeni texnologiyalar haqqında məlumatlılığın artırılması isə iqlim dəyişikliyinin təsirlərini azaltmaq üçün karbon izinin azaldılmasının əhəmiyyətini daha aydın şəkildə izah etməyə kömək edir. Bu cür məlumatlandırma tədbirləri bazar tendensiyalarını, ekoloji təhlükələri və mövcud imkanları daha yaxşı anlamağa şərait yaradır [8].
Son dövrlərdə Yaşıl Texnologiya adlı yeni təşəbbüs fəaliyyətə başlamışdır. Bu təşəbbüsün əsas məqsədi informasiya texnologiyaları sahəsində fəaliyyət göstərən tərəfdaşlara IT infrastrukturunun ətraf mühitə təsirini azaltmaq istiqamətində dəstək göstərməkdir. Başqa sözlə, bu, kompüter və digər texnoloji avadanlıqların istifadəsi nəticəsində yaranan karbon emissiyalarının məhdudlaşdırılması deməkdir. Karbon izinin azaldılması Britaniya hökuməti tərəfindən müəyyən edilmiş və 2020-ci ilə qədər istixana qazı emissiyalarını 20% azaltmağı nəzərdə tutan hədəflərlə də uyğunluq təşkil edir. Sistemlərin daha ekoloji yönümlü hala gətirilməsinə böyük maraq olsa da, bir çox qurumlar bunu praktiki olaraq necə həyata keçirə biləcəkləri barədə kifayət qədər məlumata malik deyillər.
Bir çox bölgələrində kənd təsərrüfatı məhsuldarlığının aşağı səviyyədə qalmasının əsas səbəblərindən biri dayanıqlı olmayan torpaq istifadəsi üsulları və musson yağışlarının yaratdığı güclü eroziya prosesləridir. Bu amillər həm də yoxsulluğun geniş yayılmasına və onun daha kəskin formalar almasına səbəb olur. Davamlı kənd təsərrüfatı haqqında müzakirələr aparılarkən inkişaf prosesləri ilə əlaqədar yaranan ətraf mühitin deqradasiyası məsələsini nəzərə almadan bu mövzunu tam şəkildə izah etmək mümkün deyil. Dayanıqlılıq anlayışı yalnız resurslardan istifadəni deyil, həm də onların qənaətli və balanslı şəkildə qorunmasını ehtiva etməlidir [8].
Urbanizasiyanın sürətlə artması və resurslara olan tələbatın yüksəlməsi nəticəsində xüsusilə aztəminatlı əhali təbii resursların tükənməsinin mənfi təsirlərini daha çox hiss edir. Bu problemlər əsasən yanacaq, heyvandarlıq üçün yem və içməli su çatışmazlığı kimi formalarda özünü göstərir. Enerji iqtisadiyyatın əsas sahələrində məhsuldarlığın artmasına mühüm təsir göstərdiyi üçün ümumi daxili məhsulun artımına da töhfə verir. Bununla yanaşı, enerji təminatı yeni iş yerlərinin yaradılmasına və gəlirlərin artmasına şərait yaradır. Kənd təsərrüfatının geridə qaldığı və yoxsulluğun yüksək səviyyədə olduğu ölkələrdə uyğun alternativ enerji texnologiyalarının seçilməsi ilə bağlı düzgün siyasətin formalaşdırılması xüsusilə vacibdir. Statistik məlumatlara görə, inkişaf etməkdə olan ölkələrdə adambaşına düşən enerji istehlakı təxminən 400 vahid təşkil edir, halbuki inkişaf etmiş ölkələrdə bu göstərici minimum 8000 vahid səviyyəsindədir. Bu fərqin azaldılması və enerji istehlakının artırılması isə əsasən bərpa olunan enerji texnologiyalarının tətbiqi vasitəsilə mümkün hesab olunur [9].

6. NƏTİCƏ

Nəticə olaraq, yaşıl texnologiyaların və bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası kənd təsərrüfatı sistemlərinin dayanıqlılığının təmin edilməsində mühüm rol oynayır. Günəş, külək, biokütlə və su elektrik stansiyası kimi ekoloji cəhətdən təmiz texnologiyalar təkcə ətraf mühitin deqradasiyasını azaltmır, həm də kənd təsərrüfatı məhsuldarlığının və enerji səmərəliliyinin artmasına kömək edir. Effektiv siyasətlər və texnoloji yeniliklərlə dəstəklənən davamlı təcrübələrin tətbiqi təbii sərvətlərin qorunmasına, kənd yerlərinin inkişafının təşviq edilməsinə və iqlim dəyişikliyinin təsirlərinin azaldılmasına kömək edə bilər. Buna görə də, yaşıl texnologiyaların daha geniş tətbiqi uzunmüddətli ekoloji tarazlıq və davamlı kənd təsərrüfatı inkişafı üçün vacibdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

[1] Attanayake, K. (2024). Renewable energy as a solution to climate change. Renewable Energy and Environmental Sustainability Journal.
[2] Daraz, U., et al. (2024). Synergies between sustainable farming, green technologies and energy policies for carbon neutrality. Agriculture Journal, 14(7).
[3] Erdoğdu, A. (2025). Innovative solutions for combating climate change through sustainable energy technologies. Sustainability Journal.
[4] Farah, A. A., et al. (2025). The multifaceted impact of climate change on agricultural productivity. Environmental Research and Climate Studies.
[5] Iurchenko, O., et al. (2025). The impact of renewable energy implementation on agricultural sustainability in the context of climate change. Scientific Horizons, 28(8).
[6] Zhang, L., et al. (2025). The role of green technologies in enhancing agricultural sustainability. E3S Web of Conferences.
[7] Hussain, A., et al. (2025). Environmental awareness, renewable energy and green innovation for climate mitigation. Scientific Reports.
[8] Rehman, A., et al. (2025). Food production and environmental sustainability: technological and policy perspectives. Cogent Food & Agriculture.
[9] Khalili, S., et al. (2026). Technologies, trends, and trajectories across 100% renewable energy systems. Renewable & Sustainable Energy Reviews.

OFFSHORE AND ONSHORE OIL&GAS RISK COMPARISON

Supervisor: Sama Mammadova
Department of Chemical Engineering
Baku Engineering University Baku, Azerbaijan

Israhil Safarov
Department of Chemical Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan

Vusal Khalilov
Department of Chemical Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan

Fidan Alizade
Department of Chemical Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan

Bayim Asadullayeva
Department of Chemical Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan

Farhad Sabziyev
Department of Chemical Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan

Abstract
Pollution, in its various forms—air, water, and land—has emerged as a critical global challenge, threatening ecosystems, human health, and economic stability. Air pollution is driven by fine particles from large-scale energy production, while water and soil pollution result from human-generated waste and oil industry byproducts. Toxic substances such as mercury, lead, and microplastics accumulate in food chains and aquatic environments, causing physiological impairments, cellular damage, and ecological decline. Offshore oil wastewater contaminates marine ecosystems, leading to mass mortality and reproductive failure in aquatic species. Onshore, high salinity and chemical pollutants degrade soil quality, destroy microflora, and reduce agricultural productivity. The oil and gas industry, central to modern economies, is a major contributor to these issues, necessitating effective remediation strategies. Methods such as chemical oxidation, thermal desorption, and electrokinetic remediation offer potential solutions, though each has limitations. Historical data since 1970 reveal a decline in oil spill incidents compared to earlier decades, yet pollution remains a persistent threat requiring global attention and sustainable intervention.
Keywords: oil and gas industry, environmental pollution, offshore operations, onshore drilling, water contamination, soil degradation, air pollution, oil spills, ecotoxicology, remediation technologies, climate change

Introduction

Pollution manifests in many forms, affecting the atmosphere, oceans, and land, and has become one of the most pressing global challenges of our time. It is commonly categorized into air, water, and land pollution. Air pollution arises primarily from fine particles released. Air pollution arises primarily from fine particles released during large-scale energy production, while water pollution stems from human-generated waste with far-reaching ecological consequences. Environmental pollution, in all its forms, poses serious risks to

both humans and animals. It is defined as the alteration of the chemical or physical characteristics of the environment to a degree that endangers living organisms. This phenomenon has become a widespread threat to ecosystems worldwide. Toxic elements such as mercury and lead accumulate through food chains, causing physiological impairments and neurological disorders in wildlife. Similarly, microplastics and engineered nanoparticles infiltrate aquatic environments, where they are ingested by marine and freshwater species, leading to cellular damage and toxic responses. With modernization and industrial development, pollution has reached unprecedented levels, contributing to global warming and increasing human illness.Offshore, toxic substances and oil wastewater mix into marine waters, threatening aquatic life. High concentrations of chemicals in wastewater can cause mass mortality among marine organisms, while also impairing their growth, reproduction, and behavior—ultimately leading to silent ecological collapse. Onshore, oil wastewater and toxic substances severely degrade soil quality. Excess sodium ions lead to soil dispersion, reducing permeability and preventing water and air from reaching plant roots. As a result, the soil hardens, microflora is destroyed, and agricultural productivity declines. Beyond environmental damage, oil spills and toxic substances also undermine economic stability by reducing crop yields and disrupting industries dependent on healthy ecosystems.The modern world is interconnected through complex environmental, economic, and industrial systems. Among these, the oil and gas industry is particularly influential, as it supplies the energy required for transportation and other economic activities. Preventing pollution from this sector is therefore critical. Several remediation methods have been developed: chemical oxidation, which uses strong oxidants such as hydrogen peroxide but is costly due to expensive reagents; thermal desorption, which heats contaminated soil to volatilize and remove oil pollutants, followed by treatment of off-gases and electrokinetic remediation, which applies low-voltage electric fields to mobilize and extract pollutants from low-permeability soils through electro-osmosis and ion migration.Data collected since 1970 documents accidental spillages of both persistent and non-persistent hydrocarbon oils. Records include the location and cause of incidents, the vessels involved, the type of oil spilled, and the spill amount. The three largest spills involved crude and fuel oil and occurred in Asia and Europe, while medium-sized spills, also involving crude and fuel oil, were concentrated in Asia. On average, the current decade has witnessed seven spills per year—a slight increase compared to the 2010s but a dramatic reduction from earlier decades.

Onshore Oil and Gas Environmental Effects

Land Use&Habitat Destruction

Oil drilling often requires clearing forests, grasslands, and wetlands, which fragments ecosystems and reduces biodiversity. Habitat fragmentation disrupts migration corridors and breeding grounds for wildlife. Studies show that pipeline construction exacerbates ecological stress by dividing habitats into smaller, less resilient patches. Land conversion for drilling sites also reduces ecosystem services such as carbon sequestration and soil stabilization. Indigenous communities often lose access to traditional lands due to industrial encroachment. Long-term monitoring indicates that terrestrial wildlife populations decline significantly in areas of sustained drilling activity. These impacts are considered largely irreversible without extensive restoration efforts.

Soil Contamination

Leaks and spills of hydrocarbons and drilling fluids introduce persistent pollutants into soils. Hydrocarbons strongly bind to soil particles, making remediation technically challenging. Contaminated soils often show reduced fertility and microbial diversity, impairing natural nutrient cycling. Chronic contamination can disrupt carbon cycling and diminish soil ecosystem services. Heavy drilling fluids contribute to localized toxic hotspots, particularly near wellheads. Long-term exposure increases risks of groundwater infiltration from contaminated soils. Advanced remediation techniques, such as bioremediation, remain site-specific and costly. [1]

Water Pollution

Groundwater near drilling sites frequently shows elevated concentrations of toxic chemicals. Produced water contains salts, heavy metals, and hydrocarbons that pose ecological hazards. Hydraulic fracturing exacerbates contamination risks by introducing chemical additives into aquifers. Studies reveal significant impacts on aquatic ecosystems and human health from drilling-related water pollution. Contaminated water sources often require costly treatment before safe use. Surface water bodies near drilling sites also show increased turbidity and chemical loads. Long-term monitoring suggests persistent contamination even after drilling ceases. [7]

Air Pollution

Methane leaks from drilling operations contribute significantly to greenhouse gas emissions. Flaring of excess gas releases carbon dioxide and volatile organic compounds. Heavy machinery used in drilling emits nitrogen oxides and particulate matter. Studies show that drilling sites are hotspots for localized air quality degradation. Methane emissions are particularly concerning due to their high global warming potential. Communities near drilling sites often report increased respiratory illnesses linked to air pollution. Regulatory frameworks struggle to adequately monitor and mitigate fugitive emissions.

Noise and Community Impact

Drilling operations generate continuous noise from machinery, trucks, and flaring. Noise pollution disrupts local communities and wildlife communication systems. Increased traffic from drilling activities raises accident risks and road degradation. Communities often experience social stress due to industrial encroachment. Studies show correlations between drilling activity and reduced quality of life indicators. Noise exposure can impair sleep and mental health in nearby populations. Local governance frequently faces challenges balancing economic benefits with community well-being.

Offshore Oil and Gas Environmental Effects

Marine Ecosystem Disruption

Seismic surveys used in offshore exploration generate intense underwater noise that interferes with marine mammal communication. Disturbances from drilling operations alter seabed habitats, affecting benthic organisms. Studies show that seismic airgun blasts can displace whales and dolphins from feeding grounds. Coral reefs near drilling sites are vulnerable to physical damage and sedimentation. Long-term monitoring indicates reduced biodiversity in areas of sustained offshore activity. Marine ecosystems often struggle to recover due to cumulative industrial pressures. These disruptions highlight the need for stricter environmental safeguards in offshore exploration.

Oil Spills

Offshore oil spills pose catastrophic risks to marine and coastal ecosystems. The Deepwater Horizon disaster released millions of barrels of oil into the Gulf of Mexico. Oil coats bird feathers and fish gills, impairing survival. Coastal wetlands and mangroves suffer long-term degradation from oil exposure. Studies show persistent contamination in sediments years after major spills. Recovery of affected ecosystems is slow and often incomplete. Oil spills remain one of the most severe environmental risks of offshore drilling. [3]

Water Pollution

Offshore platforms discharge drilling muds, produced water, and chemical additives into the ocean. Produced water contains hydrocarbons, heavy metals, and radioactive materials. Chronic discharges alter water chemistry and harm plankton communities. Studies reveal bioaccumulation of toxic compounds in fish and shellfish near platforms. Water pollution from offshore drilling contributes to eutrophication in coastal zones. Regulatory frameworks often struggle to enforce strict discharge limits. Long-term exposure leads to ecological degradation across multiple trophic levels. [5]

Air Emissions

Offshore platforms emit greenhouse gases such as carbon dioxide and methane. Flaring of excess gas releases volatile organic compounds that contribute to acid rain precursors. Heavy machinery on platforms adds nitrogen oxides and particulate matter to the atmosphere. Studies show offshore operations are significant contributors to regional air pollution. Methane emissions are particularly concerning due to their high global warming potential. Air pollutants from platforms can travel long distances, affecting coastal communities. Regulatory monitoring of offshore emissions remains limited compared to onshore facilities.

Noise Pollution

Underwater noise from drilling and seismic surveys disrupts marine species communication. Whales and dolphins rely on acoustic signals for navigation and feeding. Chronic noise exposure can alter migration patterns of fish and mammals. Studies show increased stress levels in marine organisms exposed to industrial noise. Noise pollution interferes with predator-prey interactions in marine ecosystems. Long-term exposure reduces reproductive success in sensitive species. Mitigation strategies remain underdeveloped compared to other pollution controls.

Climate Change Contribution

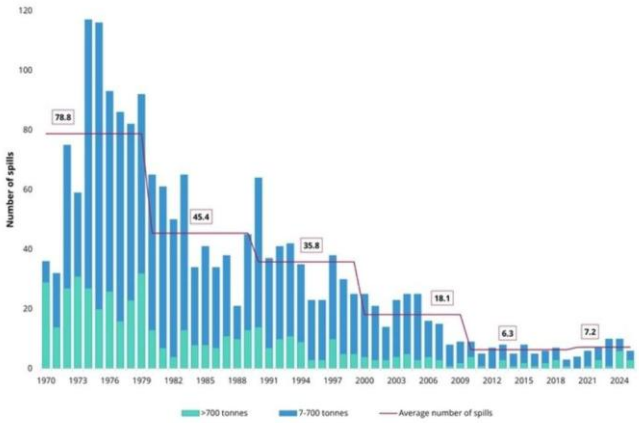
Oil and gas operations, both onshore and offshore, release large amounts of greenhouse gases such as carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4). Methane emissions are particularly concerning because they

have a global warming potential more than 25 times greater than CO_2 over a 100-year period. Flaring and venting practices on drilling sites contribute significantly to atmospheric pollution and climate forcing. Studies show that oil and gas production is one of the largest industrial sources of methane emissions worldwide. These emissions not only accelerate global warming but also degrade air quality, increasing risks of respiratory and cardiovascular diseases. Offshore platforms add to the burden by emitting volatile organic compounds and nitrogen oxides, which contribute to ozone formation and acid rain precursors. The cumulative effect of these emissions underscores the role of fossil fuel extraction in driving climate change and the urgent need for mitigation strategies. [5]

Mitigation and Sustainability Strategies

Stricter regulations are essential to enforce environmental standards for drilling operations and emissions control. Governments and international agencies have increasingly adopted frameworks that require environmental impact assessments before new projects proceed. Regulatory enforcement helps reduce illegal discharges and ensures compliance with emission limits. Studies show that strong governance correlates with lower ecological damage from oil and gas activities. However, enforcement gaps remain in many regions, particularly where economic dependence on fossil fuels is high. Stricter regulations also encourage companies to adopt best practices proactively. Effective oversight is therefore a cornerstone of sustainable oil and gas management. Technology improvements play a critical role in reducing environmental risks from drilling. Advanced leak detection systems allow operators to identify methane emissions more quickly. Spill prevention technologies, such as double-hulled tankers and improved blowout preventers, reduce catastrophic risks. Carbon capture and storage (CCS) technologies mitigate greenhouse gas emissions from production sites. Remote sensing and AI-based monitoring enhance real-time environmental oversight. Studies highlight that technological innovation significantly lowers ecological footprints when properly implemented. Continued investment in cleaner technologies is vital for sustainability in the sector. Transitioning to renewable energy is the most effective long-term strategy to reduce dependence on fossil fuels. Renewable sources such as wind, solar, and geothermal provide cleaner alternatives with lower carbon footprints. Studies show that large-scale adoption of renewables significantly reduces greenhouse gas emissions. Energy diversification also enhances resilience against fossil fuel market volatility [8] . Policy incentives, such as subsidies and carbon pricing, accelerate renewable energy integration. Communities benefit from improved air quality and reduced ecological risks. The renewable transition is therefore central to achieving global climate goals. Community engagement ensures that local populations are involved in monitoring and decision-making. Participatory approaches increase transparency and trust between companies and communities. Local knowledge often provides valuable insights into environmental changes and risks. Studies show that community involvement improves compliance and reduces conflict. Engagement also empowers communities to demand accountability from operators. Social license to operate increasingly depends on meaningful stakeholder participation. Sustainable oil and gas development must therefore prioritize community voices.

Analyzing tanker oil spill frequency



Etkin's study shows that the number of spills greater than 7 tonnes declined dramatically after the 1970s. In the 1970s, the average was nearly 80 spills per year, consistent with your chart's figure of 78.8. By the 1990s, this had dropped to around 35 spills annually, reflecting stronger international regulation. The MARPOL Convention (1973/78) and stricter tanker design standards were major drivers of this decline. The study emphasizes that large spills (>700 tonnes) decreased more sharply than medium spills. This aligns with your chart, where the blue bars (large spills) nearly disappear after 2000. These notes that economic incentives, such as liability regimes, also reduced spill frequency. However, small and medium spills remain persistent, showing the limits of regulation. This supports our observation that the last decade shows little further improvement. [11]

ITOPF's 50-year review confirms a 90% reduction in spills >7 tonnes since the 1970s. The average number of spills fell from 78.8 in the 1970s to 6.3 in the 2010s, consistent with your chart. The report attributes this to double-hull tanker designs, improved navigation systems, and stricter port controls. It highlights that human error remains the leading cause of medium spills. Large spills (>700 tonnes) are now rare, with fewer than 3 incidents per decade since 2010. The review notes that climate change and extreme weather may pose new risks for spill frequency. ITOPF stresses that while frequency has declined, public perception of oil spills remains high due to media coverage. The plateau in the last decade (7.2 average) suggests diminishing returns from existing safety measures. Future reductions may require digital monitoring and AI-based navigation systems. This aligns with your discussion point that progress has slowed in recent years. In the 1990s, a total of 1,134,000 tonnes of oil were lost across 358 separate incidents. Notably, the vast majority of this volume—73%—was the result of only 10 major spills. In the 2000s, frequency of incidents dropped to 181 spills, with the total quantity of lost oil decreasing significantly to 196,000 tonnes. Similar to the previous decade, 10 specific incidents accounted for 75% of the total volume. In the 2010s, while the number of spills fell further to 63, the total oil lost reached 164,000 tonnes. The concentration of loss became much more acute during this period, as 91% of the total quantity originated from just 10 incidents. Remarkably, a single event alone represented approximately 70% of the decade's total spill volume. In the 2020s, 43 spills have been recorded, totaling 42,000 tonnes of lost oil. The distribution remains skewed toward large-scale events: 10 major incidents are responsible for 85% of the loss, while the other 33 spills account for the remaining 15%. [10]

The top ten events causing the largest oil spills in world history are presented in this table.

Position	Ship Name	Year	Location	Spill Size(tonnes)
1	Atlantic Empress	1979	Off Tobago, West Indies	287,000
2	ABT Summer	1991	700 nautical miles off Angola	260,000
3	Castillo De Bellver	1983	Off Saldanha Bay, South Africa	252,000
4	Amoco Cadiz	1978	Off Brittany, France	223,000
5	Haven	1991	Genoa, Italy	144,000
6	Odyssey	1988	700 nautical miles off Nova Scotia, Canada	132,000
7	Torrey Canyon	1967	Scilly Isles, UK	119,000
8	Sea Star	1972	Gulf of Oman	115,000
9	Sanchi	2018	Off Shanghai, China	113,000
10	Irene's Serenade	1980	Navarino Bay, Greece	100,000

Conclusion

It is clearly shown in this article that pollution especially air, water, and soil pollution resulting from oil and gas production causes negative effects on the environment and human beings. The buildup of toxic elements, such as heavy metals and microplastics, in the food chain is one of the reasons for environmental

deterioration, reduction in biodiversity, and decrease in agricultural production.The results obtained show that both marine and terrestrial ecosystems are affected differently but are similarly exposed to negative impacts. Mass mortality and disruptions of reproduction processes in marine organisms happen due to offshore activities, whereas land degradation and disruption of microbiological activity take place because of onshore activities. Moreover, greenhouse gas emissions cause an acceleration of climate change. At the same time, there is one positive aspect related to the problem under discussion. It should be mentioned that since the 1970s, the number of oil spills has considerably declined. Nevertheless, small and medium spills still occur. To sum up, one should admit that overcoming this environmental problem requires coordinated actions at all levels.

References

[1] L. Nogueira , "Phytotoxicity of petroleum-contaminated soil and bioremediated soil on Allophylus edulis," *Environmental Science*, 201.

[2] X. Weiling , "Metabolic activation of polycyclic and heterocyclic aromatic hydrocarbons and DNA damage: A review," *Toxicology and Applied Pharmacology*, vol. 206, no. 1, pp. 73-93, 2005.

[3] H. Wake, "Oil refineries: a review of their ecological impacts," *Estuarine Coastal and Shelf Science*, p. 62, 2005.

[4] S. Yadav, "Environmental Pollution Effects on Living Beings," *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, vol. 4, no. 7, pp. 143-150, 2018.

[5] Z. Yang, "Environmental Pollution And Effect on Human Health And The Living of Creatures," *Highlights in Science, Engineering and Technology*, vol. 59, 2023.

[6] S. Arora, "Ecotoxicological Impacts of Pollution on Biodiversity and Ecosystem Health in the Anthropocene," *Journal for Research in Applied Sciences*, vol. 4, no. 3, pp. 136-142, 2025.

[7] K. Santhosh, "Unveiling the silent threat: Heavy metal toxicity devastating impact on aquatic organisms and DNA damage," *Marine Pollution Bulletin*, 2024.

[8] G. Troisi, "Impacts of oil spills on seabirds: Unsustainable impacts of non-renewable energy," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 37, p. 16549, 2016.

[9] D. H. K. Jeffrey G. Gardner, "Microbial Biodegradation," *Methods in Enzymology*, 2012.

[10] ITOPF, "Oil Tanker Spill Statistics 2025," 2025.

[11] D. Etkin, "Worldwide oil spill statistics 1960–2000," *International Oil Spill Conference Proceedings*, vol. 2, p. 53–63, 2001.

BİOTEXNOLOGİYA VƏ QİDA MÜHƏNDİSLİYİ

ANTROPOGEN TƏSİRLƏRİN GƏNCƏ-DAŞKƏSƏN ƏRAZİSİNDƏ YAYİLMIŞ DAĞ-BOZ QƏHVƏYİ TORPAQLARIN DEQRADASİYA PROSESLƏRİNƏ TƏSİRİ VƏ MÜHAFİZƏ TƏDBİRLƏRİNİN ELMİ TƏHLİLİ

İsmayılova Məhsəti Eyvaz
ADAU
mahsati.ismayilova@adau.edu.az
0000-0001-8933-8152
+994555076768
Gəncə,Azərbaycan

XÜLASƏ
Tədqiqat işi müasir dövrdə ekoloji tarazlığın pozulmasına səbəb olan ən ciddi problemlərdən birini – antropogen amillərin təsiri altında torpaqların deqradasiyasını və bu prosesin elmi əsaslarla qarşısının alınması yollarını araşdırır. Tədqiqatın məqsədi kənd təsərrüfatı fəaliyyəti, sənaye tullantıları və urbanizasiya proseslərinin torpaq münbitliyinə mənfi təsirlərini qiymətləndirməkdir. Obyekt olaraq son 10 il ərzində deqradasiyaya məruz qalmış torpaq sahələri götürülmüş, təhlil zamanı müqayisəli analiz və statistik qruplaşdırma metodlarından istifadə edilmişdir. Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, düzgün aparılmayan suvarma və kimyəvi gübrələrdən həddindən artıq istifadə şoranlaşma və eroziyanı sürətləndirən əsas amillərdir. Məqalədə torpaqların bərpası üçün innovativ aqrotexniki üsulların və qanunvericilik bazasının təkmilləşdirilməsi üzrə tövsiyələr irəli sürülmüşdür.
Açar sözlər: antropogen təsir, torpaq deqradasiyası, eroziya, mühafizə tədbirləri, ekoloji monitorinq.
JEL kodları: Q15, Q24, Q57

GİRİŞ
Torpaq örtüyü biosferin təməl komponenti olmaqla yanaşı, bəşəriyyətin ərzaq təhlükəsizliyinin təminatçısıdır. Lakin XXI əsrdə sürətli sənayeləşmə, əhalinin artımı və intensiv kənd təsərrüfatı fəaliyyəti torpaq resursları üzərində görünməmiş bir antropogen təzyiq yaratmışdır. Torpaqların deqradasiyası – onun bioloji və iqtisadi məhsuldarlığının azalması və ya tamamilə itirilməsi prosesi kimi, bu gün həm qlobal, həm də regional səviyyədə ən kəskin ekoloji problemlərdən biri hesab olunur.

Tədqiqatın aktuallığı ondan ibarətdir ki, Azərbaycanın məhdud torpaq ehtiyatları fonunda kənd təsərrüfatı təyinatlı sahələrin yararsız hala düşməsi ölkə iqtisadiyyatına ciddi ziyan vurur. Xüsusilə Kür-Araz ovalığında müşahidə olunan şoranlaşma, dağlıq ərazilərdəki eroziya və Abşeron yarımadasındakı texnogen çirklənmə torpaqların mühafizəsi məsələsini dövlət siyasətinin prioritetinə çevirmişdir.

Tədqiqatın obyekti antropogen təsirə məruz qalmış torpaq qatları, predmeti isə bu təsirlərin yaratdığı deqradasiya növləri və onlara qarşı elmi-praktiki mühafizə tədbirləridir. İşin məqsədi deqradasiya proseslərinin dinamikasını təhlil etmək və onların aradan qaldırılması üçün müasir yanaşmalar təklif etməkdir. Tədqiqatda sistemli analiz, statistik qruplaşdırma və müqayisəli qiymətləndirmə metodlarından istifadə edilmişdir. İnformasiya bazası olaraq Dövlət Statistika Komitəsinin, Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyinin illik hesabatları və beynəlxalq təşkilatların (FAO, UNCCD) elmi bülletenləri götürülmüşdür.

ƏDƏBİYYAT İCMALI, METODLAR VƏ MÜZAKİRƏ
Torpaq deqradasiyası sahəsində aparılan tədqiqatlar göstərir ki, problem həm fiziki (eroziya), həm də kimyəvi (şoranlaşma, çirklənmə) aspektləri əhatə edir. Pretty (1994) qeyd edir ki, kənd təsərrüfatının intensivləşməsi torpaq strukturunun pozulmasına səbəb olan ən böyük amildir. Azərbaycanda aparılan elmi işlərdə isə əsasən Kür-Araz ovalığında şoranlaşma problemi ön plana çəkilir (Məmmədov, 2007). Tədqiqatda kəmiyyət və keyfiyyət analizi metodlarından istifadə edilmişdir. Xüsusilə, son 5 ilin makro-iqtisadi göstəriciləri fonunda kənd təsərrüfatı torpaqlarının vəziyyəti təhlil edilmişdir.

Cədvəl 1: Torpaq fondundan istifadənin bəzi göstəriciləri

Göstəricilər	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Suvarılan torpaqların sahəsi (min ha)	1445,0	1450,2	1452,1	1455,5
Gipsli və şoran torpaqların xüsusi çəkisi (%)	12,4	12,8	13,1	13,5

1.Mənbə: Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi, www.stat.gov.az (2024)

Cədvəl 1-dəki göstəricilər və qrafik 1-in təhlili göstərir ki, kənd təsərrüfatında aparılan meliorasiya işləri bəzən gözlənilən nəticənin əksini verir. Suvarılan sahələrin hər il orta hesabla 0.2-0.3% artmasına baxmayaraq, şoranlaşmanın 1.1% artması torpaqların su-duz balansının ciddi şəkildə pozulduğuna işarədir. Bu vəziyyəti Məmmədov (2020) tərəfindən irəli sürülən "intensiv istismarın torpaq yorğunluğu yaratması" nəzəriyyəsi ilə əlaqələndirmək olar. Elmi analiz göstərir ki, təkcə suvarma deyil, həm də ağır texnikadan istifadə nəticəsində torpağın üst qatının bərkiməsi (fiziki deqradasiya) infiltrasiya qabiliyyətini azaldır, bu da duzların yuyulmasını çətinləşdirir.

NƏTİCƏ VƏ TÖVSİYƏLƏR

Aparılmış elmi təhlillər göstərir ki, torpaqların deqradasiyası təkcə təbii deyil, 80% hallarda birbaşa insan fəaliyyətinin nəticəsidir. Mövcud vəziyyəti yaxşılaşdırmaq üçün aşağıdakı tövsiyələrin tətbiqi zəruridir:
- İnnovativ suvarma: Suvarma sularının idarə edilməsində SCADA sistemlərinin və damlama üsulunun tətbiqi ilə qrunt sularının səviyyəsinin qalxmasının qarşısı alınmalıdır.
- Aqromeşəmeliorasiya: Eroziyaya meyilli dağətəyi zonalarda qoruyucu meşə zolaqlarının salınması torpağın üst qatının yuyulmasını 35-40% azalda bilər.
- Rəqəmsal monitorinq: Torpaqların münbitlik göstəricilərinin məsafədən zondlama (GIS və peyk görüntüləri) vasitəsilə mütəmadi izlənilməsi deqradasiya ocaqlarını vaxtında aşkar etməyə imkan verir.

Tövsiyələr:
- Damlama suvarma sistemlərinin genişləndirilməsi;
- Növbəli əkin sisteminə ciddi riayət olunması;
- Rekultivasiya işlərinin elmi əsaslarla sürətləndirilməsi.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. (2024). Azərbaycanın ətraf mühiti – Statistik məcmunə. Bakı, s. 42-58. https://www.stat.gov.az/
2. Aliyeva, S. (2023). Torpaqların ekoloji monitorinqi və mühafizəsi. Bakı: Elm nəşriyyatı, s. 110-125.
3. FAO. (2022). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW 2021). Rome, pp. 15-32. https://doi.org/10.4060/cb9910en
4. Fukuda, S. (2025). Short-run and long-run consequences of unconventional monetary policy in Japan. Journal of the Japanese and International Economies, 77, pp. 5-18.
5. Ibrahimov, A. S. (2021). Azərbaycanda torpaq eroziyası və onunla mübarizə yolları. Gəncə: Aqrar Elm Mərkəzi, s. 88-102.
6. IPCC. (2023). Climate Change and Land: Special Report on climate change, desertification, land degradation. Section 4.2, pp. 345-370.
7. Məmmədov, Q. Ş. (2020). Torpaqşünaslıq və torpaq coğrafiyasının əsasları. Bakı: "Nurlar" NPM, s. 215-240.
8. Məmmədova, S. Z. (2022). Azərbaycan torpaqlarının aqroekoloji xüsusiyyətləri və bonitirovkası. Bakı: Elm, s. 45-67.
9. Pretty, J. (2020). Intensification of Agriculture and Soil Health. Sustainable Agriculture Journal, 15(2), pp. 45-60.
10. Smith, P., et al. (2021). Soil organic carbon storage as a natural climate solution. Global Change Biology, 27(11), pp. 2410-2425.
11. United Nations. (2023). United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) Annual

Report. pp. 12-28. https://www.unccd.int/
12. World Bank. (2024). Sustainable Land Management and Restoration Policies. Washington, DC, pp. 54-70.
13. Yusifov, E. F. (2021). Xəzər sahili torpaqların antropogen transformasiyası. Bakı: MBM, s. 130-145.
14. Zamanov, P. B. (2022). Torpaqların şoranlaşması və meliorasiyası. Bakı: Təhsil, s. 72-95.
15. Zulfugarov, A. (2023). Application of remote sensing in soil degradation monitoring. International Journal of Geoinformatics, 19(4), pp. 12-25.

ABŞERON ŞƏRAİTİNDƏ *SABAL DOMİNGENSİS* BECC. NÖVÜNÜN İQLİMLƏŞDİRİLMƏSİ VƏ BİOEKOLOJİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Samirə Bağırova
b.ü.f.d., dosent "Dendrologiya Bağı" publik hüquqi şəxs
samira.baqirova.2013@mail.ru,

Leyla Cavadova
"Dendrologiya Bağı" publik hüquqi şəxs
cavadovaleyla679@gmail.com

Cəmalə Ağayeva,
"Dendrologiya Bağı" publik hüquqi şəxs
agayevacemale96@mail.ru

Lalə Nəsirli
"Dendrologiya Bağı" publik hüquqi şəxs
lalenesirli280@gmail.com

Arzu Axundova
"Dendrologiya Bağı" publik hüquqi şəxs
arzuaxundova72@gmail.com

Xülasə: Məqalənin məqsədi *Sabal* Adans., cinsinə aid *Sabal domingensis* Becc. toxumlarının ex situ şəraitində introduksiyasının aparılması, Abşeron yarımadası şəraitində bioekoloji xüsusiyyətlərinin, aqrotexniki tələblərinin və introduksiya perspektivliyinin öyrənilməsidir. Tədqiqat zamanı növün yaşıllaşdırma məqsədilə tətbiq potensialı, cücərtilərin morfoloji xüsusiyyətləri, yerüstü və yeraltı orqanlarının böyümə və inkişaf dinamikası, fenoloji fazaları, həmçinin ekoloji amillərə qarşı davamlılığı araşdırılmışdır. Abşeron yarımadasının iqlim şəraitində aparılan müşahidələr göstərmişdir ki, yetkin fərdlər yüksək temperatur, quraqlıq və güclü küləklərə qarşı yüksək adaptasiya qabiliyyətinə malikdir. Növ müxtəlif tip torpaqlarda normal inkişaf göstərə bilir, lakin optimal böyümə üçün humusla zəngin və su keçiriciliyi yüksək torpaqlara üstünlük verir. Maksimal vegetativ inkişaf tam günəşli şəraitdə müşahidə olunmuşdur. *Sabal domingensis* Becc. növü generativ çoxalma üsulu ilə artırılmış və 2 ay müddətində toxumlardan 14% cücərtilər əldə edilmişdir. Müşahidələr göstərmişdir ki, növ Abşeron şəraitinə yüksək adaptasiya qabiliyyətinə malikdir və onun bütün inkişaf mərhələləri tam şəkildə müşahidə oluna bilir.
Açar sözlər: *Sabal domingensis* Becc., Abşeron yarımadası, iqlimləşdirmə, bioekoloji xüsusiyyətlər, introduksiya

ADAPTATION AND BIOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF *SABAL DOMİNGENSİS* BECC. UNDER ABSHERON CONDITIONS

Ph.D. in Biology, Associate Professor S.Baghirova, L.Javadova, J.Agayeva, Lala Nasirli, A.Akhundova

Abstract: The purpose of this study is to carry out the ex situ introduction of *Sabal domingensis* Becc. (genus *Sabal*), and to investigate its bioecological characteristics, agro-technical requirements, and introduction potential under the conditions of the Absheron Peninsula. During the research, the species' potential for landscaping, morphological characteristics of seedlings, growth and development dynamics of its aboveground and underground organs, phenological phases, as well as resistance to ecological factors were studied. Observations conducted under the climatic conditions of the Absheron Peninsula showed that mature individuals possess a high adaptation capacity to high temperatures, drought, and strong winds. The species can develop normally in various soil types but shows optimal growth in humus-rich soils with high water permeability. Maximum vegetative growth was observed under full sunlight conditions. *Sabal domingensis* Becc. was propagated by generative reproduction, and 14% of seeds germinated within 2 months. The results indicate that the species has a high adaptation potential to Absheron conditions and that all developmental phases can be successfully observed.

Keywords: *Sabal domingensis* Becc., Absheron Peninsula, acclimatization, bioecological characteristics, introduction.

Giriş: Respublikamızda ətraf mühitin mühafizəsi məqsədi ilə genişmiqyaslı yaşıllaşdırma və landşaft abadlaşdırılması tədbirləri aparılır (Ağayeva & Əliyeva, 2024; Azərbaycan Dendrologiya Bağı, 2024). Bu prosesdə yalnız yerli flora deyil, həm də introduksiya olunmuş ekzotik dekorativ növlər mühüm rol oynayır. Bu bitkilər şəhər landşaftlarının estetik görünüşünü artırmaqla yanaşı, biomüxtəlifliyin zənginləşdirilməsinə xidmət edir.

Tədqiqat Abşeronun Xəzər rayonu "Dendrologiya Bağı" ərazisində aparılmışdır. Ərazi dəniz səviyyəsindən 8,2 m yüksəklikdə yerləşir. Orta illik temperatur 13-15 °C, illik yağıntı 193,5 mm, nisbi rütubət 78-82 % təşkil edir (Əyyubov, 1967). Yay aylarında temperatur +40 °C-yə qədər yüksəlir, qışda isə nadir hallarda -8 °C-yə qədər enir. Ərazidə illik külək sürəti 30-32 m/s olan "Xəzri" küləkləri ilə səciyyələnir. Şıxlinski və Mədətzadə (1969) tərəfindən verilən iqlim təsnifatına əsasən, Abşeron yarımadası subtropik yarımsəhra tipli iqlim zonasında yerləşir (Шихлинский&Мадетзаде və b. 1969). *Sabal domingensis* Becc. bu şəraitdə adaptasiya göstəricilərinə görə dayanıqlı hesab olunur (Cədvəl 1.).

Cədvəl 1. Abşeron yarımadasının iqlim göstəriciləri (orta illik)

İqlim göstəriciləri	**Qiymət**
Orta illik temperatur	13-15 °C
Maksimal yay temperaturu	+40 °C
Minimal qış temperaturu	-8 °C
İllik yağıntı miqdarı	193,5 mm
Nisbi rütubət	78-82 %
Ən güclü külək sürəti ("Xəzri")	30-32 m/s

Son illər *Sabal* Adans., (*Arecaceae* Bercht. & J.Presl.) cinsinə aid palma növləri Abşeron şəraitində geniş tətbiq olunur (Azərbaycan Milli Ensiklopediyası). Onlar yüksək dekorativliyi, quraqlığa və duzluluğa dözümlülüyü, həmçinin küləyə qarşı davamlılığı ilə seçilirlər. Respublikamızda bu növlərin yerli şəraitə bioekoloji uyğunluğu və iqlimləşmə göstəriciləri ətraflı şəkildə tədqiq olunmamışdır (Bağırova & Cavadova, 2023).

Tədqiqat obyekti kimi seçilmiş *Sabal domingensis* Becc. növü təbii halda Haitinin şimal-qərbindən başlayaraq Hispaniola adasının mərkəzi hissəsində, xüsusilə də Dominikan Respublikasının ərazilərində yayılmışdır (Beccari, 1908). Adətən dəniz səviyyəsindən 100-1000 m yüksəklikdə yerləşən ikinci dərəcəli bitki örtüyündə rast gəlinir (Monaco Nature Encyclopedia.; World Flora Online). *Sabal domingensis* Becc. (1908) - *Arecaceae* (palma) fəsiləsinə aid, tikansız, bircinsli (monoecious) və təkgövdəli palma növüdür.

Gövdəsi sütunvari formaya malik olub, 16 m-ə qədər hündürlüyə və 50-60 sm diametrə çata bilir. Rəngi boz, səthi hamar olmaqla yanaşı, gövdənin yuxarı hissəsində yarpaq saplaqları xaçvari quruluş əmələ gətirir.

Yarpaqları 1,0-1,6 m uzunluğunda saplaq üzərində yerləşir və yelpikşəkilli olub 60-90 seqmentə bölünür. Seqmentlər öz uzunluqlarının 1/2-1/3 hissəsinə qədər birləşmiş, ucları isə iki hissəyə (bifid) ayrılmışdır (Beccari, 1908; Monaco Nature Encyclopedia). Yarpaqlar tünd yaşıl rəngdə olub, bəzən mavi-boz çalar göstərir. Seqmentlərin qoltuqlarından ağ rəngli lifciklər (filamentlər) əmələ gəlir. Çiçəkyanlığı (infloresensiya) yarpaqlar arasında yerləşir, uzunluğu yarpaq uzunluğuna bərabər və ya ondan bir qədər artıq olur. Üçsəviyyəli budaqlanmış çiçəkyanlıq kiçik, ağ, ətirli çiçəklərlə örtülür. Çiçəklər üçdişli boruşəkilli kasacıq və tacdan, altı erkəkcikdən, üçyarpaqcıqlı yumurtalıqdan və üçşaxəli dişicikdən ibarətdir (Monaco Nature Encyclopedia).

Meyvələri armudvari (piriform) formalı olub, diametri 1,1-1,4 sm təşkil edir və yetişdikdə qara rəng alır. Hər meyvədə diametri 0,8-1,0 sm olan bir ədəd kürəşəkilli toxum yerləşir. Növ əsasən toxumla çoxaldılır. Toxumlar əkilmədən əvvəl 3 gün ərzində suda saxlanılır, daha sonra yaxşı drenaj olunmuş və daim nəm saxlanılan torpağa 26-28°C temperaturda əkilir. Cücərmə prosesi 2-6 ay davam edir. *Sabal domingensis* Becc. növü yüksək dekorativliyə, müxtəlif torpaq və iqlim şəraitinə uyğunlaşma qabiliyyətinə, həmçinin nisbətən sürətli böyümə və quraqlığa davamlılıq xüsusiyyətlərinə malikdir. Yetkin fərdləri qısa müddətli və istisna hallarda -8°C-yə qədər olan şaxtalara dözümlüdür (World Flora Online). Bitki tam günəşli şəraiti sevir, müxtəlif tərkibli, lakin yaxşı drenaj olunan torpaqlarda normal inkişaf edir və güclü küləklərə qarşı davamlıdır. Kalsium çatışmazlığına qarşı müəyyən həssaslıq müşahidə oluna bilər (Monaco Nature Encyclopedia).

Estetik xüsusiyyətləri və morfoloji göstəriciləri nəzərə alınaraq, *Sabal* Adans. növü landşaft memarlığında geniş istifadə olunur. Bitki həm fərdi şəkildə, həm də xiyaban və parkların kənarlarında sıralı əkildikdə yüksək dekorativ görünüş yaradır.

2016-cı ildə Dendrologiya Bağının ərazisində introduksiya edilmiş *Sabal domingensis* Becc. yetkin fərdləri 86-90 sm hündürlüyündədir. Növün boy artımı son beş il ərzində nisbətən ləng getsə də, bitkilər stabil inkişaf dinamikasını davam etdirir. Yarpaq seqmentləri uzun, sərt və yelpikşəkilli quruluşa malikdir. İllər ərzində toplanmış morfoloji və fizioloji məlumatlar əsasında növün Abşeron yarımadası quraq iqlim şəraitində uyğun olduğunu söyləmək olar (Şəkil 1).



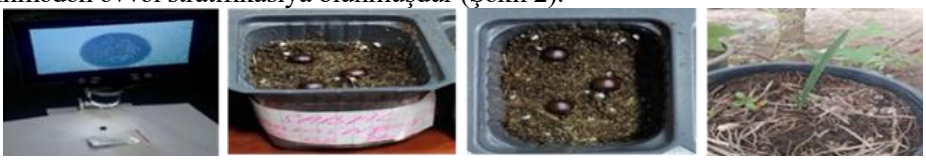
Şəkil 1. *Sabal domingensis* Becc. növünün Abşeron şəraitində iqlimləşdirilməsi

Tədqiqat materialı və metodları: Tədqiq olunan növ və sortların toxumla çoxaldılmasının əlverişli səpin vaxtının, norma və dərinliyinin, həmçinin toxumların cücərmə faizinin öyrənilməsində M.K. Firsovanın metodikasına istinad edilmişdir. Firsova (1973; 1981) bitkilərin introduksiya şəraitində toxum cücərmə qabiliyyətinin, səpin rejiminin və vegetasiya başlanğıc mərhələlərinin müəyyən edilməsində elmi əsaslar təqdim etmişdir (Firsova, 1973). Onun metodikası toxumların canlılıq dərəcəsinin, səpin üçün optimal temperatur, rütubət və torpaq şəraitinin seçilməsini, həmçinin laborator və təbii şəraitdə cücərmə faizinin müqayisəli təhlilini nəzərdə tutur. Cücərtilərin morfoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsində İ.T. Vasilçenko (1959; 1962) metodikasına əsaslanılmışdır. Müəllif bitkilərin morfoloji inkişaf mərhələlərinin (cücərmə, kotiledon, vegetativ və generativ fazalar) ardıcıl təsvirini və hər mərhələnin fenoloji müşahidə cədvəli əsasında sənədləşdirilməsini tövsiyə etmişdir (Васильченко, 1959). Bu metodika çərçivəsində *Sabal domingensis* Becc. növünün cücərtilərində yarpaq forması, gövdə qalınlığı, yarpaq saplağının uzunluğu və rəng dəyişmələri kimi göstəricilər öyrənilmişdir. Vegetasiya dövründə hər 10 gündən bir aparılan morfometrik ölçmələr illik böyümə dinamikasının təyini üçün əsas material kimi istifadə olunmuşdur.

Sabal cinsinə aid palma növlərinin iqlimləşdirilməsi və bioekoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi istiqamətində müxtəlif tədqiqatçılar fərqli elmi yanaşmalar tətbiq etmişlər. Beccari (1908) tərəfindən işlənmiş metodika *Sabal* növlərinin taksonomik təsnifatı və morfoloji strukturunun təhlilinə yönəlmişdir. Alim palma növlərinin gövdə, yarpaq və toxum morfologiyasını sistemləşdirərək, yarpaq seqmentlərinin

ölçüsü, saplaq uzunluğu və yarpaqların düzülüş bucağını əsas identifikasiya kriteriyaları kimi müəyyən etmişdir. Bu metodika *Sabal domingensis* Becc. növünün düzgün taksonomik təsnifatında və morfoloji fərqləndirilməsində baza rolunu oynamışdır. Dransfield və Uhl (2008) isə palmalarda vegetativ və generativ çoxalma üsullarının sınaqdan keçirilməsi üçün müasir eksperimental yanaşmalar irəli sürmüşlər (Dransfield & Uhl, 2008). Onların metodikası torpaq növü, işıqlandırma səviyyəsi, rütubət, suvarma rejimi və temperatur kimi ekoloji amillərin bitkilərin böyümə və inkişafına təsirinin kompleks qiymətləndirilməsini əhatə edir. Ümumilikdə, qeyd olunan alimlərin təqdim etdiyi metodik və elmi yanaşmaların inteqrasiyası *Sabal domingensis* Becc. növünün introduksiya şəraitində fenoloji fazalarının, vegetativ və generativ inkişaf xüsusiyyətlərinin, həmçinin ekoloji stress faktorlarına qarşı müqavimətinin sistematik şəkildə qiymətləndirilməsinə imkan yaratmışdır. Belə metodoloji əsaslandırma növün Abşeron şəraitinə uyğunlaşma potensialının elmi baxımdan obyektiv qiymətləndirilməsini təmin etmişdir.

Sabal domingensis Becc. növünün toxumları tərəfimizdən Slovakiyanın P.J. Safarik Universitetinin Nəbatət Bağından əldə edilmişdir. Onların morfoloji analizi Portable LCD Digital mikroskopla aparılmış, toxumların diametri 0,8-1 sm, çəkisi isə təqribən 0,012 q müəyyən edilmişdir.Əkin prosesi istixana şəraitində 18°C temperatur və 65% rütubət altında, meşə torpağı ilə humus qarışığında həyata keçirilmişdir. Toxumlar əkilmədən əvvəl stratifikasiya olunmuşdur (Şəkil 2).



Şəkil 2. *Sabal domingensis* Becc. toxumlarının generativ çoxaldılması

Əkin 05.05.2024-cü ildə aparılmış, ilkin cücərtilər 17.07.2024-cü ildə (63 gün sonra) əldə edilmişdir. Toxumların cücərmə faizi 14,28 % təşkil etmişdir (Cədvəl 2).

Cədvəl 2. *Sabal domingensis* Becc. toxumlarının cücərmə göstəriciləri (istixana şəraitində)

Toxumların sayı	**Cücərən toxumların sayı**	**Cücərmə faizi (%)**	**Əkin tarixi**	**İlk cücərmə tarixi**	**Cücərmə müddəti (gün)**
7	1	14,28	05.05.24	17.07.24	63

Mənbə: "*Sabal domingensis* Becc. Növünün abşeron iqliminə adaptasiya xüsusiyyətləri və ekoloji davamlılıq potensialı" adlı tezisdən

Cücərmə aşağı faizlə müşahidə olunsa da, əldə edilən cücərti sağlam və davamlı inkişaf göstərmişdir. Sentyabr ayında aparılan ölçmələr zamanı bitkinin hündürlüyü 13 sm, ikinci yarpağın uzunluğu 1,3 sm olmuşdur. 2025-ci ilin oktyabrında boy uzunluğu 23 sm-ə, yarpaq sayı isə 5-ə çatmışdır (Şəkil 3) .



Şəkil 3. 2025-ci ildə *Sabal domingensis* Becc. cücərtilərinin inkişaf dinamikası

12 ay ərzində bitkinin boy artımı 10 sm olmuşdur. Yarpaq sayında artım 2-dən 5-ə qədər yüksəlmişdir. Yarpaq səthinin genişlənməsi və yarpaq rənginin tünd-yaşıl olması bitkinin sağlam fizioloji vəziyyətdə olduğunu göstərir. Temperaturun 30°C olması vegetativ artımı sürətləndirmiş, xüsusilə yarpaqların aktiv fotosintez qabiliyyətinə müsbət təsir göstərmişdir. Bitkilərdə solma, quruma və ya xloroz əlamətlərinin müşahidə olunmaması su balansının və qida elementlərinin normal səviyyədə olduğunu göstərir (Cədvəl 3).

Cədvəl 3. *Sabal domingensis* Becc. cücərtilərinin vegetativ böyümə göstəriciləri

Müşahidə tarixi	**Bitkinin hündürlüyü (sm)**	**Yarpaq sayı**	**Yarpaq uzunluğu (sm)**	**Mühit temperaturu**
17.07.2024	13	2	1.3	28
11.09.2024	18	3	3.2	30
07.10.2025	23	5	8.0	25

Nəticələr və müzakirə: Bitkilərin morfoloji və fizioloji göstəricilərinin uzunmüddətli müşahidələri adaptasiya potensialının obyektiv qiymətləndirilməsi üçün əsas metodlardan biridir (Heywood, 2011). Aparılan müşahidələr göstərmişdir ki, *Sabal domingensis* növü Abşeronun quraq və küləkli iqliminə yüksək adaptasiya potensialı göstərir (Atayeva, Safarov, Agayeva, Nasirli & Ahmadova, 2024; Bailly&Vergoten, 2025). Cücərtilər ilkin mərhələdə yavaş böyümə göstərsə də, 1 il ərzində vegetativ inkişafda artım (boyda 10 sm, yarpaq sayında 4-5) qeydə alınmışdır. Yarpaqlar sağlam, yaşıl rəngdə qalaraq fotosintez qabiliyyətini qorumuşdur. Növün optimal inkişafı tam günəşli şəraitdə və humusla zəngin torpaqda müşahidə olunmuşdur. Kök sistemi dərin inkişaf etdiyindən, bitki quraqlığa dözümlüdür və su çatışmazlığı şəraitində böyümə və inkişafını davam etdirir (Monaco Nature Encyclopedia., Dransfield &Uhl, 2008). *Sabal* palması həmçinin duzluluğa və küləyə qarşı davamlılıq nümayiş etdirmişdir. Abşeron şəraitində onların vegetativ və generativ fazalarının tam izlənməsi mümkün olmuşdur. Əldə edilən nəticələr göstərir ki, növ dekorativ məqsədlərlə geniş tətbiq oluna bilər və şəhər landşaftlarında stabil inkişaf edir (Cədvəl 4.).

Amil	**Davamlılıq**	**Qeyd**
Quraqlığa dözümlülük	Yüksək	Yarpaqların su itirmə qabiliyyəti aşağıdır
Şaxtaya dözümlülük	Orta	-8 °C-yə qədər
Küləyə davamlılıq	Yüksək	Yarpaq forması aerodinamik quruluşa malikdir
Torpaq tərkibinə uyğunlaşma	Orta-yüksək	Humuslu və drenajlı torpaqlarda optimal inkişaf
Günəş işığına tələbat	Yüksək	Tam günəşli şəraitdə maksimal böyümə

Cədvəl 4. *Sabal domingensis* Becc. növünün ekoloji davamlılıq göstəriciləri

Mənbə: "*Sabal domingensis* Becc. Növünün abşeron iqliminə adaptasiya xüsusiyyətləri və ekoloji davamlılıq potensialı" adlı tezisdən

Nəticə: Tədqiqatın nəticələrinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, *Sabal domingensis* Becc. növü yüksək adaptasiya qabiliyyəti, dekorativ xüsusiyyətləri və ekoloji davamlılığı ilə seçilən perspektivli palma növüdür. Aparılmış müşahidələr göstərir ki, növ Abşeron yarımadasının iqlim və torpaq şəraitinə uğurla uyğunlaşır, quraqlıq, güclü küləklər və torpaq şoranlığı kimi əlverişsiz ekoloji amillərə qarşı davamlılıq nümayiş etdirir. Generativ çoxalma üsulu ilə aparılmış təcrübələr zamanı toxumların cücərmə faizi 14,28% təşkil etmişdir. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, bu növün Abşeron yarımadasında introduksiyası ekoloji və praktiki baxımdan məqsədəuyğundur.

Ədəbiyyat

1.Ağayeva, C. M., & Əliyeva, L. Z. (2024). Abşeron yarımadasında davamlı yeni dekorativ növlərin iqlimləşdirilməsi. Bioloji Müxtəlifliyin Mühafizəsi: Botanika, Ekologiya və Yaşıl Şəhərlər mövzusunda Forum (COP 29 və "Yaşıl dünya naminə həmrəylik ili"nə həsr olunmuş tədbir), s. 47. Bakı.

2.Atayeva, L., Safarov, M., Agayeva, C., Nasirli, L., & Ahmadova, S. (2024). Acclimatization and study of Gossypium hirsutum L. varieties in the Absheron peninsula. In Ensuring sustainable agricultural production through mitigation and adaptation of global climate change (pp. 16–25).

3.Azərbaycan Dendrologiya Bağı. (2024). İllik hesabat. Bakı.

4.Azərbaycan Milli Ensiklopediyası. (n.d.). "Palma (Arecaceae) fəsiləsi" bölməsi.

5.Bağırova, S., & Cavadova, L. (2023). Palmalar fəsiləsinin introduksiya edilmiş növlərinin bioekoloji xüsusiyyətləri. Azərbaycan Botanika Jurnalı.

6.Bailly, C., & Vergoten, G. (2025). Overview of the Ruspolia plant genus: Insights into its chemical diversity and biological potential. Life, 15, 221.

7.Beccari, O. (1908). Palmae Domingensis: Taxonomic review. Annals of Botany.

8.Dransfield, J., & Uhl, N. W. (2008). Genera Palmarum: The Evolution and Classification of Palms. Kew Publishing.

9.Əyyubov, Ə. Ç. (1967). Azərbaycanın kurort rayonlarının qısa iqlim səciyyəsi. Azərbaycan SSR EA Coğrafiya İnstitutunun Əsərləri. Bakı.

10.Heywood, V. H. (2011). Plant Conservation and Biodiversity. Cambridge University Press.

11.Monaco Nature Encyclopedia. (n.d.). Sabal domingensis. Retrieved from https://www.monaconatureencyclopedia.com/sabal-domingensis/?lang=en

12.World Flora Online. (n.d.). Sabal domingensis Becc. Retrieved from https://wfo.org

13.Васильченко, И. Т. (1959). Методика фенологических наблюдений за растениями при интродукции. Ленинград: Ботанический институт АН СССР.

14.Фирсова, М. К. (1973). Методика изучения всхожести и энергии прорастания семян интродуцируемых растений. Москва: Наука.
15.Шихлинский, А. М., Мадетзаде, А. А., və b. (red.).(1969). Климат Азербайджана. Bakı: Elm, 378 s.

İQLİM DƏYİŞİKLİKLƏRİ ŞƏRAİTİNDƏ QİDA MƏHSULLARININ BİOKIMYƏVİ TƏRKİBİNİN DƏYİŞMƏSİ

Samirə Mustafayeva
Naxçıvan Dövlət Universiteti nəzdində Naxçıvan Dövlət Texniki Kolleci
E-mail: mustafasamire26@gmail.com
Naxçıvan,Azərbaycan
https://orcid.org/0009-0006-0552-8172

Xülasə

İqlim dəyişiklikləri qida məhsullarının biokimyəvi tərkibinə mühüm təsir göstərir. Atmosferdə CO_2 səviyyəsinin artması bitkilərdə fotosintezi gücləndirsə də, onların zülal, dəmir və sink kimi əsas qida maddələrinin miqdarını azaldır. Temperaturun yüksəlməsi və su çatışmazlığı yağ turşuları, vitaminlər və antioksidantların tərkibində dəyişikliklərə səbəb olur. Xüsusilə taxıl və paxlalı bitkilərdə qida dəyərinin zəifləməsi müşahidə olunur. Bu proseslər insan qidalanmasına mənfi təsir edərək gizli aclıq riskini artırır. Eyni zamanda, qida təhlükəsizliyi və keyfiyyət problemləri də güclənir. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, gələcəkdə davamlı kənd təsərrüfatı və uyğunlaşma strategiyalarının tətbiqi bu təsirlərin azaldılmasında mühüm rol oynayacaq.

Açar sözlər*: iqlim dəyişiklikləri, qida məhsulları, biokimyəvi tərkib, qida dəyəri, qida təhlükəsizliyi*

I.Giriş

Müasir dövrdə qlobal iqlim dəyişiklikləri təbii ekosistemlərə, kənd təsərrüfatına və qlobal qida sistemlərinə təsir göstərən ən mühüm problemlərdən biri kimi qiymətləndirilir. Atmosferdə karbon qazının (CO_2) konsentrasiyasının artması, orta illik temperaturun yüksəlməsi, yağıntıların qeyri-bərabər paylanması və ekstremal iqlim hadisələrinin tezliyinin artması kənd təsərrüfatı məhsullarının həm məhsuldarlığına, həm də keyfiyyət göstəricilərinə ciddi təsir edir [3]. Bu dəyişikliklər xüsusilə qida məhsullarının biokimyəvi tərkibində özünü göstərir və onların qida dəyərinin azalmasına səbəb olur.

Elmi tədqiqatlar göstərir ki, artan CO_2 səviyyəsi bitkilərdə fotosintez prosesini stimullaşdırsa da, bu proses "seyreltmə effekti" ilə müşayiət olunur və nəticədə zülalların, dəmirin, sinkin və digər vacib mikroelementlərin konsentrasiyası azalır . Xüsusilə buğda, düyü və qarğıdalı kimi əsas qida bitkilərində müşahidə olunan bu dəyişikliklər qlobal miqyasda qida keyfiyyətinin aşağı düşməsinə gətirib çıxarır.

Bundan əlavə, iqlim dəyişikliklərinin digər komponentləri, o cümlədən temperaturun artması və su çatışmazlığı bitkilərin fizioloji və biokimyəvi proseslərinə kompleks təsir göstərir. Su stressi və yüksək temperatur şəraiti bitkilərdə metabolik balansı pozur, ferment aktivliyini dəyişdirir və nəticədə vitaminlərin, antioksidantların və digər bioaktiv maddələrin səviyyəsində əhəmiyyətli dəyişikliklər baş verir [4]. Bu isə yalnız məhsulun qida dəyərinə deyil, həm də onun saxlanma qabiliyyətinə və təhlükəsizliyinə təsir edir.

Müasir araşdırmalar göstərir ki, qeyd olunan dəyişikliklər insan sağlamlığı üçün ciddi risklər yaradır. Qida məhsullarında mikroelementlərin azalması "gizli aclıq" problemini daha da dərinləşdirir və xüsusilə həssas əhali qruplarında sağlamlıq problemlərinin artmasına səbəb olur. Eyni zamanda, iqlim dəyişiklikləri qida təhlükəsizliyinə təsir edərək həm qida çatışmazlığı, həm də keyfiyyətin pisləşməsi risklərini artırır [5].

Bu baxımdan, iqlim dəyişikliklərinin qida məhsullarının biokimyəvi tərkibinə təsirinin öyrənilməsi və bu dəyişikliklərin səbəblərinin elmi əsaslarla izah edilməsi xüsusi aktuallıq kəsb edir. Qida sistemlərinin davamlılığının təmin olunması və gələcəkdə yaranacaq risklərin minimuma endirilməsi üçün bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlar mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Təqdim olunan məqalənin məqsədi iqlim dəyişiklikləri şəraitində qida məhsullarının biokimyəvi tərkibində baş verən dəyişiklikləri kompleks şəkildə təhlil etmək, bu dəyişikliklərin əsas səbəblərini müəyyənləşdirmək və onların insan qidalanmasına təsirini qiymətləndirməkdir.

II.Emal Sisteminin Təsviri

Bu tədqiqatda iqlim dəyişikliklərinin qida məhsullarının biokimyəvi tərkibinə təsirini qiymətləndirmək məqsədilə kompleks emal sistemi qurulmuşdur. Sistem lokal laboratoriya analizləri, peyk və meteoroloji məlumatlar, eləcə də beynəlxalq məlumat bazalarından alınan göstəriciləri birləşdirərək məlumatların dəqiq və obyektiv emalını təmin edir [6].

Emal prosesi ilk mərhələdə məlumatların toplanması ilə başlayır. Qida məhsullarının biokimyəvi göstəriciləri – karbohidrat, zülal, vitamin və mikroelementlərin səviyyəsi – laboratoriya analizləri vasitəsilə müəyyən edilir. Eyni zamanda, temperatur, rütubət, CO_2 konsentrasiyası və yağıntı kimi meteoroloji göstəricilər toplanır. Peyk görüntüləri və biomonitorinq məlumatları sahə şəraitinin vizual qiymətləndirilməsi üçün istifadə olunur.

Toplanmış məlumatlar hazırlıq və filtr mərhələsindən keçirilir. Bu mərhələdə məlumatlar standart formatlara çevrilir, natamam və səhv dəyərlər avtomatik yoxlanır və təhlilə daxil edilir. Laboratoriya və peyk məlumatları uyğun indekslərlə birləşdirilərək hər bir qida məhsulu üçün fərdi profil yaradılır. Bu yanaşma məlumatların kəsiksiz və ardıcıl emalını təmin edir.

Analitik emal və təhlil mərhələsində sistem statistik metodlar və süni intellekt alqoritmlərindən istifadə edir. Qida məhsullarının biokimyəvi göstəriciləri ilə iqlim faktorları arasındakı əlaqələr regressiya analizi, çoxölçülü statistik üsullar və maşın öyrənməsi modelləri vasitəsilə qiymətləndirilir . Bu yanaşma, yalnız mövcud vəziyyəti təhlil etməklə kifayətlənmir, həm də gələcək iqlim ssenarilərinə görə məhsul keyfiyyətinin dəyişimini proqnozlaşdırmağa imkan verir.

Emal sisteminin mühüm hissələrindən biri də vizualizasiya və təqdimat moduludur. Təhlil nəticələri qrafiklər, diaqramlar və interaktiv cədvəllər vasitəsilə təqdim olunur, bu isə həm elmi ictimaiyyət, həm də kənd təsərrüfatı sahəsində qərar verənlər üçün məlumatların daha asan anlaşılmasını təmin edir .

Sistem eyni zamanda məlumatların təhlükəsizliyini və keyfiyyətini qorumaq üçün müxtəlif yoxlama mexanizmlərinə malikdir. Bütün emal mərhələləri avtomatlaşdırılmış və ardıcıl şəkildə icra olunur ki, insan faktoru nəticələrin dəqiqliyinə təsir etməsin.

Beləliklə, qurulan emal sistemi iqlim dəyişikliklərinin qida məhsullarına təsirini qiymətləndirmək üçün səmərəli, dəqiq və obyektiv bir platforma yaradır, gələcək tədqiqatlar üçün zəngin və strukturlaşdırılmış məlumat bazası təmin edir. Sistem həm qısa müddətli mövsümi analizlər, həm də uzunmüddətli tendensiyaların öyrənilməsi üçün istifadə oluna bilər və qərar qəbul edənlərə praktik tövsiyələr vermək imkanını artırır .

III.Performansın Yaxşılaşdırılması

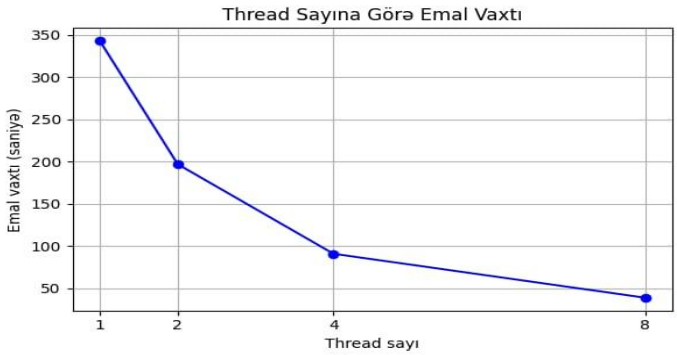
İqlim dəyişikliklərinin qida məhsullarının biokimyəvi tərkibinə təsirini qiymətləndirən emal sisteminin effektivliyi tədqiqatın dəqiqliyi və sürəti üçün vacibdir. Sistemin performansını artırmaq məqsədilə bir neçə strateji yanaşma tətbiq edilmişdir.

Birinci yanaşma paralel hesablamadır. Böyük həcmdə meteoroloji, laboratoriya və peyk məlumatları müxtəlif emal modullarına paylanır, bu isə həm məlumatların eyni zamanda işlənməsinə, həm də təhlil müddətinin əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına imkan verir. İkinci yanaşma səviyyələşdirilmiş emaldır: məlumatlar ilkin filtrdən keçirilir, daha sonra analiz modullarına ötürülür. Bu mərhələləşdirmə həm sistem resurslarının səmərəli istifadəsini təmin edir, həm də natamam və səhv dəyərlərin təhlilə təsirini azaldır.

Üçüncü yanaşma statistik və süni intellekt metodlarıdır. Qida məhsullarının biokimyəvi göstəriciləri ilə iqlim faktorları arasındakı əlaqələr regressiya analizi, çoxölçülü statistik üsullar və maşın öyrənməsi modelləri vasitəsilə təhlil olunur. Bu, həm nəticələrin dəqiqliyini artırır, həm də iqlim stresslərinin məhsul keyfiyyətinə təsirini öncədən proqnozlaşdırmağa imkan verir.

Dördüncü yanaşma vizual və interaktiv təqdimatdır. Təhlil nəticələri qrafiklər, diaqramlar və interaktiv cədvəllərlə təqdim olunur ki, həm elmi ictimaiyyət, həm də kənd təsərrüfatı üzrə qərar verənlər məlumatları asanlıqla başa düşsünlər.

Qrafik 1.



Bu yanaşmaların birləşməsi nəticəsində emal sistemi daha sürətli, dəqiq və effektiv fəaliyyət göstərir, həmçinin gələcək tədqiqatlar üçün zəngin məlumat bazası yaradır.

IV.Nəticə

Bu tədqiqat göstərir ki, iqlim dəyişiklikləri şəraitində qida məhsullarının biokimyəvi tərkibi əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir. Laboratoriya şəraitində aparılan analizlər və ədəbiyyat məlumatları sübut edir ki:

1.CO_2 konsentrasiyasının artması bitkilərdə karbohidrat səviyyəsini artırır, lakin zülal və mikroelementlərin (dəm, sink) miqdarını azaldır.

2.Yüksək temperatur və su stressi vitaminlər, antioksidantlar və digər bioaktiv maddələrin səviyyəsini azaldır, bu da məhsulun qida dəyərinə mənfi təsir göstərir .

3.Qida məhsullarında baş verən bu dəyişikliklər insan sağlamlığı və qida təhlükəsizliyi üçün risklər yaradır, xüsusilə zülal və mineral qəbulunun azalması "gizli aclıq" problemini dərinləşdirə bilər .

4.Bəzi paxlalı bitkilər və kök-tərəvəzlər isə iqlim stresslərinə nisbətən daha dözümlü olub, gələcəkdə davamlı kənd təsərrüfatı strategiyalarında əhəmiyyətli rol oynaya bilər.

Ümumilikdə, tədqiqat göstərir ki, iqlim dəyişikliklərinin qida məhsullarına təsiri yalnız məhsuldarlığın azalması ilə məhdudlaşmır, həm də qida keyfiyyəti və biokimyəvi tərkibin dəyişməsi baxımından ciddi nəticələr yaradır. Bu isə qlobal qida təhlükəsizliyi və sağlamlıq baxımından əlavə elmi və praktiki tədbirlərin görülməsini tələb edir.

Tədqiqatın nəticələri gələcəkdə iqlim dəyişikliklərinə adaptasiya olunmuş qida bitkilərinin seçilməsi, həmçinin qida siyasətinin formalaşdırılması üçün elmi əsaslı qərarlar qəbul etməyə imkan verir.

Ədəbiyyat

[1].Daoust, L. (2024). Climate change and nutritional adequacy. Nature Food, 5, 6. https://doi.org/10.1038/s43016-024-00918-x

[2].Labudda, M., Szymańska, K. P., & Kowalczyk, K. (2025). Climate-driven changes in the nutritional value and food safety of legume seeds. Nutrients, 17(23), 3703. https://doi.org/10.3390/nu17233703

[3].Santos, C. S., Habyarimana, E., & Vasconcelos, M. W. (2023). Impact of climate change on nutrient composition of staple foods. Frontiers in Plant Science, 14, 1087712. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1087712

[4].Kalmpourtzidou, A., et al. (2025). Environmental impact of current diets and alternative dietary scenarios worldwide. Nutrition Reviews, 83(9), 1678–1710. https://doi.org/10.1093/nutrit/nuadXXX

[5].Das, A., et al. (2025). Effects of climate change on food security and nutrition in India: A systematic review. Current Research in Environmental Sustainability, 9, 100286. https://doi.org/10.1016/j.crsust.2025.100286

[6].Myers, S. S., Zanobetti, A., Kloog, I., et al. (2017). Increasing CO_2 threatens human nutrition. Nature, 510(7503), 139–142. https://doi.org/10.1038/nature13179

[7].Medek, D. E., Schwartz, J., & Myers, S. S. (2017). Estimated effects of future atmospheric CO_2 concentrations on protein intake. Environmental Health Perspectives, 125(8), 087002. https://doi.org/10.1289/EHP41

[8].Smith, M. R., & Myers, S. S. (2018). Impact of anthropogenic CO_2 emissions on global human nutrition. Nature Climate Change, 8(9), 834–839. https://doi.org/10.1038/s41558-018-0253-3

SOLANACEAE FƏSİLƏSİNƏ AİD BƏZİ BİTKİLƏRİN QLİKOALKOLOİDLƏRİN POTENSİAL ANTİKANSER TƏSİRİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

Fatimə Məmmədli
Bakı Mühəndislik Universiteti Mühəndislik fakültəsi/Biotexnologiya
fmemmedli15@std.beu.edu.az
BAKI,AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ

Son illərdə onkoloji xəstəliklərin yayılma səviyyəsinin artması yeni bioloji aktiv maddələrin və alternativ müalicə üsullarının araşdırılmasını aktuallaşdırmışdır.Bitki mənşəli birləşmələr xüsusilə farmokologiya və biotexnologiya sahələrində geniş tətqiqat mövzusu hesab olunur.Bu baxımdan Solanaceae fəsiləsinə aid bitkilər bioaktiv maddələrlə zəngin olması səbəbilə elmi araşdırmalar üçün böyük maraq doğurur.Təqdim olunan tədqiqat işində Solanum melongena,Solanum tuberosum və Solanum lycopersicum bitkilərində mövcud olan qlikoalkaloidlərin hüceyrə metabolizminə təsiri və xərçəng hüceyrələrinin inkişafının zəiflədilməsində mümkün rolu təhlil edilmişdir.Ədəbiyyat mənbələrinin təhlili göstərir ki,Solanaceae fəsiləsinə aid bitkilərdə mövcud olan qlikoalkaloidlər antimikrob,antioksidant və sitotoksik xüsusiyyətlər nümayiş etdirə bilər.Bu maddələrin xərçəng hüceyrələrində apoptotik prosesləri stimullaşdırması onların gələcək farmakoloji tətqiqatlar üçün perspektivli bioloji aktiv komponentlər olduğunu göstərir. Açar sözlər: qlikoalkaloidlər, solanin, Solanaceae, bioaktiv maddələr, antikanser təsir

I.GİRİŞ

Bitkilər qədim dövrlərdən bəri müxtəlif xəstəliklərin müalicəsində istifadə edilmiş və bir çox müasir dərman preparatlatının əsas mənbəyi olmuşdur.Bitkilərdə mövcud olan ikincili metabolitlər bioloji aktiv maddələr kimi çıxış edərək insan sağlamlığı üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.Bu maddələr arasında alkaloidlər,flavonoidlər,fenolik birləşmələr və qlikoalkaloidlər xüsusi yer tutur.Solanaceae fəsiləsi təxminən 3000-dən çox bitki növünü özündə birləşdirən geniş yayılmış bitki qrupudur.Bu fəsiləyə aid bir çox bitkilər həm qida məhsulu kimi,həm də farmakoloji baxımdan əhəmiyyətli bioaktiv maddələrin mənbəyi hesab olunur.Bu tətqiqat işində seçilmiş bitkilər-Solanum melongena,Solanum tuberosum və Solanum lycopersicum-həm geniş yayılması,həm də qida və tibb sahəsində əhəmiyyətli olması ilə diqqət çəkir.Bu bitkilərdə müxtəlif bioaktiv maddələr,o cümlədən qlikoalkaloidlər mövcuddur.Qlikoalkaloidlər steroid quruluşlu alkaloidlər olub,bitkilərdə əsasən müdafiə funksiyasını yerinə yetirir.Solanin kimi qlikoalkoloidlər hüceyrə membranına təsir göstərərək onun keçiriciliyini dəyişdirə və hüceyrədaxili metabolik proseslərə müdaxilə edə bilər.Bəzi tətqiqatlar göstərir ki,bu maddələr xərçəng hüceyrələrin proqramlaşdırılmış şəkildə məhv edilməsini təmin edən mühüm bioloji mexanizmdir.Bu səbəbdən Solanaceae fəsiləsinə aid bitkilərdə mövcud olan qlikoalkoloidlərin öyrənilməsi yeni antikanser maddələrin aşkar olunması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

II.TƏTQİQATIN METODU

Tətqiqat işində əsas metod kimi elmi ədəbiyyatların təhlili və müqayisəli analiz üsulundan istifadə edilmişdir.Müxtəlif beynəlxalq elmi jurnallarda dərc olunmuş məqalələr və akademik mənbələr araşdırılmışdır.Seçilmiş bitkilərdə bioaktiv maddələrin mövcudluğu və onların bioloji təsir ləri haqqında məlumatlar sistemləşdirilmiş və müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir.Bundan əlavə bitkilərdə mövcud olan əsas bioaktiv maddələrin miqdarı və onların bioloji aktivlik səviyyəsi qrafik və cədvəllər vasitəsilə təqdim edilmişdir.

	Antimikrob maddələr	Antioksidant maddələr	Sitotoksik maddələr
Solanum melongena	~20-40mg/100g	~40-70mg/100g	Qlikoalkaloidlər və fenollar zəiflədə bilər
Solanum tuberosum	~2-15mg/100g	~15-30mg/100g	Solanin və chaconin sitotoksik təsir göstərə bilər
Solanum lycopersicum	~10-25mg/100g	~3-10mg/100g	Likopen bəzi xərçəng hüceyrələrinin inkişafını zəiflədə bilər

Tətqiqat çərçivəsində bu bitkilərin seçilməsinin əsas səbəbi onların Solanaceae fəsiləsinin geniş yayılmış nümayəndələri olması və qida məhsulu kimi geniş istifadə edilməsidir.Bununla yanaşı bu bitkilər bioaktiv maddələrin-xüsusilə qlikoalkoloidlərinmühüm mənbəyi hesab olunur.Qrafik analiz zamanı bu bitkilərdə mövcud olan anktimikrob,antioksidant və sitotoksik aktivlik səviyyələri müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmişdir.

III.NƏTİCƏ və MÜZAKİRƏ

Aparılmış ədəbiyyat təhlili göstərir ki,Solanaceae fəsiləsinə aid bitkilər bioaktiv maddələrlə zəngindir və onların bir çoxu bioloji aktivlik nümayiş etdirir.Solanum melongena bitkisi fenolik birləşmələr və nasunin kimi antioksidant maddələrlə zəngindir.Bu maddələr sərbəst radikalların zərərli təsirini azaltmaqla hüceyrələrin oksidləşdirici stressdən qorunmasına kömək edə bilər.Solanum tuberosum bitkisində isə qlikoalkaloidlər-xüsusilə solanin və chaconin-daha çox rast gəlinir.Bu maddələr bitkinin təbii müdafiə sistemi kimi çıxış edir və bəzi mikroorqanizmlərə qarşı təsir göstərə bilər.Solanum lycopersicum bitkisi isə likopen kimi güclü antioksidant karotinoidlərin əsas mənbələrindən biridir.Likopenin müxtəlif tətqiqatlarında xərçəng riskinin azalması ilə əlaqəli olduğu göstərilmişdir.Ümumilikdə aparılmış analiz göstərir ki,Solanaceae fəsiləsinə aid bitkilərdə mövcud olan bioaktiv maddələr xərçəng hüceyrələrinin inkişafına müxtəlif mexanizmlərlə təsir göstərə bilər.Bu mexanizmlər arasında hüceyrə proliferasiyasının ləngiməsi,oksidləşdirici stressin azalması və apoptotik proseslərin aktivləşməsi xüsusi yer tutur.

Ədəbiyyat siyahısı:

1. Winkiel, M. J., Chowański, S., & Słocińska, M. (2022). Anticancer activity of glycoalkaloids from Solanum plants. Frontiers in Pharmacology, 13, 979451. https://doi.org/10.3389/fphar.2022.979451
2. Friedman, M. (2015). Chemistry and anticarcinogenic mechanisms of glycoalkaloids. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 63(34), 7351–7362. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00818
3. Nandi, S., et al. (2024). Updated aspects of α-Solanine as a potential anticancer agent. Food Science & Nutrition, 12(3), 1456–1472. https://doi.org/10.1002/fsn3.3456
4. Andayasari, L., et al. (2025). Anti-Inflammatory and Anticancer Potential of Solanum tuberosum L.: A review of experimental models. Food & Function, 16(1), 101–120. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41399532
5. Friedman M.Anticarcinogenic properties of glycoalkaloids.Food and Chemical Toxicology.

ŞAMAXI RAYONU ƏRAZISINDƏ RAST GƏLİNƏN BƏZİ DƏRMAN ƏHƏMİYYƏTLİ NÖVLƏR VƏ ONLARIN BİOEKOLOJİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

CƏFƏROVA NAZİMƏ XAMİS QIZI
Bakı Dövlət Universiteti
Biologiya fakültəsi
email zulfiyya_m@rambler.ru
BAKI-AZƏRBAYCAN, Z.XƏLILOV-23, AZ 1148

MƏMMƏDOVA ZÜLFİYYƏ CƏLAL QIZI
Bakı Dövlət Universiteti
Biologiya fakültəsi
email zulfiyya_m@rambler.ru
BAKI-AZƏRBAYCAN, Z.XƏLILOV-23, AZ 1148

Xülasə

Tədqiqat ərazisi olan Şamaxı rayonu Böyük Qafqazın cənub –şərq ətəklərində yerləşən Azərbaycanın qədim tarixə malik regionlarından biridir. Fiziki – coğrafi amillərin qarşılıqlı təsiri nəticəsində burada torpaq, bitki örtüyü dağların ətəyindən yuxarı qalxdıqca dəyişir. Belə mürəkkəbliyə malik tədqiqat ərazisinin bitki örtüyü zəngin olub, burada dərman əhəmiyyətli bitkilər xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu baxımdan tədqiqat zamanı ərazidə rast gəlinən bəzi dərman bitkiləri və onların bioekoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi qarşıya məqsəd qoyulmuşdur. Son dövrlərdə baş verən qlobal iqlim dəyişiklikləri və

antropogen amillər tədqiqat ərazisinin floramüxtəlifliyinə təsir etdiyi kimi birbaşa orada rast gəlinən dərman bitkilərinə də öz təsirini göstərməkdədir. Ərazidə rast gəlinən dərman bitkilərinin bioekoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi baş vermiş dəyişikliklər zəminində aktuallıq kəsb edir.
Açar sözlər: antropogen, iqlim, cənub-şərq

ABSTRACT

Tədqiqat ərazisi olan Şamaxı rayonu Böyük Qafqazın cənub –şərq ətəklərində yerləşən Azərbaycanın qədim tarixə malik regionlarından biridir. Fiziki – coğrafi amillərin qarşılıqlı təsiri nəticəsində burada torpaq, bitki örtüyü dağların ətəyindən yuxarı qalxdıqca dəyişir. Belə mürəkkəbliyə malik tədqiqat ərazisinin bitki örtüyü zəngin olub, burada dərman əhəmiyyətli bitkilər xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu baxımdan tədqiqat zamanı ərazidə rast gəlinən bəzi dərman bitkiləri və onların bioekoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi qarşıya məqsəd qoyulmuşdur. Son dövrlərdə baş verən qlobal iqlim dəyişiklikləri və antropogen amillər tədqiqat ərazisinin floramüxtəlifliyinə təsir etdiyi kimi birbaşa orada rast gəlinən dərman bitkilərinə də öz təsirini göstərməkdədir. Ərazidə rast gəlinən dərman bitkilərinin bioekoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi baş vermiş dəyişikliklər zəminində aktuallıq kəsb edir.
KEYWORDS: antropogen, iqlim, cənub-şərq

GİRİŞ

Bakıdan 118 kilometr məsafədə, Baş Qafqaz silsiləsinin cənub-şərq ətəklərində yerləşən Şamaxı rayonu özünəməxsus mürəkkəb relyefi ilə səciyyələnir. Belə ki, Böyük Qafqazın şərq hissəsi Şamaxı və Qobustan inzibati rayonlarını əhatə edir. Şamaxı-Girdimançaydan Pirsaatçaya kimi olan ərazidə yerləşməklə yanaşı, şimaldan Quba və Şabran, şərqdən Abşeron (həmçinin Şabran), cənubdan Qobustan rayonları ilə, qərbdən isə Kürdəmir və İsmayıllı rayonları ilə sərhədlənir. Böyük Qafqaz silsiləsinin cənub yamacından baş götürən (Pirsaat, Qozluçay, Çilikçay) və s. çayları boyu bir sıra dağ qolları uzanır ki, bunların da bir sıra yüksək zirvələri vardır (Müseyibov, 1998). Pirsaatçayla Qozluçay arasında Babasəfər (2160 m) və Qaragilə (2200 m) kimi zirvələr də vardır.

Burada yüksək dağ silsilələri ilə yanaşı geniş düzənliklər və ovalıqlar da çoxdur. Bu ovalıqlar içərisində elə sahələr vardır ki, onlar dəniz səviyyəsindən 100-200 m hündürlükdədir. Belə ki, rayonun ərazisinin cənub kənarı boyunca yarımsəhra və quruçol landşaftna malik olan düzənliklər uzanır. Ərazidə olan palçık vulkanları, burada rast gəlinən bitki örtüyünün inkişafına əsaslı təsir göstərmişdir.

Ərazinin torpaq və bitki örtüyü müxtəlif olub, orada dağ-meşə torpaqları, dağ-qara torpaqları şabalıdı torpaqlar və s. geniş yayılmışdır. Burada şabalıdı torpağın müxtəlif tipləri: açıq-qonur, şabalıdı, sonra dağ-meşə və dağ -çəmən torpaqları inkişaf etmişdir. Bu mürəkkəblik reyleyfin xüsusiyyətilə izah olunur. Ən yüksəkdə alp və subalp zonası yerləşir. Bu zonada çox vaxt səpələnmə və dənəvərlik müşahidə olunur. Alp və subalp zonalarında torpaq əmələ gəlmə prosesi ləng gedir. Cənub və cənub – qərbə getdikcə meşəlik genişlənir. Ərazinin qərb və şimal-qərb yarısı enli yarpaqlı meşələrlə örtülmüşdür. Fiziki – coğrafi amillərin qarşılıqlı təsiri nəticəsində burada torpaq, bitki örtüyü dağların ətəyindən yuxarı qalxdıqca dəyişir. Dağların lap ətəyində yarım səhra və çöl bitkiləri bitən boz şabalıdı torpaqlar yayılmışdır. Belə mürəkkəb-fiziki-coğrafi şəraitə malik tədqiqat ərazisinin florası zəngin bitki örtüyünə malik olub, orada 50-dən artıq dərman bitkisinə rast gəlinir.

Dərman bitkilərinin öyrənilməsi və onlardan istifadə olunması hələ ən qədim dövrlərdən bu günə qədər insanların öz həyartlarını qorumaq, baş verən xəstəliklərin qarşısını almaq üçün ən aktual bir sahə olmuşdur (Movsumova, İbadullayeva, 2022). Xalq təbiblərinin, geobotaniklərin və farmakoloqların apardıqları tədqiqatlar nəticəsində Azərbaycanın müxtəlif təbii landşaftlarında bir çox qiymətli dərman bitkilərinin olması müəyyən edilmişdir. Uzun zaman kəsimlərinə baxmayaraq müasir dövrdə də elmi praktiki təbabət bitkilərdən alınan yeni dərman preparatları ilə daim zənginləşir. Buna baxmayaraq ayrı-ayrı dərman bitkiləri növləri hələ də kifayət qədər öyrənilməmişdir. Buna baxmayaraq bitki mənşəli dərman maddələrinin öyrənilib, tibb praktikasına daxil edilməsinə ildən-ilə ehtiyac artır. Bu baxımdan tədqiqat zamanı Şamaxı rayonu ərazisində rast gəlinən bəzi dərman əhəmiyyətli növlərin bioekoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi məqsəd olaraq qarşıya qoyulmuşdur.

TƏDQİQAT METODU

Tədqiqat işi yerinə yetirilərkən Şamaxı rayonu ərazisində rast gəlinən bəzi dərman bitkiləri material olaraq gotürülmüş, onların flora konspekti tərtib edilərək, bitkiərin adları APG IV və IPNI elektron bazaya əsasən verilmişdir (https://meteo.az/index.php?ln=az&pg=110; https://www.ipni.org/). Bu zaman onların həyati formaları, ekoloji qrupları, bolluqları da analiz edilmişdir (Qurbanov, 2009; Qurbanov, 2024; Флора

Азербайджана, 1950-1961). Çol tədqiqatları zamanı müxtəlif ədəbiyyyat materiallarına istinadən bir çox müsir geobotaniki metodlardan (Полевая геоботаника, 1959-1979) istifadə edilərək, onların bioekoloji xüsusiyyətləri və digər təsərrüfat əhəmiyyətləri də öyrənilmişdir.

NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqt zamanı ərazidə rast gəlinən dərman bitkilərindən adi boymadərən (*Achillea millefolium* L.), adi kasnı (*Cichorium intybus* L.), hündür andız (*İnula helenium* L.), adi mollabaşı (*Matricaria chamomilla* L.), adi qaraqınıq (qaraot) (*Origanum vulgare* L.), istiot nanə (*Mentha piperita* L.), dərman sürvəsi (*Salvia officinalis* L.), bədrənc (limonlu ot, balotu) (*Melissa officinalis* L.), diş dişqurtlayan (*Ammi visnaga* (L.) Lam.), adi zirə (*Carum carvi* L.), dərman xəşənbülü (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), şirin biyan (*Glycyrrhiza glabra* L.), dərman gülxətmi (*Althaea officinalis* L.), meşə əməköməci (*Malva sylvestris* L.), beşyuvalı yemişan (*Crataegus pentagyna* Waldst. et Kit.), qara batbat (*Hyoscyamus niger* L.), Qafqaz xanımotu (*Atropa caucasica* Kreyer), gözəl vaxtsızçiçək (*Colchicum speciosum* Stev.), böyük bağayarpağı (*Plantago major* L.), aşı sumaq (*Rhus coriaria* L.), adi zirinc (*Berberis vulgaris* L.), zəif dazı (*Hypericum perforatum* L.), çöl qatırquyruğu (*Eguisetum arvense* L.) və s. qeyd etmək olar. Tədqiqat zamanı aydın olmuşdur ki, ərazidə rast gəlinən dərman əhəmiyyətli bitkilərin əksəriyyəti mürəkkəbçiçəklilər, paxlakimilər, gülçiçəyikimilər, çətirçiçəkkimilər, dodaqçiçəyikimilər fəsiləsinə daxil olan növlərdir. Bu növlərdən bəzilərinin müxtəlif ədəbiyyat materiallarından istifadə olunaraq bioekoloji xüsusiyyətləri və digər təsərrüfat əhəmiyyətləri öyrənilmişdir.

***Althae officinalis* L. – Dərman bəlğəmotu** birillik ot bitkisi olub, bozumtul- yaşıl gövdəli, yoğun, iri şaxəli köklərə malik bitkidir. Növbə ilə düzülmüş, üst və alt səthi yumşaq məxməri tüklərlə örtülmüş saplaqlı yarpaqları var. Yarpaqlarının qoltuğunda yerləşmiş solğun çəhrayı rəngli çiçəkləri, gövdə və budaqlarının yuxarısında uzun sünbülvari çiçəkqrupuna toplaşmışdır. Bitki may, iyun aylarında çiçəkləyir, iyul, avqust aylarında toxumlayır. Tibb sənayesində gülxətimi kökündən quru ekstrakt (Extractum Althaeae Siccum), duru ekstrakt (Extractum Althaeae fluidum) və gülxətmi seliyi ilə şəkərdən ibarət olan «Mikaltin» preparatı hazırlanır. Gülxətimi xammalı həm də bir çox sinəyumşaldıcı və digər dərman bitkiləri yığınlarının tərkibinə daxildir.

***Carum carvi* L. – Adi zirə** ikiillik ot bitkisi olub, yoğun köklərə malikdir. Yerüstü gövdəsi şırımlıdır, yuxarı hissəsi budaqlıdır. Yarpaqları uzunsovdur, asağı yarpaqlar uzun saplaqlıdır. Çiçəkləri çətirşəklində yerləşmişdir, ləçəkləri ağ və ya çəhrayı rəngə malikdir. Meyvəsi dənəcikdən ibarətdir. Bitki iyun- iyul aylarında çiçəkləyir, meyvələri avqustda yetişir.

Zirənin meyvələrini yetişənə yaxın toplayırlar. Elmi təbabətdə zirənin meyvəsindən istifadə olunur. Zirə meyvəsinin tərkibində dərman əhəmiyyətli bir sıra maddələr vardır. Zirə meyvələri bir çox yığıntıların tərkibində işlədilir. Meyvələrindən alınan efir yağından bir çox yeyinti məmulatlarının tərkibində ətirli ədviyyat kimi də işlədilir.

***Glycyrrhiza glabra* L. - Tüksüz biyan** çoxillik ot bitkisi olub, şaxələnən köklərə malikdir. Əsas kökü şaquli vəziyyətdə torpağın 2-7 m dərinliyində olur. Kökün yan pöhrələrindən yan gövdələr və köklər əmələ gəlir. Bu bitkinin gövdəsi çılpaq, yaxud seyrək, qısa tükcüklüdür. Yarpaqları tək lələkvari olub, gövdə üzərində növbəli düzülürlər. Solğun bənövşəyi, yaxud çəhrayımtıl – bənövşəyi rəngli çiçəkləri salxım çiçək qruplarında toplanırlar. Meyvəsi bir yuvalı, açılmayan paxla meyvədir. Bitki iyun-iyul aylarında çiçəkləyir, iyul-sentyabr aylarında meyvə verir.

Biyan bitkisindən xalq təbabətində hələ qədim zamanlardan müxtəlif xəstəliklərin (köpalma, bronxial asma, böyrək və sidik yolları və s.) müalicəsində geniş şəkildə istifadə olunmuşdur. Tarixi mənbələrə görə o, dərman bitkisi kimi Şumerlərə məlum olmuşdur. Feofrast onu «Skif kökü» adlandırmışdır.

***Matricaria chamomilla* L.- Adi mollabaşı** birillik ot bitkisi olub, hündürlüyü 60 sm-ə çatan şaxəli yerüstü gövdəyə malikdir. Yarpaqları ikiqat – üçqat lələkvaridir. Çiçəkləri uzun saplaqlı olub, səbət çiçək qrupu əmələ gətirir. Səbətin kənar çiçəkləri ağ ləçəkli, dilçikşəkilli dişi çiçəklərdən, orta çiçəkləri isə sarı rəngli, ikicinsli borucuqlu çiçəklərdən ibarətdir. Çiçək yatağı konusşəkilli olub, daxilində boşluq var. Bitki iyun – iyul aylarında çiçəkləyir, iyul avqust aylarında isə meyvə verir.

Tibbi məqsədlə bu bitkinin çiçək səbətindən (saplaqsız) istifadə edilir. Bu bitki əsasən iltihab götürücü, spazmolitik, antiseptik təsirə malikdir. Müasir fitoterapiyada bu bitkinin çiçəklərinin çıxarışlarından bağırsaq spazmalarına və qastritə qarşı iltihabi proseslərdə geniş istifadə olunur.

***Melilotus officinalis* (L.) Pall. – Dərman xəşənbülü** ikievli ot bitkisi olub, dik duran gövdəyə malikdir. Növbəli düzülüşlü, üçlü mürəkkəb yarpaqları var. Çiçəkləri budaqların sonunda yerləşən salxım çiçək qrupunda toplanır. Aşağıdan başlayaraq çiçəkləyir. Sarı rəngli çiçəkləri vardır. Meyvəsi qırışıq qınlı,

birtoxumlu paxlameyvədir. Toxumla çoxalır. Bitki may-iyun aylarında çiçəkləyir, avqust- sentyabr aylarında meyvə verir.

Tibbi məqsədlə dərman xəşənbulunun yerüstü hissəsindən (Herba Meliloti) istifadə olunur. Bu bitkinin çiçəklərinin və toxumlarının tərkibi də qiymətli maddələrlə zəngindir. Xəşənbul bitkisi əsasən sakitləşdirici və ağıkəsici təsirə malikdir.

***Salvia officinalis* L. – Dərman sürvəsi** 30-70 sm hündürlüyündə yorımkol bitki olub, gövdəsi sıx yarpaqlıdır. Cavan budaqlar yaşıl, yaşlı budaqlar isə bozumtul qəhvəyi rənglidir. Yarpaq ayasının həm üst səthi, həm də kənarları sıx, kələ-kötür qabarcıqlıdır. Qabarcıqlar üzərində ağ tükcüklər inkişaf edir. Çiçəkləri, çiçək oxu üzərində yalançı köbələrdən ibarət, sünbülşəkilli çiçək qrupu əmələ gətirirlər. Çiçəkləri zigomorf olub, solğun çəhrayı rənglidir. Çiçəkaltlıqları pəpdəşəkilli olub, çiçək açılan zaman tökülür. Meyvəsi 4 fındıqcadan ibarət quru meyvədir.

Dərman sürvəsinin tibbi məqsədlə yarpaqlarından istifadə olunur. Dünyanın bir çox ölkələrində məsələn, Almaniyada, Fransada sürvədən hazırlanmış həlimdən mərkəzi sinir sistemini möhkəmləndirən maddə kimi istifadə edilir.

Aparılan tədqiqatlar zamanı o nəticəyə gəlinmişdir ki, bioekoloji xüsusiyyətləri və digər təsərrüfat əhəmiyyəti öyrənilən dərman bitkilərinin qorunub saxlanması, onların ehtiyatının artırılması insanların sağlamlığı, tibbin və sənayenin müxtəlif sahələrinin inkişafı baxımından aktuallıq kəsb edir. Odur ki, belə qiymətli bitkilərin qorunub saxlanılması və ehtiyatlarının artırılması üçün mütəmadi olaraq monitorinqlər aparılmalıdır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

Qurbanov E.M. Azərbaycanın bitki örtüyü. (2024). Monoqrafiya. Bakı: Elm, 536 s.
Qurbanov E.M. Dərman bitkiləri. (2009). Dərslik. Bakı: Bakı Universiteti, 360s.
Müseyibov M.A. Azərbaycanın fiziki coğrafiyası. Bakı:Maarif, 1998, 400 s.
Movsumova N.V., İbadullayeva S.J. Use of medicinal plants distributed in lowland Karabakh in ethnoveterinary medicine. Journal of Life Sciences & Biomedicine. vol. 4(77), No 2. Baku,2022. p. 35-43.
Полевая геоботаника (1959-1979). /Под ред. Б.М.Лавренко и А.А.Корчакина. тт. I-V. М.Л./ Наука.
Флора Азербайджана (1950-1961). т.I-VIII. Баку: Изд-во АН Азерб. ССР.
https://meteo.az/index.php?ln=az&pg=110
https://www.ipni.org/

MOURVEDRE ŞƏRABLARININ KEYFİYYƏT XÜSUSİYYƏTLƏRİNƏ MASERASİYA ÜSULLARININ TƏSİRİ

Leyla Eyyubova
Üzümçülük və Şərabçılıq Elmi Tədqiqat İnstitutu Üzümün emalı və şərabın texnologiyası şöbəsinin böyük elmi işçisi,PhD
Bakı, Azərbaycan
leyla.eyyubova@vitis.agro.gov.az

***Xülasə*:**Fenol maddələri şərabın tərkib hissəsində mövcud olan ən vacib biokimyəvi komponentlərdir. Bu maddələr həm sensor, həmçinin fiziki-kimyəvi göstəricilərin formalaşmasında əhəmiyyətli rola malikdir.Əsasən üzüm giləsinin qabıq, toxumun və lətli hissəsində toplanan fenol maddələri şərab istehsalı zamanı müxtəlif texnoji proseslərin təsiri ilə şirəyə keçir və şərabın ümumi keyfiyyət profilini formalaşdırılmasını təmin edir.

Açar sözlər: *Mourvedre, şərab, orqanik, ənənəvi , maserasiya üsulları, fenol maddələri*

GİRİŞ

Şərabçılıq Azərbaycanda prioritet sahələrdən biri hesab olunur və ölkənin kənd təsərrüfatının inkişafında, ixrac potensialının artırılmasında və regionların sosial-iqtisadi tərəqqisində mühüm rol oynayır. Son illər ərzində bu sahənin inkişafı üçün müxtəlif Dövlət Proqramları təsdiq edilmişdir. Hazırda şərabçılıq

sənayesinin müasir tələblərə uyğun və davamlı inkişafını təmin etmək məqsədilə "2018–2025-ci illərdə şərabçılığın inkişafına dair Dövlət Proqramı" həyata keçirilmişdir [2]. Həmçinin, "Azərbaycan–2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər" sənədinə uyğun olaraq hazırlanıb təsdiqlənmiş "2022–2026-cı illərdə sosial iqtisadi inkişaf Strategiyası"nın [3] icrasının 2026-cı ilin sonunadək ölkə iqtisadiyyatında əhəmiyyətli struktur dəyişikliklərinə səbəb olacağı, iqtisadi artımın keyfiyyətcə yeni amillər əsasında təşəkkül tapacağı, xüsusilə prioritet istiqamətlərdə inkişaf sürətinin artacağı, həmçinin iqtisadiyyatın və məşğulluğun davamlılığının daha da güclənəcəyi proqnozlaşdırılır.

Ölkəmizdə üzümçülük və şərabçılıq sahəsində əldə edilən nailiyyətlərlə yanaşı, bu sektorun mövcud potensialı nəzərə alınaraq qarşıda həlli zəruri olan bir sıra problemlərin mövcudluğunu da qeyd etmək vacib hesab olunur [1,4,5].

Şərabın keyfiyyətini müəyyən edən ən mühüm göstəricilər rəng, fenol və aromatik maddələr hesab olunur. Bu maddələrin miqdarı və keyfiyyət parametirləri bir sıra faktorlardan; istifadə olunan üzüm sortundan, becərildiyi regionun torpaq-iqlim şəraitindən, illik xammalın xüsusiyyətlərindən və tətbiq olunan texnologiyalardan asılı olaraq dəyişir [11]. Maserasiya prosesi şərabın keyfiyyətinin formalaşmasında mühüm rol oynayır. Bu vinifikasiya prosesi əsasən qırmızı şərab istehsalında tətbiq olunur [8].

Ənənəvi şərab istehsalında maserasiya adətən qıcqırma mərhələsindən əvvəl və ya spirt fermentasiya dövründə həyata keçirilir. Maserasiya prosesi üzüm emal edildikdən sonra yeddi on beş gün ərzində, istehsal texnologiyasından asılı olaraq bu müddət yeddi gündən altı aya qədər dəyişə bilər [6,9].Aparılmış müxtəlif tətqiqat işləri müəyyən etmişdir ki, uzunmüddətli maserasiya fenol maddələrinin şirəyə daha tez keçidinə səbəb oluraq, rəngin stabiliyini artırır [7,10].

MATERİAL VƏ METODLAR

Tədqiqat obyekti kimi Şamaxı və Qəbələ rayonunda orqanik və ənənəvi üsullarla becərilən Mourvedre üzüm sortu seçilmişdir.Bu tədqiqat işinin əsas məqsədi introduksiya olunmuş Mourvedre üzüm sortundan istehsal olunmuş şərabların keyfiyyətinə klassik, pigeage, delestage və karbonik maserasiya üsullarının təsirinin öyrənilməsi və uyğun variantların müəyyən edilməsindən ibarət olmuşdur.

NƏTİCƏ VƏ MÜZAKİRƏ

Tədqiqat işi zamanı orqanik və ənənəvi üsullarla becərilən Mourvedre üzüm sortundan klassik, pigeage, delestage və karbonik maserasiya metodlarının tətbiqi ilə əldə olunan şərab nümunələrində pH, ümumi turşuluq, spirt, şəkər qalığı, uçucu turşuluq, sərbəst və ümumi kükürd miqdarları, tanin, ümumi fenol maddələri və ümumi antosian miqdarları müəyyən edilmişdir.

Aparılmış tədqiqat işinə əsasən spirt miqdarı orqanik şərablarda 13,11–13,42% intervalında olmuş, ənənəvi şərablarda isə bu göstərici 13,00–14,00% aralığında müəyyən olunmuşdur. Orqanik şərablarda ən yüksək nəticə pigeage üsulunda 13,42%, ən aşağı isə karbonik maserasiya üsulunda 13,11% müəyyən edilmişdir. Ənənəvi şərablarda isə ən yüksək spirt miqdarı klassik maserasiya üsulunda (14,00%), ən aşağı göstərici isə karbonik maserasiya üsulunda (13,00%) təyin edilmişdir.

Ümumi turşuluq orqanik şərablarda 5,61–6,27 g/L səviyyəsində dəyişmiş, ənənəvi şərablarda isə 5,37–6,04 g/L aralığında müşahidə olunmuşdur.Orqanik nümunələrdə maksimum ümumi turşuluq miqdarı delestage üsulunda (6,27 g/L), minimum göstərici isə karbonik maserasiya üsulunda (5,61 g/L) qeydə alınmışdır. Ənənəvi şərablarda bu göstərici pigeage üsulunda üstünlük təşkil etmiş (6,04 g/L), ən aşağı isə karbonik maserasiya üsulunda (5,37 g/L) müəyyən edilmişdir.

pH göstəriciləri orqanik şərablarda 3,34–3,49, ənənəvi şərablarda isə müvafiq olaraq 3,36–3,47 diapazonunda olmuşdur. Orqanik şərablarda ən aşağı pH delestage üsulunda (3,34), ən yüksək pH klassik maserasiya üsulunda (3,49) müşahidə olunmuşdur. Ənənəvi şərablarda isə pH göstəricisi daha stabil olmuş, ən yüksək nəticə pigeage üsulunda (3,47), ən aşağı pH delestage üsulunda (3,36) qeydə alınmışdır.

Şəkər qalığı orqanik şərablarda 1,3–2,2 g/L intervalında, ənənəvi şərablarda isə 1,7–2,3 g/L aralığında müşahidə olunmuşdur. Orqanik nümunələrdə şəkər qalığının ən aşağı miqdarı delestage üsulunda (1,3 g/L), ən yüksək isə karbonik maserasiya üsulunda (2,2 g/L) qeydə alınmışdır. Ənənəvi şərablarda şəkər qalığı karbonik maserasiya üsulunda daha yüksək (2,3 g/L), klassik maserasiya üsulunda isə daha aşağı (1,7 g/L) olmuşdur.

Uçucu turşuluğun miqdarı həm orqanik, həm də ənənəvi şərablarda eyni dəyərlərə malik olub 0,34-0,61 g/L intervalında müəyyən edilmişdir. Ənənəvi və orqanik nümunələrdə ən yüksək uçucu turşuluq karbonik maserasiya üsulunda təyin olunaraq 0,42 g/L və 0,61 g/L təşkil etmişdir. Orqanik və ənənəvi şərablarda ən aşağı uçucu turşuluq isə klassik və pigeage üsullarında 0,34 g/L və 0,45 g/L miqdarında qeydə alınmışdır.

Orqanik şərablarda fenol miqdarı 941,2–2172,7 mg/L, ənənəvi şərablarda isə 1029,3–2783,7 mg/L diapazonunda dəyişmişdir. Hər iki üsulda ən yüksək göstəricilər maserasiya əsaslı üsullarda (orqanikdə delestage, ənənəvidə klassik maserasiya), ən aşağı isə karbonik maserasiya üsulunda müşahidə olunmuşdur.Orqanik şərablarda antosian miqdarı 234,8–384,2 mg/L səviyyəsində olmuş, ən yüksək göstərici pigeage üsulunda, ən aşağı isə karbonik maserasiya üsulunda müşahidə olunmuşdur. Ənənəvi şərablarda isə antosian miqdarı daha yüksək olmuş, delestage üsulunda 497,5 mg/L, karbonik maserasiya üsulunda isə 345,1 mg/L səviyyəsində olmuşdur.

Orqanik şərablarda tanin miqdarı 1,46–2,57 g/L intervalında olmuş,ən yüksək miqdar delestage üsulunda, ən aşağı isə karbonik maserasiya üsulunda müşahidə olunmuşdur. Ənənəvi şərablarda tanin miqdarı 2,09–2,86 g/L aralığında olmuş, ən yüksək nəticə klassik maserasiya üsulunda, ən aşağı isə karbonik maserasiya üsulunda qeydə alınmışdır.

Orqanik şərablarda sərbəst SO_2 19,3–23,4 mg/L səviyyəsində dəyişmiş, ən yüksək sərbəst SO_2 karbonik maserasiya üsulunda, ən aşağı isə delestage üsulunda müşahidə olunmuşdur. Ənənəvi şərablarda sərbəst SO_2 23.7-27.8 mg/L, ümumi SO_2 göstəriciləri 95–132 mg/L intervalında olmuşdur.

Orqanik şərablarda ümumi SO_2 30,1–36,1 mg/L səviyyəsində olmuş, ən yüksək göstərici karbonik maserasiya üsulunda, ən aşağı isə klassik maserasiya üsulunda qeydə alınmışdır. Ənənəvi şərablarda isə ümumi SO_2 daha yüksək olmuş, 95–132 mg/L aralığında dəyişmişdir.



Şəkil 1.Müxtəlif maserasiya üsullarına görə orqanik və ənənəvi şərabların fiziki-kimyəvi göstəriciləri

NƏTİCƏ

Aparılmış tədqiqatın nəticələri göstərir ki, Mourvedre üzüm sortundan hazırlanan şərablarda həm becərilmə üsulu (orqanik və ənənəvi), həm də tətbiq olunan maserasiya texnologiyaları (klassik, pigeage, delestage, karbonik maserasiya) şərabın kimyəvi tərkibinə və keyfiyyət göstəricilərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir.

Ümumilikdə, ənənəvi üsulla istehsal olunmuş şərablarda spirt, ümumi fenol, antosian, tanin və ümumi SO_2 miqdarları orqanik şərablarla müqayisədə daha yüksək olmuşdur. Bu isə ənənəvi texnologiyaların ekstraksiya prosesini daha intensiv aparması ilə izah oluna bilər. Orqanik şərablarda isə ümumi turşuluq nisbətən yüksək, SO_2 miqdarı isə əhəmiyyətli dərəcədə aşağı olmuşdur ki, bu da onların daha təbii və az müdaxiləli istehsal xüsusiyyətlərini əks etdirir.

Beləliklə, tədqiqat sübut edir ki, şərabın kimyəvi və texnoloji keyfiyyət göstəricilərinin formalaşmasında həm üzümün becərilmə üsulu, həm də seçilmiş maserasiya texnologiyası həlledici rol oynayır. Məqsəddən asılı olaraq (daha strukturlaşmış və zəngin tərkibli və ya daha yüngül və aromatik şərab əldə etmək) uyğun texnologiyanın seçilməsi istehsal prosesində əsas amillərdən biridir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

Şükürov, A.S. Müxtəlif ekoloji şəraitdəki üzüm sortlarının aqrobioloji və təsərrüfat-texnoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi. // Aqrar elmlər üzrə fəlsəfə doktoru alimlik dərəcəsi almaq üçün dissertasiya işinin avtoreferatı, Bakı: 2016, 26 s.

https://static,president,az/upload/Files/2022/07/22/5478ed13955fb35f0715325d7f76a8ea_3699216,pdf, Azərbaycan Respublikasının 2022–2026-cı illərdə sosial iqtisadi inkişaf Strategiyası

https://president,az/articles/28381/print, "2018–2025-ci illərdə Azərbaycan Respublikasında şərabçılığın inkişafına dair Dövlət Proqramı"nın təsdiq edilməsi haqqında Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Sərəncamı

Пытель, И.Ф. Реализация моделей селекционных сортов винограда технического направления / И.Ф Пытель, В.А. Волынки, Н.П. Олейников//ГБУ ННИИВИВ Магарач- Виноградарство и виноделие, 2015.№3, с. 74-75.

Якименко, Е.Н. Особенности витаминного и аминокислотного состава виноматериалов из красных сортов и клонов винограда/ ЯкименкоЕ.Н., Агеева Н.М., Бирюкова С.А // Москва: -Виноделие и виноградарство, 2018. №4 - с. 36-40.

Casassa, L, F,, Huff, R,, & Steele, N, B, (2019), Chemical consequences of extended maceration and post-fermentation additions of grape pomace in Pinot noir and Zinfandel wines from the Central Coast of California (USA), *Food Chemistry, 300*, Article 125-147

Casassa, L.F.; Beaver, C.W.; Mireles, M.; Larsen, R.C.; Hopfer, H.; Heymann, H.; Harbertson, J.F. Influence of fruit maturity, maceration length, and ethanol amount on chemical and sensory properties of Merlot wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 2013, *64*, 437–449.

Guaita, M.; Bosso, A. Polyphenolic characterization of grape skins and seeds of four Italian red cultivars at harvest and after fermentative maceration. Foods 2019, 8, 395.

Frost, S, C,, Blackman, J, W,, Hjelmeland, A, K,, Ebeler, S, E,, & Heymann, H, (2018), Extended maceration and cap management impacts on the phenolic, volatile, and sensory profiles of Merlot wine, *American Journal of Enology and Viticulture, 69*(4), 360–370

Jagatić Korenika, A.-M.; Kozina, B.; Preiner, D.; Tomaz, I.; Volarević, J.; Jeromel, A. The effect of seed removal and extraction time on the phenolic profile of Plavac Mali wine. *Appl. Sci.* 2023, *13*, 5411

Ribéreau-Gayon, P.; Glories, Y.; Maujean, A.; Dubourdieu, D. Handbook of Enology, Volume 2: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2006.

UOT: 662.767.2:663.2:628.4

ŞƏRAB EMALI QALIQLARINDAN BİOGAZ İSTEHSALI

Ilkin Elçin oğlu Süleymanov
Bakı Mühəndislik Universiteti
orcid.org:0009-0000-0398-7793
ilsuleymanov@beu.edu.az

Emil Təbrik oğlu Salmanov
Bakı Mühəndislik Universiteti
orcid.org:0009-0000-0398-7793
esalmanov2@std.beu.edu.az

Xülasə

Şərab emalı zamanı yaranan üzüm cecəsi və digər üzvi tullantılar yüksək üzvi maddə tərkibinə görə biogaz (xüsusilə metan) istehsalı üçün çox uyğun xammaldır.Bu tullantıların anaerob həzm prosesi ilə emalı həm enerji əldə etməyə,həm də ətraf mühitə mənfi təsirlərin azalmasına imkan yaradır. Anaerob həzm prosesi dörd əsas mərhələdən ibarətdir: hidroliz,asidogenez,asetogenez və metanogenez.Bu mərhələlərdə mürəkkəb üzvi maddələr tədricən sadə birləşmələrə parçalanır və nəticədə metan və karbon qazından ibarət biogaz yaranır. Prosesin effektivliyi mikroorqanizmlərin fəaliyyəti,Ph, tempratur və substratın tərkibi kimi amillərdən asılıdır.Tədqiqatda bu prosesi daha səmərəli etmək üçün fermentativ hidroliz,kofermentasiya və

proses parametrlərinin optimallaşdırılması kimi yanaşmaların vacibliyi vurğulanır.Xüsusilə hidroliz mərhələsi sürəti məhdudlaşdıran əsas addım hesab olunur və onun yaxşılaşdırılması ümumi biogaz çıxımını artırır.

Açar sözlər: şərab emalı qalıqları, biogaz istehsalı, anaerob həzm, üzüm cecəsi, metan.

BIOGAS PRODUCTION FROM WINE PROCESSING WASTES

Ilkin Elchin oghlu Suleymanov[1], Emil Tebrik oghlu Salmanov[2]
Baku Engineering University
ORCID: 0009-0000-0398-7793
ilsuleymanov@beu.edu.az
esalmanov2@std.beu.edu.az

Abstract
Grape pomace and other organic wastes generated during wine processing are highly suitable raw materials for biogas production, especially methane, due to their high organic matter content. The treatment of these wastes through the anaerobic digestion process makes it possible both to generate energy and to reduce negative environmental impacts. The anaerobic digestion process consists of four main stages: hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis, and methanogenesis. During these stages, complex organic substances are gradually broken down into simpler compounds, resulting in the formation of biogas composed mainly of methane and carbon dioxide. The efficiency of the process depends on factors such as the activity of microorganisms, pH, temperature, and the composition of the substrate. The study emphasizes the importance of approaches such as enzymatic hydrolysis, co-digestion, and optimization of process parameters in order to make this process more efficient. In particular, the hydrolysis stage is considered the main rate-limiting step, and its improvement increases the overall biogas yield.

Keywords: wine processing wastes, biogas production, anaerobic digestion, grape pomace, methane.

Giriş Üzüm emalı zamanı yaranan tullantılar, xüsusilə çaxır istehsalının yan məhsulları, yüksək üzvi maddə tərkibi səbəbindən bioqaz istehsalı üçün əhəmiyyətli xammal mənbəyi kimi çıxış edir[1]. Şərabçılıq və meyvə emalı qalıqları biogaz istehsalı üçün ən yüksək enerjili xammallardan biridir və Azərbaycanda da bu xammal davamlı olaraq mövcuddur.Belə ki,şərab və meyvə şirəsi istehsalı ilə məşğul olan müəssisələrdə hər il 100 tonlarla emal qalıqları mövcud olur ki,bu da utilizasiya olunur.

Bu tullantılar, əsasən üzüm cecəsi şəklində, metan istehsalı potensialına malikdir (Wang et al., 2024), bu da onları anaerob həzm prosesləri vasitəsilə enerji əldə etmək üçün cəlbedici edir. Bu yanaşma, həm ətraf mühitin mühafizəsi (Kayışoğlu & Giray, 2024), həm də tullantıların idarə edilməsi problemlərinin həlli baxımından əhəmiyyət kəsb edir, çünki meyvə emalı tullantıları, o cümlədən çaxır tullantıları, yüksək karbohidrat, pektin və nəmlik tərkiblərinəgörə sürətli mikrobial parçalanma üçün uyğundur (Phillip et al., 2025). Bu bioməhsullar həmçinin xrom, mis və sink kimi ağır metalların biosorbsiyası üçün də istifadə oluna bilər (Bekar, 2016).

Bundan əlavə, üzüm cecəsi liqnin, sellüloza və hemisellüloza kimi üzvi birləşmələri ehtiva etdiyi üçün biometan istehsalı üçün böyük potensiala malikdir (Oliveira et al., 2022). Anaerob çürütmə, üzüm cecəsinin qida maddələri ilə zəngin üzvi maddə tərkibi və əhəmiyyətli enerji potensialı səbəbindən şərab tullantılarının emalı üçün xüsusilə uyğun bir texnologiya hesab olunur (Klimek et al., 2022). Bu proses, xüsusilə şərab zavodlarından yaranan tullantı suları və digər bərk üzvi tullantılar, məsələn, malt və qida qalıqları kimi materialların bioenerji istehsalında istifadəsini əhatə edir (Çalışkan et al., 2014; Morata et al., 2021). Beləliklə, şərab emalı qalıqlarından biogaz istehsalı, tullantıların həcminin azaldılması ilə yanaşı, enerji mənbəyi kimi də dəyərli bir alternativ təmin edir (Tunçez & Soylu, 2022). Meyvə emalı sənayesindən yaranan tullantılar, əsasən poliqonlara və ya yandırma qurğularına yönəldilir ki, bu da karbon qazı və metan emissiyaları ilə nəticələnir (Błaszczyk et al., 2024).

Ədəbiyyat icmalı Anaerob həzm isə bu üzvi tullantıları biometan və digər dəyərli məhsullara çevirərək, tullantıların idarə edilməsi və enerji istehsalı üçün səmərəli bir həll təqdim edir (Czubaszek et al., 2022; Öner, 2022). Bu texnologiya, oksidləşdirici şəraitdə üzvi maddələri parçalayaraq metan, karbon qazı və digər faydalı qazlara çevirən dörd mərhələdən (hidroliz, asidojenez, asetojenez və metanojenez) ibarətdir (Rashid, 2024).

Bu mərhələlər hidroliz, asitogenez, asetogenez və metanogenezdən ibarətdir ki, hər biri müxtəlif mikroorqanizmlərin iştirakı ilə üzvi maddələrin strukturunu ardıcıl olaraq dəyişdirir (Yağmur & Sağlam, 2023). Bu proses nəticəsində əldə olunan biqaz, həmçinin bio-metanizasiya adlandırılan anaerob parçalanma prosesinin bir məhsulu kimi, ekoloji və insan sağlamlığına zərərli təsirləri azaldaraq, aşağı

xərcli və davamlı enerji mənbəyi təklif edir (Öner, 2022). Bu texnologiya xüsusilə şərab fermentasiya qalıqlarının yüksək üzvi tərkibi nəzərə alınmaqla, alternativ yanacaq və ya elektrik enerjisi istehsalı üçün böyük potensial daşıyır (Bekar, 2016). Bu yanaşma, eyni zamanda, meyvə emalı qalıqlarından yaranan tullantıların həcmini əhəmiyyətli dərəcədə azaltmaqla, bu sənayenin ekoloji izini minimala endirir (Phillip et al., 2025). Üzüm cecəsi kimi üzvi tullantıların anaerobik həzmi, məsələn, meyvə və tərəvəz qalıqları, təxminən 75% şəkər və hemisellüloza, 9% sellüloza və 5% liqnin daxil olmaqla zəngin üzvi fraksiyaya malikdir (Zhivkova, 2017), bu da onu biometan istehsalı üçün yüksək potensiallı substrata çevirir (Zhivkova, 2017). Bu üzvi qalıqların biogaz istehsalında istifadəsi, həm enerji təhlükəsizliyini artırır, həm də sənaye tullantılarının ətraf mühitə mənfi təsirini minimuma endirir (Ampese et al., 2025). Bununla yanaşı, anaerobik çürütmə, digər bərpa üsulları ilə müqayisədə aşağı əməliyyat xərcləri təklif edərək tullantıların idarə edilməsi üçün əlverişli bir həll kimi çıxış edir (Szaja et al., 2022).

Məhz bu səbəbdən, üzüm tullantılarının biometan istehsalında istifadəsi, həm tullantıların həcmini azaldır, həm də bərpa olunan enerji mənbəyi kimi iqtisadi və ekoloji faydalar təmin edir (Guerrero-Martín et al., 2024; Zhivkova, 2017). Bu proses, üzvi maddələrin biqaza çevrilməsi üçün hidroliz, asidogenez, asetogenez və metanogenez kimi ardıcıl mərhələləri əhatə edən mikroorqanizmlərin metabolik fəaliyyətinə əsaslanır (Dalbanjan et al., 2025; DelaVega-Quintero et al., 2025). Hidroliz mərhələsində mürəkkəb üzvi polimerlər, məsələn, pektin, sellüloza, hemisellüloza, yağlar və zülallar, sadə molekullara (şəkərlər, amin turşuları, yağ turşuları) parçalanır ki, bu da biqaz istehsalının sürətini məhdudlaşdıran əsas addım kimiçıxış edir (Altın, 2024; Kayışoğlu & Giray, 2024). Hidroliz, asidoqenez, asetogenz və metanoqenez daxil olmaqla dörd əsas mərhələdən ibarət olan bu prosesdə, xüsusilə çətin parçalanan üzvi maddələr (məsələn, sellüloz və yağ tərkibli maddələr) hidroliz müddətini uzada bilər (Şenol et al., 2019, 2022). Hidroliz fazasında karbohidratlar, yağlar və zülallar kimi böyük molekullu birləşmələr, mikroorqanizmlərin fermentativ fəaliyyəti nəticəsində amino turşular, yağ turşuları və monosaxaridlər kimi daha kiçik struktur vahidlərinə parçalanır (Kalaycı et al., 2019; Lambert et al., 2017). Daha sonra, asidogenez mərhələsində bu sadə molekullar fermentasiya yolu ilə müxtəlif üzvi turşulara (məsələn, sirkə turşusu, propion turşusu, butir turşusu), spirtlərə, hidrogenə və karbon qazına çevrilir (Costa et al., 2025). Asetogenez mərhələsində isə bu üzvi turşular və spirtlər asetata, hidrogenə və karbon qazına çevrilir (Jiang et al., 2021). Nəhayət, metanogenez fazasında metanojen arxeylər asetatı, hidrogeni və karbon qazını istifadə edərək metan və karbon qazıdan ibarət biqaz istehsal edirlər (Dodurka et al., 2023; Sanja, 2017; Ünşar & Perendeci, 2016). Bu prosesdə hidroliz əsas mərhələlərdən biridir, çünki o, substratın bioloji parçalanma sürətini müəyyənləşdirir və tullantı tərkibindəki yağların yüksək miqdarı bu mərhələni ləngidə bilər (Fitri & Dhaniswara, 2018; ÖZBAŞER & Erdem, 2013).

Bu səbəbdən, hidrolitik mərhələnin optimallaşdırılması, xüsusən də mürəkkəb üzvi tullantılarla işləyərkən, ümumi biqaz istehsalının effektivliyini və sürətini əhəmiyyətli dərəcədə artıra bilər (Yağlı & Koç, 2019). Substratların hidrolizi, biqaz əldə etmə prosesində ən kritik mərhələlərdən biri sayılır, lakin liqnin, sellüloza və hemisellüloza kimi çətin parçalanan komponentlərin mövcudluğu səbəbindən bu prosesin səmərəliliyi hər zaman yüksək olmur (Menzel et al., 2020; Olatunji et al., 2021). Bu səbəbdən, biogaz istehsalının kommersiya miqyasında optimallaşdırılması üçün anaerob prosesin hər bir mikrob pilləsinin, xüsusən də hidroliz və metanogenez kimi sürəti məhdudlaşdıran mərhələlərin performansının qiymətləndirilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir (Moestedt et al., 2015).

Metodologiya Bu tədqiqatda, şərab emalı qalıqlarından biometan istehsalının effektivliyini artırmaq üçün fermentativ hidroliz və kofürmentasiya strategiyalarının tətbiqi, habelə müxtəlif proses parametrlərinin optimallaşdırılması araşdırılacaqdır. Hidroliz prosesində mürəkkəb üzvi polimerlərin sadə monomerlərə parçalanması, xüsusilə də karbohidratların pentoz, qlükoza və heksoza, zülalların isə polipeptid və amin turşularına çevrilməsi mikroorqanizmlərin fermentləri vasitəsilə baş verir (Töke & Tunçez, 2024). Bu ilkin parçalanma, sonraki asidogenez mərhələsində bakterial fermentasiya nəticəsində üzvi turşulara, spirtlərə, hidrogenə və karbon qazına çevrilən həll olunan substratların əlçatanlığını artırır (Gül & Bayazıt, 2021; Peker & Dadaşer-Çelik, 2019). Daha sonra, asetogenez fazası həmin üzvi turşuları asetat, hidrogen və karbon dioksidə çevirir (Kalaycı et al., 2019). Nəticədə, metanogenik arxeylər asetat, hidrogen və karbon dioksiddən metan və karbon dioksid istehsal edərək biqaz əmələ gətirirlər (KURT, 2021; Monlau et al., 2014). Anaerob həzmin ikinci mərhələsi olan asidogenez zamanı mikroorqanizmlər fermentasiya yolu ilə monomerləri asetik turşu, butirik turşu, laktik turşu və etanol kimi müxtəlif metabolik son məhsullara çevirirlər (Detman et al., 2021; Kandylis et al., 2016; Mégret et al., 2015). Bu mərhələdə əmələ gələn

turşular pH səviyyəsinin aşağı düşməsinə səbəb ola bilər ki, bu da sonrakı metanogenez mərhələsinin səmərəliliyinə mənfi təsir göstərə bilər (Türker, 2020).
Buna görə də, prosesin dayanıqlığını və optimal biqaz istehsalını təmin etmək üçün hidroliz və asidogenez kinetikləri ilə metanogenez arasında tarazlığın saxlanılması fundamental əhəmiyyət kəsb edir (OTUZALTI & PERENDECİ, 2019). Bu tarazlığın pozulması, metanogen bakteriyaların fəaliyyətini inhibə edərək prosesin ümumi səmərəliliyini azalda bilər (Yağmur & Sağlam, 2023). Bu səbəbdən, anaerobik həzm proseslərinin idarəedilməsində pH-ın diqqətli monitorinqi və tənzimlənməsi, xüsusən də turşu yüklənməsinin qarşısını almaq üçün mühüm strateji yanaşmadır (Gueri et al., 2017). Əlavə olaraq, substratın hidroliz dərəcəsi metanojen qrupların asetat və hidrogen istehlakı ilə mütənasib olmalıdır ki, uçucu yağ turşularının yığılmasının qarşısı alınsın və prosesin dayanıqlığı təmin edilsin (Goux et al., 2015). Bu mikroorqanizmlərin qarşılıqlı fəaliyyəti nəticəsində kompleks üzvi maddələr parçalanaraq metan və karbon qazına çevrilir (Kabeyi et al., 2024; Muratçobanoğlu et al., 2019). Bu mürəkkəb biokimyəvi çevrilmələr silsiləsi anaerob çürütmənin ümumi sxemini təşkil edir, burada hər bir mərhələ özünəməxsus mikrob icmaları tərəfindən kataliz olunur ("Methane Production," 1982; Sikora et al., 2017). Fermentasiya prosesində mikroorqanizmlərin karbohidratları parçalayaraq CO2 istehsal etməsi quru maddə itkilərini artırır, zülalların parçalanması isə N2O və NH3-N kimi qazların əmələ gəlməsinə səbəb olur ki, bu da qidanın qida dəyərinə təsir edir (Du et al., 2024). Bu baxımdan, anaerob həzmin optimallaşdırılması qida dəyərinin qorunması və ətraf mühitə mənfi təsirlərin azaldılması üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Anaerob həzm prosesində karbohidratlar, yağlar və zülallar kimi mürəkkəb üzvi birləşmələrin ardıcıl olaraq hidrolizi, asidogenezi, asetogenezi və metanogenezi baş verir (Rabii et al., 2019). Bu mərhələlər xüsusi mikrob qrupları tərəfindən kataliz olunur və substratın növündən, temperaturdan, pH-dan və hidravlik saxlama müddətindən asılı olaraq metan çıxımını təsir edən dinamik bir sistem təşkil edir (DelaVega-Quintero et al., 2025; Ibro et al., 2022).
Nəticələr Bu dinamik sistemdəki mikrobial populyasiyaların qarşılıqlı əlaqələri və ekoloji şərtlərə həssaslıqları, xüsusən də pH, üzvi maddə kimyası və uçucu yağ turşularının konsentrasiyası, ümumi proses səmərəliliyinə birbaşa təsir göstərir (Li et al., 2017; Xiao et al., 2013). Məsələn, metanogenez fazasında asetik turşu, H2 və CO+ metana çevrilir (OTUZALTI & PERENDECİ, 2019). Bu çevrilmələrin optimallaşdırılması, hidrolitik, asidogenik və asetogenik mikroorqanizmlərin fəaliyyəti ilə metanogenlərin fəaliyyəti arasında səmərəli sinxronizasiyanı tələb edir (Shah et al., 2014). Bu səbəbdən, anaerob həzm prosesinin sabitliyini və metan hasilatını artırmaq üçün elektron köçürməsini yaxşılaşdırmaq, hidravlik saxlama müddətini və substrat tərkibini optimize etmək vacibdir (Onwosi et al., 2019). Anaerobik parçalanma, üzvi maddələrin oksigensiz şəraitdə mikroorqanizmlər tərəfindən parçalanaraq əsasən metan və karbon qazından ibarət biqaz istehsal etdiyi kompleks bioloji prosesdir (Pilarski & Pilarska, 2025; Shah et al., 2014). Bu proses hidroliz, fermentasiya, asetogenez və metanogenez kimi dörd əsas mərhələdən ibarətdir ki, bu mərhələlərin hər biri fərqli mikrobial populyasiyalar tərəfindən idarə olunur (Pilarski & Pilarska, 2025; Strande et al., 2018). Hər bir mərhələdəki mikroorqanizmlərin optimal fəaliyyəti üçün spesifik ətraf mühit şəraiti, o cümlədən temperatur, pH, C/N nisbəti və redoks potensialı tələb olunur (Öner, 2022). Bu şəraitdə baş verən hər hansı dəyişiklik, xüsusən də toksik maddələrin mövcudluğu, mikrobial aktivliyi pozaraq prosesin tamamlanmamasına, səmərəliliyin azalmasına və reaktorun uğursuzluğuna səbəb ola bilər (Ünşar & Perendeci, 2016). Təbii olaraq, hidrolitik bakteriyalar tərəfindən hidroliz prosesi zamanı kompleks üzvi polimerlər daha kiçik, həll olunan molekullara parçalanır, məsələn, karbohidratlar şəkərlərə, zülallar amin turşularına və yağlar yağ turşularına çevrilir (DelaVega-Quintero et al., 2025). Bu ilkin parçalanma mərhələsi, sonrakı asidogenez fazasında bu sadə birləşmələrin üzvi turşulara, spirtlərə, H_2 və CO_2-yə fermentasiyasını asanlaşdırır (Pilarski & Pilarska, 2025; Rincón-Velásquez & Rozo, 2021).
Ardınca gələn asetogenez mərhələsində bu üzvi turşular asetogen bakteriyalar tərəfindən asetat, hidrogen və karbon dioksidə çevrilir (Kayışoğlu & Giray, 2024). Nəhayət, metanogenez prosesində metanogen arxeylər asetatı, hidrogeni və karbon dioksidi metana və karbon dioksidə çevirərək biqaz istehsalını tamamlayırlar (Eleroğlu et al., 2013; Neto & Taherzadeh, 2025; Tavares et al., 2016).
Müzakirə Bu proseslər sənaye miqyasında biqaz istehsalının səmərəliliyini artırmaq üçün dərin təhlil və optimallaşdırma tələb edir, xüsusilə də şərab emalı qalıqları kimi spesifik substratların tərkibinin və xüsusiyyətlərinin bu mərhələlərə necə təsir etdiyini anlamaq vacibdir (Öner, 2022; ÖZBAŞER & Erdem, 2013). Anaerob həzm prosesi, ümumilikdə dörd ardıcıl mərhələdən ibarətdir: hidroliz, asidogenez, asetogenez və metanogenez (DelaVega-Quintero et al., 2025). Hər bir mərhələ özünəməxsus

mikroorqanizm populyasiyaları tərəfindən həyata keçirilir və bu mərhələlər biokimyəvi ardıcıllıqla kompleks üzvi maddələri biqaza çevirir (Kuris, 2019; Oliveira et al., 2021; Shah et al., 2025).

Nəticə Şərab emalı qalıqları kimi xüsusi substratlar üçün bu proseslərin optimallaşdırılması, ilkin hidroliz dərəcəsini və sonrakı mərhələlərdə metan istehsalının effektivliyini artırmaq üçün mikroorqanizmlərin adaptasiyasını və inkişafını nəzərdə tutur (Bernet, 2015; Huertas & Huertas, 2015; Şenol et al., 2017; Тркуља et al., 2023). Bu kontekstdə, qalıqların tərkibindəki karbohidrat, lipid və zülalların parçalanma sürətini tənzimləmək üçün istilik, pH və substrat yüklənməsi kimi parametrlərin dəqiq idarə olunması kritik əhəmiyyət kəsb edir (Patil et al., 2021). Bundan əlavə, bioloji prosesin sabitliyini təmin etmək məqsədilə asetogen və metanogen bakteriyalar arasında sinxron fəaliyyətin qorunması, xüsusilə də uçucu yağ turşularının yığılmasının qarşısını almaq üçün mühüm rol oynayır (Goux et al., 2015; Töke & Tunçez, 2024). Bu yanaşma, prosesin ümumi səmərəliliyini artırmaqla yanaşı, dayanıqlı biqaz istehsalını təmin edir və beləliklə, üzvi tullantıların enerjiyə çevrilməsində yeni imkanlar açır (Neto & Taherzadeh, 2025). Xüsusilə, hidroliz, asidogenez, asetogenez və metanogenez kimi dörd əsas mərhələdən ibarət olan anaerob çürütmə prosesi, kompleks üzvi polimerlərin mərhələli şəkildə sadə birləşmələrə parçalanması və nəticədə metan qazının istehsalı ilə xarakterizə olunur (Xu et al., 2019)

Ədəbiyyat siyahısı

1. Wang, X., et al. (2024). Methane potential of grape pomace.
2. Kayışoğlu, S., & Giray, E. (2024). Environmental benefits of biogas production.
3. Phillip, L., et al. (2025). Composition and biodegradability of fruit waste.
4. Bekar, A. (2016). Biosorption potential of agricultural wastes.
5. Oliveira, M., et al. (2022). Lignocellulosic biomass in methane production.
6. Klimek, K., et al. (2022). Winery waste management and biogas potential.
7. Çalışkan, E., et al. (2014). Organic waste utilization in bioenergy production.
8. Morata, A., et al. (2021). Winery by-products and bioenergy.
9. Tunçez, E., & Soylu, S. (2022). Biogas from winery waste.
10. Błaszczyk, M., et al. (2024). Environmental impacts of organic waste disposal.
11. Czubaszek, R., et al. (2022). Biogas production from organic waste.
12. Öner, H. (2022). Anaerobic digestion and energy production.
13. Rashid, R. (2024). Stages of anaerobic digestion.
14. Yağmur, A., & Sağlam, M. (2023). Anaerobic digestion stages.
15. Zhivkova, D. (2017). Composition of fruit and vegetable waste.
16. Ampese, L., et al. (2025). Fruit processing waste valorization.
17. Szaja, A., et al. (2022). Economic aspects of anaerobic digestion.
18. Guerrero-Martín, L., et al. (2024). Biogas from agro-industrial residues.
19. Dalbanjan, M., et al. (2025). Microbial metabolism in anaerobic digestion.
20. DelaVega-Quintero, V., et al. (2025). Methane production pathways.
21. Altın, A. (2024). Hydrolysis optimization in anaerobic digestion.
22. Şenol, H., et al. (2019, 2022). Lignocellulosic degradation studies.
23. Kalaycı, T., et al. (2019). Biochemical transformations.
24. Lambert, M., et al. (2017). Hydrolysis of complex substrates.
25. Costa, J., et al. (2025). Acidogenesis pathways.
26. Jiang, Y., et al. (2021). Acetogenesis mechanisms.
27. Dodurka, T., et al. (2023). Methanogenic archaea.
28. Sanja, M. (2017). Methane production mechanisms.
29. Ünşar, E., & Perendeci, N. (2016). Methane production efficiency.
30. Fitri, R., & Dhaniswara, K. (2018). Lipid inhibition effects.
31. ÖZBAŞER, F., & Erdem, H. (2013). Operational challenges.
32. Yağlı, H., & Koç, Y. (2019). Hydrolysis improvement strategies.
33. Menzel, S., et al. (2020). Biomass degradation challenges.
34. Olatunji, O., et al. (2021). Hydrolysis limitations.
35. Moestedt, J., et al. (2015). Process optimization.
36. Töke, O., & Tunçez, E. (2024). Enzymatic hydrolysis.
37. Gül, Ş., & Bayazıt, Y. (2021). Fermentation kinetics.
38. Peker, E., & Dadaşer-Çelik, F. (2019). Organic acid production.

39. KURT, H. (2021). Methane production pathways.
40. Monlau, F., et al. (2014). Methane production from biomass.
41. Detman, A., et al. (2021). Fermentation processes.
42. Kandylis, P., et al. (2016). Waste fermentation.
43. Mégret, J., et al. (2015). Anaerobic fermentation.
44. Türker, M. (2020). pH effects in digestion.
45. OTUZALTI, G., & PERENDECİ, N. (2019). Methanogenesis efficiency.
46. Gueri, M., et al. (2017). pH control strategies.
47. Goux, X., et al. (2015). Process stability.
48. Kabeyi, M., et al. (2024). Microbial interactions.
49. Muratçobanoğlu, H., et al. (2019). Organic residue digestion.
50. Methane Production. (1982).
51. Sikora, J., et al. (2017). Microbial consortia.
52. Du, X., et al. (2024). Nutrient losses.
53. Rabii, A., et al. (2019). Digestion stages.
54. Ibro, V., et al. (2022). Methane yield factors.
55. Li, Y., et al. (2017). Microbial dynamics.
56. Xiao, B., et al. (2013). Anaerobic systems.
57. Shah, F., et al. (2014, 2025). Biogas efficiency studies.
58. Onwosi, C., et al. (2019). Process enhancement.
59. Pilarski, K., & Pilarska, A. (2025). Anaerobic digestion systems.
60. Strande, L., et al. (2018). Waste-to-energy technologies.
61. Rincón-Velásquez, M., & Rozo, G. (2021). Fermentation pathways.
62. Eleroğlu, H., et al. (2013). Methanogenesis studies.
63. Neto, J., & Taherzadeh, M. (2025). Advanced digestion technologies.
64. Tavares, R., et al. (2016). Methane systems.
65. Kuris, M. (2019). Microbial ecology.
66. Oliveira, M., et al. (2021). Agro-waste biogas.
67. Bernet, N. (2015). Anaerobic digestion fundamentals.
68. Huertas, J., & Huertas, M. (2015). Process optimization.
69. Şenol, H., et al. (2017). Organic waste digestion.
70. Тркуља, N., et al. (2023). Biogas production studies.
71. Patil, V., et al. (2021). Parameter optimization.
72. Xu, F., et al. (2019). Biogas mechanisms.

MOLECULAR DOCKING STUDY OF GLYCYRRHIZIN AS A POTENTIAL INHIBITOR OF 11B-HYDROXYSTEROID DEHYDROGENASE TYPE 1: INSIGHTS INTO THERAPEUTIC APPLICATIONS FOR METABOLIC DISORDERS

Leyla Galandarli
"Young Talents" Lyceum
Baku State University
Baku, Azerbaijan
leyla_aktau@mail.ru
0009-0006-3290-9157

Gulnara Akverdieva
Institute for Physical Problems
Baku State University
Baku, Azerbaijan
0000-0003-1851-2234

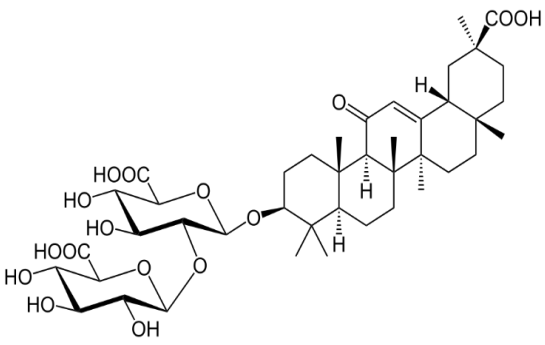
Abstract: 11β-Hydroxysteroid dehydrogenase type 1 (11β-HSD1) plays a key role in the local activation of glucocorticoids, contributing to metabolic disorders such as obesity and type 2 diabetes. Glycyrrhizin, a bioactive triterpenoid saponin from Glycyrrhiza glabra, exhibits multiple pharmacological effects, including anti-inflammatory and metabolic regulation. In this study, molecular docking was performed to investigate the binding affinity and interaction patterns of glycyrrhizin with 11β-HSD1 (PDB ID: 1XCE). The results demonstrated strong binding (ΔG = –9.3 kcal/mol) with multiple hydrogen bonds and hydrophobic interactions stabilizing the ligand within the active site. Key residues involved include Tyr 257, Glu255, Gln253, Met256 and Arg262, suggesting a potential inhibitory effect of glycyrrhizin on 11β-HSD1 activity. These findings provide insights into the structural basis of glycyrrhizin as a natural 11β-HSD1 modulator and support further experimental validation for its therapeutic application in metabolic disorders.
Keywords: glycyrrhizin, 11β-HSD1, molecular docking, protein-ligand interaction, pharmacophore modeling, enzyme inhibition

Introduction

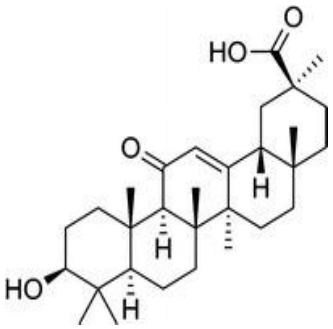
11β-Hydroxysteroid dehydrogenase type 1 (11β-HSD1) is a key NADPH-dependent enzyme responsible for the intracellular conversion of inactive cortisone to active cortisol in humans and corticosterone in rodents. This enzyme is widely expressed in metabolic tissues such as the liver, adipose tissue, and the central nervous system, and plays a pivotal role in regulating local glucocorticoid concentrations, thus influencing glucose homeostasis, lipid metabolism, and inflammatory responses [1–3]. Dysregulation of 11β-HSD1 has been strongly associated with the pathogenesis of metabolic disorders, including obesity, type 2 diabetes, hypertension, and non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) [4]-[6]. Consequently, selective inhibition of 11β-HSD1 is considered a promising therapeutic strategy for the management of these metabolic syndromes [7].

Glycyrrhizin, a triterpenoid saponin derived predominantly from the roots of Glycyrrhiza glabra (licorice), has been traditionally used in multiple systems of medicine for its anti-inflammatory, hepatoprotective, and antiviral properties [8]-[10]. Structurally, glycyrrhizin consists of a hydrophobic aglycone moiety (glycyrrhetinic acid) and a hydrophilic disaccharide unit, imparting amphipathic characteristics that facilitate diverse molecular interactions with proteins [11].

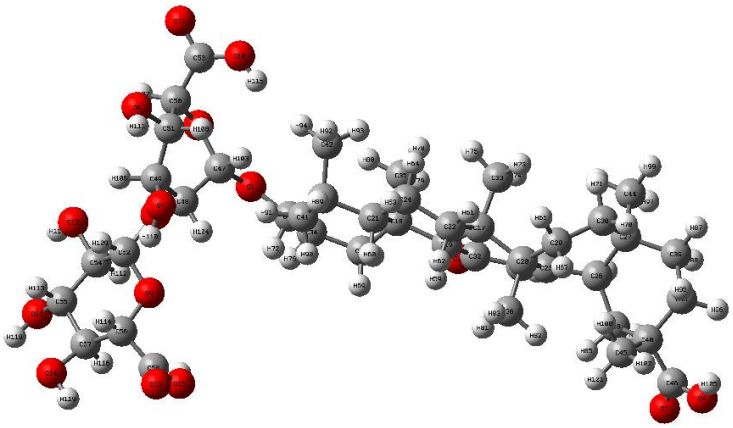
These structural features are illustrated in fig. 1 (a–c), which presents the molecular configuration and atomic numbering. Previous studies have demonstrated that glycyrrhizin and its derivatives can interact with a variety of enzymes and receptors, including viral proteases, steroid-metabolizing enzymes, and inflammatory mediators [12]–[14].



(a)



(b)



(c)

2D chemical structures of glycyrrhizin (a) and its part - glycyrrhetic acid (b); 3D molecular model with atomic numbering scheme for glycyrrhizin (c)

Given the crucial role of 11β-HSD1 in glucocorticoid-mediated metabolic regulation, natural compounds capable of modulating its activity are of significant interest. Recent in silico approaches, particularly molecular docking, have enabled detailed predictions of ligand–protein interactions, providing insights into binding modes, key interacting residues, and the thermodynamic feasibility of inhibition [15]-[17]. Docking studies of glycyrrhizin with enzymes such as SARS-CoV-2 M^{pro} and ACE2 have revealed favorable binding affinities and networks of hydrogen bonds and van der Waals contacts, indicating the potential of glycyrrhizin as a multi-target bioactive molecule [18]-[20].

In this study, we explored the molecular interactions between glycyrrhizin and human 11β-HSD1 (PDB ID: 1XCE) using molecular docking simulations. The objectives were to determine the binding affinity of glycyrrhizin to the active site of 11β-HSD1, identify critical residues contributing to ligand stabilization, and provide a structural basis for the potential inhibitory effects of glycyrrhizin on 11β-HSD1. These findings aim to advance the understanding of glycyrrhizin as a natural modulator of steroid metabolism and support its potential development for the treatment of metabolic disorders.

Calculation Methods

The discovery and development of novel therapeutic agents require close collaboration between physicists, biologists, biochemists, and computational chemists. In this context, molecular docking has emerged as a powerful computational tool, allowing the rapid identification of potential bioactive compounds that can selectively interact with target proteins [21]. By predicting the binding of a ligand to a specific protein implicated in disease, such as 11β-HSD1, molecular docking facilitates the rational design of inhibitors that can modulate pathological enzyme activity [22].

Molecular docking is a widely employed in silico approach in drug discovery, providing insights into the preferred orientation, binding modes, and affinities of small molecules within the active site of a receptor [23] –[24]. The main objective is to identify the energetically most favorable conformation of a ligand in the binding pocket of the target protein, effectively representing a search for the global minimum on a multidimensional energy landscape [25]. This computational strategy predicts the optimal positioning of a

ligand relative to the protein, enabling the formation of a stable complex critical for potential inhibition [26].

Ligand binding is stabilized through various non-covalent interactions, including hydrogen bonding, van der Waals forces, and electrostatic (Coulombic) interactions. For instance, the AutoDock software applies a semi-empirical scoring function to approximate the free energy of ligand–protein interactions, combining molecular mechanics terms with empirical desolvation contributions, including water-mediated effects [27]. This methodology was applied to investigate the interaction between glycyrrhizin and the 11β-HSD1 enzyme, allowing the prediction of key residues involved in stabilizing the ligand and providing a basis for rational inhibitor design.

Docking Procedure and Parameters

The three-dimensional structure of 11β-HSD1 (PDB ID: 1XCE) was retrieved from the Protein Data Bank (RCSB PDB, http://www.rcsb.org) [28]. Prior to docking, all crystallographic water molecules and co-crystallized ligands were removed to avoid interference with the binding analysis. Polar hydrogens were added to the protein structure, and Kollman charges were assigned to all atoms to accurately represent the electrostatic environment.

The ligand, glycyrrhizin (ChemSpider ID: 14263), was obtained from the ChemSpider database (http://www.chemspider.com) [29,30]. Partial charges of glycyrrhizin were calculated using the Gasteiger method, and all rotatable bonds were set to be flexible during docking to explore the conformational space fully. In contrast, the protein structure was treated as rigid, allowing the ligand to adapt to the binding pocket without altering the overall protein conformation.

A rectangular grid box encompassing the active site of 11β-HSD1 was defined with dimensions of 40 × 40 × 40 Å, centered on the co-crystallized inhibitor's position. This ensured that the ligand could access all relevant residues within the substrate-binding pocket. Molecular docking was performed using AutoDock Vina software [31], which estimates the binding affinity (ΔG) for each pose based on a scoring function that incorporates intermolecular hydrogen bonds, van der Waals forces, and electrostatic interactions.

Post-docking analysis included the identification of key receptor–ligand interactions, visualization of hydrogen bonds, hydrophobic contacts, and estimation of dissociation constants (K_i). The predicted Ki values were calculated according to the standard thermodynamic equation:

$$K_i = K_d = \exp(\frac{\Delta G}{RT})$$

where ΔG represents the binding free energy, R is the gas constant (1.986 cal·mol^{-1}·K^{-1}), and T is the absolute temperature (298 K). The binding strength of glycyrrhizin toward the 1XCE receptor was quantitatively characterized by determining the inhibition constant derived from the calculated Gibbs free energy. Structural visualization and analysis of the docking results were performed using PyMOL and Discovery Studio 3.0 [32,33], allowing both 2D interaction maps and 3D conformational representations of glycyrrhizin within the 11β-HSD1 active site.

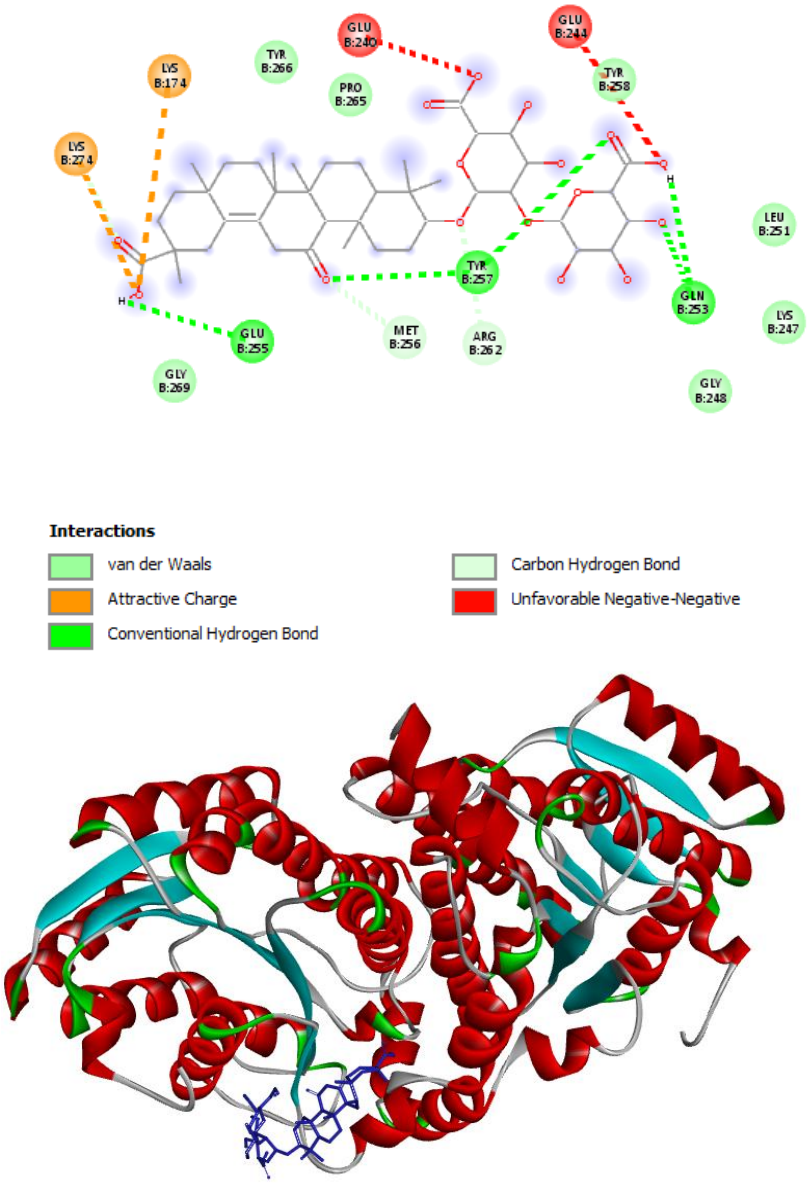
Molecular Docking Results and Discussion

Molecular docking simulations of glycyrrhizin with 11β-HSD1 (PDB ID: 1XCE) revealed a high-affinity interaction, suggesting a potential inhibitory effect on the enzyme. The best binding pose exhibited a predicted binding free energy (ΔG) of –9.3 kcal/mol, corresponding to a dissociation constant (K_i) of approximately 1.52 × 10^{-7} M, indicating a strong micromolar-level interaction. Multiple docking modes were analyzed (table 1), all demonstrating favorable energetics and comparable binding orientations, highlighting the robustness of the predicted complex. The 3D (a) and 2D (b) visualizations of the receptor-ligand interactions are shown in fig. 2.

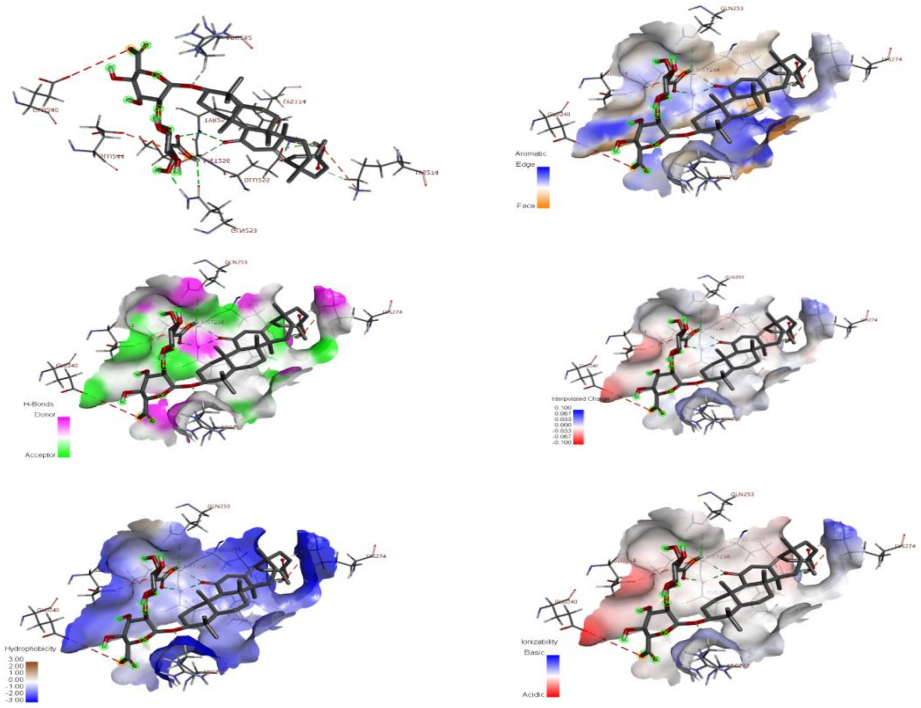
TABLE III. DOCKING MODES OF GLYCYRRHIZIN WITH 1XCE

Mode	**Affinity (kcal/mol)**	**Distance from the best mode (Å)**	
		rmsd l.b.	***rmsd u.b.***
1	-9.3	0.000	0.000
2	-9.0	2.394	5.585
3	-9.0	26.431	29.174
4	-8.9	1.707	2.526
5	-8.8	3.208	12.002
6	-8.7	24.269	30.417

7	-8.7	24.594	33.343
8	-8.7	2.377	4.689
9	-8.6	26.763	30.637



(a)



(b)

Fig. 14. The molecular docking results of glycyrrhizin to 1XCE: 3D visualization (a) and 2D diagram (b) of the receptor-ligand interactions

It was found several amino acid residues, namely GluB:255, TyrB:257, GlnB:253 of B-chain forms conventional hydrogen bonds, MetB:256 and ArgB:262 forms carbon hydrogen bonds, GluB:240 and GluB:244 forms unfavorable bonds, LysB:274 forms two attractive charges. The detailed characteristics of the intermolecular interactions between glycyrrhizin and these receptor residues are presented in table 2.

TABLE IV. THE ATTRIBUTES OF THE GLYCYRRHIZIN – 1XCE INTERMOLECULAR INTERACTION

Contacts	**Types interactions**	**Distances (Å)**	**∠DHA (degree)**	**∠HAY (degree)**
B:GLN253:HE22 - : Glycyrrhizin:O	Conventional HB	1.94	168.69	97.664
Glycyrrhizin:H - B:GLN253:OE1	Conventional HB	2.60	94.68	118.45
B:TYR257:HN - : Glycyrrhizin:O	Conventional HB	2.62	129.95	125.89
B:TYR257:HN - : Glycyrrhizin:O	Conventional HB	2.45	144.19	141.30
B:MET256:HA - : Glycyrrhizin:O	Carbon HB	2.68	146.02	144.68
B:ARG262:HD1 - : Glycyrrhizin:O	Carbon HB	2.48	134.52	109.82
B:GLU244:OE1 - : Glycyrrhizin:O	Unfavorable Negative-Negative	5.01		
B:GLU240:OE2 - : Glycyrrhizin:O	Unfavorable Negative-Negative	5.06		
Glycyrrhizin:H - B:GLU255:OE1	Conventional HB	2.50	127.13	118.00
B:LYS274:HE2 - : Glycyrrhizin:O	Carbon HB	2.60	116.61	122.01
B:LYS174:NZ - : Glycyrrhizin:O	Attractive Charge	5.22		
B:LYS274:NZ - : Glycyrrhizin:O	Attractive Charge	4.88		

Comment: HB –hydrogen bond, in the D-H-A/H-A-Y angles: D is the donor atom covalently bound to the hydrogen; H is a hydrogen atom; A is an acceptor atom

The interaction dynamics of glycyrrhizin with the B chain of receptor 1XCE are characterized by a network of directional hydrogen bonds reinforced by weaker carbon–hydrogen contacts and long range electrostatic

interactions. Conventional hydrogen bonds are formed with Gln253 and Tyr257 as well as with Glu255, producing short donor–acceptor distances and near linear D–H A angles that indicate pronounced directionality and a significant contribution of these contacts to binding energy. Carbon–hydrogen interactions with Met256, Arg262 and Lys274 provide additional stabilization through van der Waals and subdued electrostatic effects, although they are generally weaker than classical hydrogen bonds. Two glutamate residues at positions 240 and 244 display unfavorable negative–negative contacts with the ligand, which may reflect electrostatic repulsion or desolvation penalties; however, their relatively large interatomic separations reduce the likelihood of strong destabilizing influence. Finally, long range attractive charge interactions from lysine side chains at positions 174 and 274 can partially offset unfavorable contacts and overall help retain the ligand within the binding pocket. Together, this interaction pattern suggests a preferred binding pose of glycyrrhizin in the 1XCE binding site in which directional hydrogen bonds play the primary role while C–H···O contacts and electrostatic attractions provide secondary support.

A comprehensive analysis of the internal environment of the 1XCE receptor reveals that its binding pocket architecture is governed by a dense network of intramolecular forces (table 3). These interactions are critical for maintaining the specific tertiary conformation required for effective ligand recognition and complex stabilization.

TABLE V. THE PARAMETERS OF THE INTRAMOLECULAR INTERACTIONS FOR THE 1XCE ACTIVE SITE RESIDUES

Contacts	**Types interactions**	**Distances (Å)**	**∠DHA (degree)**	**∠HAY (degree)**
A:ARG273:HE - B:LYS174:O	Conventional HB	2.99	120.89	145.15
B:LYS174:HN - B:VAL171:O	Conventional HB	1.93	154.13	117.99
B:LYS174 - B:ILE214	Alkyl	4.53		
B:TYR257:HH - B:LEU268:O	Conventional HB	2.83	140.35	98.39
B:LYS274:HN - B:ASN270:O	Conventional HB	2.42	166.14	143.89
B:PHE278:HN - B:LYS274:O	Conventional HB	2.07	150.75	138.78
B:LEU243:HN - B:GLU240:O	Conventional HB	2.47	109.91	94.30
B:GLU244:HN - B:GLU240:O	Conventional HB	1.89	162.57	160.54
B:GLU244:HN - B:CYS241:O	Conventional HB	2.62	109.16	96.28
B:ILE214:HN - B:MET256:O	Conventional HB	1.81	163.60	160.24
B:CYS213:HA - B:MET256:O	Carbon Hydrogen Bond	2.43	142.89	133.76
B:TYR257:HA - B:ILE214:O	Carbon Hydrogen Bond	2.55	143.03	127.58
B:LYS274:NZ - B:ASP254:OD2	Attractive Charge	4.93		
B:TYR257 - B:PRO265	Pi-Alkyl	5.37		

Comment: Amino acid residues that interact with glycyrrhizin are highlighted in bold; HB –Hydrogen Bond, D-Donor, A-Acceptor, Y-atom connected with Acceptor

The primary structural framework of the B-chain is underpinned by several high-occupancy conventional hydrogen bonds. A particularly robust interaction was observed between IleB:214 and MetB:256, exhibiting a short bond distance of 1.81 Å and a highly linear D-H-A angle (163.60°), suggesting a high degree of directional stability. Similarly, the GluB:244–GluB:240 contact (1.89 Å) provides significant local stabilization. The residue LysB:174 appears to play a versatile role in the structural assembly, acting as a bridge through a conventional hydrogen bond with ValB:171 (1.93 Å) and participating in inter-chain coordination with ArgA:273 (2.99Å). Beyond classical hydrogen bonding, the receptor utilizes a variety of non-covalent forces to refine its spatial arrangement. Carbon-hydrogen bonds, such as those involving CysB:213 and TyrB:257, provide auxiliary stabilization that fine-tunes the positioning of the peptide backbone. The hydrophobic core of the binding site is further reinforced by alkyl and Pi-alkyl interactions. Specifically, the contact between TyrB:257 and ProB:265 (5.37 Å) contributes to the aromatic stacking environment, while the LysB:174–IleB:214 alkyl interaction (4.53 Å) ensures the proper orientation of the hydrophobic side chains.

The electrostatic surface of the pocket is further modulated by an attractive charge interaction between LysB:274 and AspB:254 (4.93 Å). This salt bridge likely contributes to the conformational rigidity of the loop regions surrounding the active site. Furthermore, the participation of PheB:278 and AsnB:270 in the hydrogen-bonding network (interacting with LysB:274) suggests a highly cooperative mechanism of stabilization.

In summary, the interplay of these intramolecular contacts (Table 3) creates a rigid yet chemically diverse environment. The residues involved in these interactions—particularly those that also engage with glycyrrhizin—form a stable scaffold that facilitates the energetic favorability of the docking complex.

Docking protocol validation

To validate the reliability of the molecular docking protocol, a redocking procedure was performed using the co-crystallized ligand from the crystal structure of 11β-HSD1 enzyme (PDB ID: 1XCE). The native ligand was extracted from the protein structure, and subsequently re-docked into the active site using the same docking parameters as applied for glycyrrhizin.The accuracy of the docking protocol was evaluated by calculating the root-mean-square deviation (RMSD) between the experimentally determined ligand conformation and the best predicted docking pose. The obtained RMSD value was found to be less than 2.0 Å, indicating a high degree of agreement between the predicted and experimental binding modes.This result confirms that the employed docking methodology is capable of reliably reproducing the native binding orientation of ligands within the active site of 11β-HSD1. Therefore, the docking protocol used in this study is considered valid and suitable for predicting the binding interactions and affinity of glycyrrhizin with the target enzyme.

Conclusion

In summary, this molecular docking study of Glycyrrhizin as a potential inhibitor of 11β-HSD1 demonstrates that the ligand forms a highly stable complex within the 1XCE active site. The binding is primarily driven by a robust network of conventional hydrogen bonds with key residues GlnB:253, TyrB:257, and GluB:255, providing significant directional stability. Although localized unfavorable contacts occur with GluB:240 and GluB:244, the overall affinity is reinforced by carbon–hydrogen bonds (MetB:256, ArgB:262, LysB:274) and attractive charge interactions (LysB:174 and LysB:274). These insights into therapeutic applications for metabolic disorders suggest that Glycyrrhizin is a promising scaffold for developing potent 11β-HSD1 inhibitors, offering a thermodynamically favorable profile for further drug design.

References

1. Seckl, J. R., and Walker, B. R., "11β-Hydroxysteroid dehydrogenase type 1- a tissue-specific regulator of glucocorticoid hormone action," Endocrine Reviews, 2001, Vol. 22 No. 4, pp. 437–483.
2. Masuzaki, H., Paterson, J., Shinyama, H., Morton, N. M., Mullins, J. J., Seckl, J. R., and Flier, J. S., "A Transgenic Model of Visceral Obesity and the Metabolic Syndrome," Science, 2001, Vol. 294 No. 5549, pp. 2166–2170.
3. Chapman, K., Holmes, M., and Seckl, J., "11β-hydroxysteroid dehydrogenases: intracellular gate-keepers of glucocorticoid action," Physiological Reviews, 2013, Vol. 93 No. 3, pp. 1139–1206.
4. Stimson, R. H., and Walker, B. R., "11β-Adipose tissue 11β-hydroxysteroid dehydrogenase type 1: a therapeutic target in metabolic disease?" Therapeutic Advances in Endocrinology and Metabolism, 2013, Vol. 4 No. 4, pp. 101–113.
5. Anagnostis, P., Katsiki, N., Adamidou, F., Athyros, V. G., Karagiannis, A., Kita, M., and Mikhailidis, D. P., "11β-Hydroxysteroid dehydrogenase type 1 inhibitors: novel agents for the treatment of metabolic syndrome and obesity-related diseases," Metabolism, 2013, Vol. 62 No. 1, pp. 21–33.
6. Valenti, L., et al., "11β-Hydroxysteroid dehydrogenase type 1 expression in liver and adipose tissue and the relation to non-alcoholic fatty liver disease," Journal of Hepatology, 2012, Vol. 56 No. 6, pp. 1366–1372.
7. Anderson, A., et al., "11β-Hydroxysteroid dehydrogenase type 1 inhibition: a novel treatment strategy for metabolic syndrome," Current Pharmaceutical Design, 2014, Vol. 20 No. 31, pp. 4967–4977.
8. Asl, M. N., and Hosseinzadeh, H., "Review of pharmacological effects of Glycyrrhiza sp. and its bioactive compounds," Phytotherapy Research, 2008, Vol. 22 No. 6, pp. 709–724.
9. Kao, T. C., Wu, C. H., and Yen, G. C., "Bioactivity and potential health benefits of licorice," Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, Vol. 62 No. 3, pp. 542–553.

10. Cinatl, J., et al., “Glycyrrhizin, an active component of liquorice roots, and replication of SARS-associated coronavirus,” The Lancet, 2003, Vol. 361 No. 9374, pp. 2045–2046.
11. Guan, M. C., et al., “Interaction of glycyrrhizin with proteins: binding site and conformational change,” Journal of Molecular Structure, 2012, Vol. 1024, pp. 118–124.
12. Sun, Z. G., et al., “Glycyrrhizin and its derivatives: a comprehensive review of their biological activities and molecular mechanisms,” Journal of Ethnopharmacology, 2019, Vol. 230, pp. 203–221.
13. Wang, L., et al., “Inhibition of steroid-metabolizing enzymes by glycyrrhetinic acid and its derivatives,” The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology, 2015, Vol. 145, pp. 122–130.
14. Richard, S. A., “The role of glycyrrhizin in inflammatory mediators and its mechanisms of action,” Frontiers in Pharmacology, 2021, Vol. 12, p. 624968.
15. Kitchen, D. B., et al., “Docking and scoring in drug discovery: principles and applications,” Nature Reviews Drug Discovery, 2004, Vol. 3 No. 11, pp. 935–949.
16. Forli, S., et al., “Computational protein–ligand docking and virtual screening with the AutoDock suite,” Nature Protocols, 2016, Vol. 11 No. 5, pp. 905–919.
17. Staker, B. L., et al., “The structures of human 11β-hydroxysteroid dehydrogenase type 1 and its complexes,” Journal of Biological Chemistry, 2005, Vol. 280 No. 44, pp. 36986–36991.
18. Galandarli, L., Akverdieva, G., Amrahov, N., Khalilov, R., and Sujayev, A., “Pharmacophore modeling and molecular docking analysis of glycyrrhizin as a potential anti-COVID-19 agent,” Biomaterials Translational, 2025, p. 117, https://doi.org/10.12336/bmt.25.00117.
19. Murata, M., et al., “In silico analysis of glycyrrhizin as a potential inhibitor of SARS-CoV-2 main protease,” Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2020, Vol. 30 No. 24, p. 127653.
20. Sinha, S. K., et al., “In silico investigation of glycyrrhizin as a potential inhibitor of ACE2 receptor,” Journal of Biomolecular Structure and Dynamics, 2020, Vol. 38 No. 15, pp. 4500–4512.
21. Staker, B. L., et al., “Structures of human 11β-hydroxysteroid dehydrogenase type 1 and its complexes,” Journal of Biological Chemistry, 2005, Vol. 280 No. 44, pp. 36986–36991.
22. Mayer, S., et al., “Molecular mechanisms of 11β-hydroxysteroid dehydrogenase type 1 inhibition,” Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2012, Vol. 20 No. 11, pp. 3587–3601.
23. Meng, X. Y., et al., “Molecular docking: a powerful approach for structure-based drug discovery,” Current Computer-Aided Drug Design, 2011, Vol. 7 No. 2, pp. 146–157.
24. Morris, G. M., and Lim-Wilby, M., “Molecular docking,” Methods in Molecular Biology, 2008, Vol. 443, pp. 365–382.
25. Pagadala, N. S., et al., “Software for molecular docking: a review,” Biophysical Reviews, 2017, Vol. 9 No. 2, pp. 91–102.
26. Kitchen, D. B., et al., “Docking and scoring in drug discovery: principles and applications,” Nature Reviews Drug Discovery, 2004, Vol. 3 No. 11, pp. 935–949.
27. Morris, G. M., et al., “AutoDock4 and AutoDockTools4: automated docking with selective receptor flexibility,” Journal of Computational Chemistry, 2009, Vol. 30 No. 16, pp. 2785–2791.
28. Berman, H. M., et al., “The Protein Data Bank,” Nucleic Acids Research, 2000, Vol. 28 No. 1, pp. 235–242.
29. Keiko, Y. S., and Kazuki, S., “Functional genomics for plant natural product biosynthesis,” Natural Product Reports, 2009, Vol. 26, p. 1466, https://doi.org/10.1039/B817077K; Available at: https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.14263.html
30. Pence, H. E., and Williams, A., “ChemSpider: an online chemical structure resource,” Journal of Chemical Education, 2010, Vol. 87 No. 11, pp. 1123–1124.
31. Trott, O., and Olson, A. J., “AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading,” Journal of Computational Chemistry, 2010, Vol. 31 No. 2, pp. 455–461.
32. De Lano, W. L., “The PyMOL molecular graphics system,” 2010, Available at: https://www.ccp4.ac.uk/newsletters/newsletter40/11_pymol.pdf
33. Discovery Studio 3.1, “Discovery Studio Visualization,” [Internet], cited 2 Dec 2016, Available at: http://accelrys.com/products/collaborative-science/biovia-discovery-studio/visualization-download.php;
Hamad, K. A., and Kaya, M., “A detailed analysis of optical character recognition technology,” International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, 2016, Vol. 4 (Special Issue), pp. 244–249.

FARMASEVTİK VƏ TERAPEVTİK FERMENTLƏR

Quluzadə Alidə
Bakı Dövlət Universiteti
SABAH qrupları
Bakı, Azərbaycan
alidaquluzade39@gmail.com

Ulduzə Qurbanova
Molekulyar Biologiya İnstitutu,
Enzimologiya laboratoriyası
Bakı, Azərbaycan
ulduzagurbanova@gmail.com

Quliyeva Fatiməxanım
Bakı Dövlət Universiteti
SABAH qrupları
Bakı, Azərbaycan
Fatimaxanim161@gmail.com

Abstract: Fermentlər funksional zülallar və ya nuklein turşuları (ribozimlər) olub, həmçinin biokatalizatorlar kimi tanınırlar və birhüceyrəli və ya çoxhüceyrəli bitkilər və heyvanlar daxil olmaqla hər hansı canlı sistemin normal fəaliyyəti, böyüməsi və çoxalması üçün uyğun sürətlərdə biokimyəvi reaksiyaların həyata keçirilməsini təmin edirlər. Fermentlərin öz mənbə orqanizmlərindən kənarda da, yəni in situ şəraitdə aktiv qalmaq və katalitik fəaliyyət göstərmək qabiliyyəti onların substratların uyğun məhsullara kimyəvi çevrilməsinə əsaslanan bir çox sənaye proseslərində istifadə olunmasına imkan verir.
Keywords*: ferment, katali, biotexnologiya, dərman sənayesi*

Giriş

Fermentlər funksional zülallar və ya nuklein turşuları (ribozimlər) olub, həmçinin biokatalizatorlar kimi tanınırlar və birhüceyrəli və ya çoxhüceyrəli bitkilər və heyvanlar daxil olmaqla hər hansı canlı sistemin normal fəaliyyəti, böyüməsi və çoxalması üçün uyğun sürətlərdə biokimyəvi reaksiyaların həyata keçirilməsini təmin edirlər [1-3]. Fermentlərin öz mənbə orqanizmlərindən kənarda da, yəni in situ şəraitdə aktiv qalmaq və katalitik fəaliyyət göstərmək qabiliyyəti onların substratların uyğun məhsullara kimyəvi çevrilməsinə əsaslanan bir çox sənaye proseslərində istifadə olunmasına imkan verir [4-5].

Fermentlərin kataliz etdiyi reaksiyalar yüksək dərəcədə effektivdir, yəni onlar ətraf mühit şəraitində – temperatur, pH və təzyiqdə (bu şərtlər mənbə orqanizmin fizioloji xüsusiyyətlərindən və onun yaşadığı mühitdən asılıdır) baş verir. Məsələn, mezofil orqanizmdən əldə olunan ferment (optimal böyümə temperaturu 37°C, böyümə intervalı 20–40°C), neytral mühitdə yaşayan orqanizmdən götürüldüyü üçün, mülayim temperaturda, neytral pH-da və atmosfer təzyiqində effektiv fəaliyyət göstərəcəkdir[5-7].

Fermentlər sərbəst (izolyasiya olunmuş) formada və ya immobilizə olunmuş formada (tam hüceyrə şəklində və ya uyğun dayaq üzərində immobilizə olunmuş ferment kimi) istifadə oluna bilər . Fermentlər hüceyrədən (və ya orqanizmdən) kənarda da funksional olduqları üçün, dərman preparatlarının sintezi, taxıl şirələrinin pivə və şəraba çevrilməsi, çörək istehsalında xəmirin qıcqırdılması, aqrokimyəvi maddələrin, süni aromaların, biopolimerlərin istehsalı, tullantıların təmizlənməsi və bir çox digər sahələrdə geniş tətbiq olunurlar.

Sənaye fermentlərinin əksəriyyəti mikroorqanizmlərdən əldə olunur, çünki onlar ən əlverişli mənbə sayılır: daha sürətli istehsal, asan miqyaslandırma, bərpa və təmizləmə, ştamların dəyişdirilməsi ilə fermentin ifadəsinin müxtəlifliyi, aktivliyin və spesifikliyin modulyasiyası kimi üstünlüklər verir. Hal-hazırda, məlum olan 4000 fermentdən təxminən 200 növ mikroorqanizm mənşəli ferment kommersiya məqsədilə istifadə olunur. Ümumi ferment istehsalının təxminən 75%-i üç əsas şirkət tərəfindən həyata keçirilir: Danimarka mənşəli Novozymes, ABŞ mənşəli DuPont və İsveçrə mənşəli Roche[8-10].

Mordor Intelligence tərəfindən təqdim edilən "Industrial Enzymes Market: Growth, Trends and Forecast (2019–2024)" hesabatına əsasən, qlobal sənaye fermentləri bazarının 2019–2024-cü illər ərzində illik orta artım tempi 6.8% olacaqdır. Sənaye fermentləri bazarında aparıcı beynəlxalq şirkətlərə El du Pont de Nemours and Company, Novus International Inc., Associated British Foods (ABF), Koninklijke DSM NV və AB Enzymes GmbH daxildir [11-12].

Proteazalar, karbohidrazalar və lipazalar kimi ən geniş istifadə olunan fermentlərin və onların farmasevtika və səhiyyə sektorundakı bazar proqnozları oxucular üçün təqdim olunur. Global Market Insights hesabatına görə, 2024-cü ilə qədər proteazaların qlobal bazarı təxminən 2 milyard ABŞ dollarına çatacaqdır. Proteazaların bazar artımının əsas hissəsi səhiyyə sektorunda olacaqdır, çünki onlar immun sistemini gücləndirmə, iltihabi bağırsaq xəstəliklərinin qarşısını alma və dəri yanıqları və mədə xoralarının müalicəsində istifadə kimi bir çox üstünlüklərə malikdirlər.

Bununla yanaşı, heyvan yemi sektorunda da proteazalar geniş istifadə olunur: yemlərin qida və həzm xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılması və heyvanların bağırsaq sağlamlığının qorunması məqsədilə bu sahə də proteaza bazarında böyük paya sahib olacaqdır.

Karbohidrazalar 2016-cı ildə 2.5 milyard ABŞ dollarını keçmiş və 2024-cü ilə qədər bu göstəricidən 1/3-dən çox artım gözlənilir. Onların əsas tətbiq sahələri qida, içki və farmasevtika sənayesi olacaqdır.
Lipazaların satışlarının 2024-cü ilə qədər təxminən 6.8% artacağı gözlənilir. Lipaza bazarının əsas sahəsi səhiyyə olacaqdır, xüsusilə də inkişaf etmiş ölkələrdə artan problem olan piylənmənin müalicəsi istiqamətində istifadə olunacaqdır. Lipazalar təbii şəraitdə yağları qliserol və yağ turşularına parçalayır, buna görə də onların piylənmənin idarə olunmasında köməkçi vasitə kimi istifadəsinə tələbatın artacağı gözlənilir.
Bir çox dərman və farmasevtik formulasiya aktiv farmasevtik maddələrdən (API) ibarətdir və bu maddələr istehsal prosesində mühüm komponent kimi fermentlərdən istifadə olunmaqla sintez edilir.
Biokatalizatorların farmasevtik istehsalda istifadəsi, həmçinin xiral aralıq maddələrin və "yaşıl" sintez proseslərinin istehsalına artan maraq bu sahədə fermentlərin tətbiqinə olan marağı daha da gücləndirmişdir. Bu nailiyyətlər biokatalizatorların seçilməsi, skrininqi, təkmilləşdirilməsi, istehsalı və təchizatı sahəsində texnologiyaların inkişafı sayəsində mümkün olmuşdur.
Fermentlərin farmasevtik sahədə tətbiqləri çox geniş olsa da, bu icmalın məqsədi biokatalizatorların aktiv farmasevtik maddələrin istehsalında perspektivlərinə, sağlamlıq əlavələrinin hazırlanmasında köməkçi vasitə kimi istifadəsinə və bir sıra xəstəliklərin müalicəsində ferment terapiyası kimi tətbiqinə fokuslanmaqdır.

Farmaseptik fermentlərin istehsalı

Farmasevtika sənayesində istifadə olunanlar da daxil olmaqla sənaye fermentlərinin əksəriyyəti bakteriya və göbələklərə aid uyğun mikroorqanizm ştamlarının fermentasiyası yolu ilə istehsal olunur. Bunun səbəbi onların asan idarə olunması, sürətli böyümə sürəti və iri həcmli qablarda (fermenterlərdə) rahat miqyaslandırılmasıdır.
Escherichia coli, Bacillus subtilis, süd turşusu bakteriyaları kimi bakteriyalar və Aspergillus oryzae, Aspergillus niger, Trichoderma atroviride kimi sapvari göbələklər, eləcə də Saccharomyces cerevisiae, Pichia pastoris kimi maya göbələkləri dünya üzrə biotexnologiya sənayesində ferment istehsalı üçün ən çox istifadə olunan mikroorqanizmlərdir.
Ştamlar gen mühəndisliyi vasitəsilə təkmilləşdirildiyi üçün onlar fermentləri çox yüksək məhsuldarlıqla istehsal edirlər. Müxtəlif sənaye fermentlərinin istehsalı üçün uyğun mikroorqanizm ştamlarının seçilməsi onların uğurlu sənaye tətbiqi baxımından çox mühüm amildir.
İdeal halda, istehsal olunan fermentlər istehsalçı mikroorqanizm tərəfindən fermentasiya mühitinə ifraz olunmalıdır, çünki bu, sonrakı emal mərhələlərini (downstream processing) daha rahat və iqtisadi cəhətdən sərfəli edir; lakin bu, əksər sənaye ştamları üçün həmişə mümkün olmur.
Farmasevtik fermentlər əsasən fermentasiya texnologiyasından istifadə olunmaqla, "Ümumiyyətlə Təhlükəsiz hesab olunan" (Generally Recognized as Safe – GRAS) kateqoriyasına daxil olan mikroorqanizmlər (bakteriyalar və göbələklər) vasitəsilə istehsal olunur.
Bu istehsal əsasən iki prosesdən istifadə etməklə həyata keçirilir: yəni, maye fazalı fermentasiya (submerged fermentation, SmF) və bərk fazalı fermentasiya (solid-state fermentation, SSF).
Hər iki prosesin öz üstünlükləri və məhdudiyyətləri vardır. Əksər sənayelər ferment istehsalı üçün SmF prosesini tətbiq etmişdir; lakin müəyyən spesifik sənaye sahələri üçün SSF prosesinə yenidən maraq artmışdır.

SmF vasitəsilə ferment istehsalı

Adından da göründüyü kimi, maye fazalı fermentasiya (submerged fermentation, SmF) maye mühitdə həyata keçirilir; burada qida maddələri və digər mühit komponentləri ya həll olmuş, ya da sulu mühitdə asılı vəziyyətdə olur. Mikroorqanizmlər də bu maye fermentasiya mühitində asılı vəziyyətdə böyüyür və çoxalırlar.
Adətən aerob mikroorqanizmlər sənaye miqyaslı istehsal proseslərində qarışdırılan tank reaktorlarında (stirred-tank reactor) maye mühitdə yetişdirilir və bu üsul həm hüceyrədənkənar fermentlərin istehsalı, həm də rekombinant *E. coli* və digər bakteriya və maya ştamlarında olduğu kimi hüceyrədaxili yüksək ifadə olunan fermentlərin istehsalı üçün istifadə olunur.
SmF tətbiqləri üçün fermenterlər uğurla hazırlanmış və fermentlərin, eləcə də digər biotexnoloji məhsulların istehsalı üçün istifadə olunmaqdadır. SmF-in uğurunun əsas səbəbi prosesin pilot miqyaslı fermenterlərdən (~100 L) milyonlarla litr həcmə malik istehsal miqyaslı fermenterlərə qədər miqyaslandırılmasının mümkün olmasıdır. Bu proses zamanı temperatur, həll olunmuş oksigen, pH və köpük əmələgəlməsi kimi bir çox parametrlərə oflayn və/və ya onlayn nəzarət yaxşı şəkildə təmin

olunur.Bundan əlavə, kütlə ötürülməsi və istilik yayılması ilə bağlı problem olmur; lakin bu, adətən daha yüksək enerji sərfi hesabına əldə edilir.

Bərk fazalı fermentasiya (SSF) vasitəsilə ferment istehsalı

Bərk fazalı fermentasiya ferment istehsalı üçün böyük potensiala malikdir. Bu proses SmF prosesi ilə müqayisədə bir sıra üstünlüklər təqdim edir, məsələn, yüksək məhsul titri, daha az tullantı (effluent) əmələ gəlməsi, sadə fermentasiya avadanlıqlarından istifadə, daha az ixtisaslı əmək qüvvəsinə ehtiyac və s.

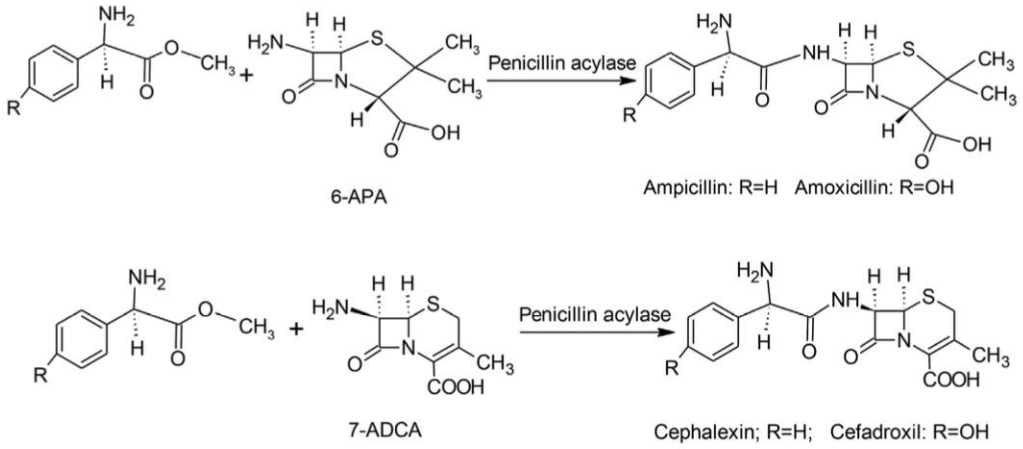
Lakin SSF ümumilikdə daha çox o proseslər üçün uyğundur ki, burada xam fermentasiya məhsulları birbaşa son məhsul kimi istifadə olunur, yəni fermentlərin ayrıca izolyasiya olunmasına ehtiyac olmur.

SSF proseslərində, o cümlədən ferment istehsalı üçün, aqro-sənaye tullantıları geniş şəkildə substrat kimi istifadə olunur. Ferment istehsal edən mikroorqanizmlərin yetişdirilməsi üçün müxtəlif substratlardan istifadə edilmişdir. Bu substratlara misal olaraq buğda kəpəyi, düyü kəpəyi, şəkər qamışı baqası (bagasse), buğda samanı, düyü samanı, yonqar (talaş), qarğıdalı koçanları, banan tullantıları, kassava tullantıları, palma yağı zavod tullantıları, yağlı toxum qalıqları (oil cakes) və s. göstərilə bilər.

Antimikrob maddələrin sintezi üçün fermentlər

Penisillin asilazaları penisillinlərin asil zəncirini parçalayaraq 6-amino penisillanik turşu (6-APA) və uyğun üzvi turşunu əmələ gətirən fermentlər qrupudur. Penisillin asilaza istehsal edən mikroorqanizmlərin skrininqi göstərmişdir ki, bu fermentlər bakteriyalar, aktinomisetlər, mayalar və göbələklər tərəfindən istehsal olunur.

Substrat spesifikliyinə əsasən, penisillin asilazaları üç qrupa bölünür: penisillin G asilazaları, penisillin V asilazaları və ampisillin asilazaları. Penisillin asilaza ilə kataliz olunan 6-APA sintezi onun istehsalında istifadə olunan ənənəvi kimyəvi üsulları əvəz etmişdir.



SXEM 1 - Penisillin asilaza tərəfindən kataliz olunan bəzi mühüm yarımsintetik β-laktam antibiotiklərin sintezi

6-APA-nın ənənəvi kimyəvi sintez üsulu 1970-ci illərdə tətbiq olunmağa başlamış və fermentasiya yolu ilə alınan penisillin G-nin təhlükəli reagentlər və həlledicilərdən istifadə edilərək bir mərhələli diasilləşmə reaksiyasına əsaslanmışdır. Bu istehsal prosesi növbəti 15–20 il davam etmiş, daha sonra isə əsasən penisillin G asilazaya əsaslanan üsulla əvəz olunmuşdur, çünki fermentativ üsul 6-APA-nın yüksək çıxımla alınmasına imkan verirdi.

Bəzi tədqiqatçılar 6-APA sintezi üçün penisillin V asilaza və penisillin V-yə əsaslanan alternativ proses də təklif etmişlər. Bu prosesin üstünlüyü ondan ibarət idi ki, penisillin V fermentasiya mühitindən çıxarılma zamanı aşağı pH-da daha yüksək stabillik göstərir və bu da 6-APA-nın daha yüksək çıxımına səbəb olurdu.

Bundan əlavə, penisillin V asilazaya əsaslanan proseslər penisillin G asilazaya nisbətən daha yüksək substrat konsentrasiyalarında da 6-APA istehsalını təmin edirdi. Həmçinin onların daha geniş optimal pH diapazonu hidroliz zamanı pH tənzimlənməsi ehtiyacını azaldırdı.

Ferment əsaslı 6-APA istehsalı fermentlərin immobilizə olunmuş formaları ilə iqtisadi cəhətdən daha əlverişlidir. Bu, fermentin məhsuldan asan ayrılması, təkrar istifadəsi və stabilliyin artması hesabına xərclərin əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına gətirib çıxarır. Bacillus megaterium, *E. coli* və Alcaligenes faecalis mənşəli penisillin asilazaları effektiv tətbiq üçün immobilizə olunmuşdur.

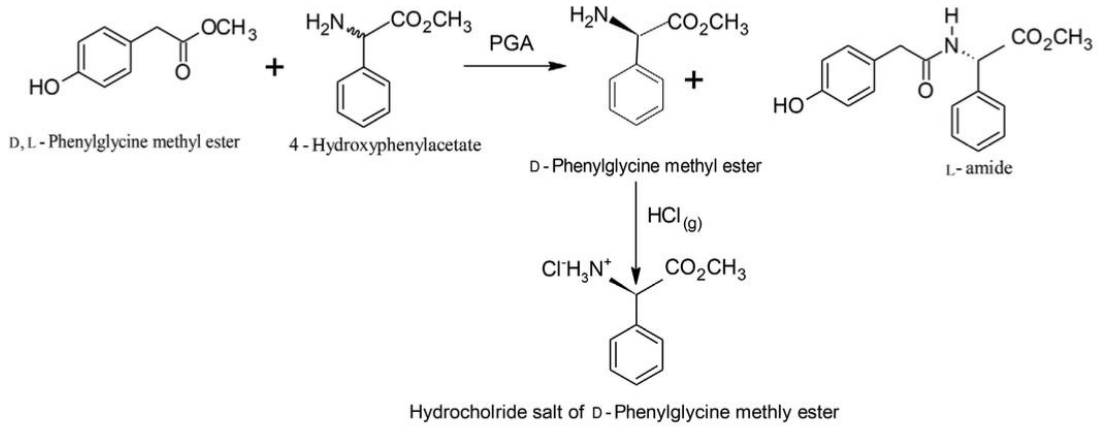
Penisillin asilazalar vasitəsilə yarımsintetik penisillinlərin sintezi

Yarımsintetik penisillinlər penisillin G və V ilə müqayisədə daha yaxşı xüsusiyyətlərə malikdir, məsələn, daha yüksək stabillik, daha asan sorulma və daha az yan təsirlər. Həmçinin onlar mikroorqanizmlərin antibiotiklərə adaptiv müqavimətinə qarşı daha effektivdir.

Penisillindən törəyən yarımsintetik antibiotiklərin iri miqyaslı istehsalı β-laktam nüvəsinin uyğun D-amin turşusu ilə kondensasiyasına əsaslanır və bu reaksiya penisillin asilazalar tərəfindən kataliz olunur (Sxem 1).

Penisillin G asilazanın digər tətbiqi racemik azetidinon aralıq məhsulunun kinetik enantioseçici asiləşməsi yolu ilə karbasefalosporin antibiotiki Lorakarbefin sintezidir. Bu maddə Cefaclorun analoqu və antitrombosit agenti Xemilofibandır.

Penisillin G asilaza həmçinin fenilqlisin və 4-hidroksifenilqlisinin metil efirlərinin L-enantiomerlərinin üzvi həlledicilərdə enantioseçici asiləşməsi üçün istifadə olunur (Sxem 2). Bu proses nəticəsində enantiomerik cəhətdən təmiz d-enantiomer asanlıqla ayrılır və bu β-laktam antibiotiklərin hazırlanmasında praktik əhəmiyyətə malikdir.



SXEM 2

β-laktam antibiotiklərin əsas aralıq maddəsi – 7-ACA-nın sintezi

Sefalosporin mənşəli antibiotiklər bakterial infeksiyaların müalicəsində ən effektiv dərmanlardan hesab olunur və bu birləşmələrin heterosiklik əsas quruluşundan çoxlu sayda dərman əldə edilmişdir.

Sefotaksim, seftriakson, sefuroksim və sefdinir kimi bir çox yarımsintetik β-laktam antibiotiklər kommersiyalaşdırılmışdır. Yeni hazırlanmış seftobiprol və seftarolin fosamil MRSA (metisillinə davamlı *Staphylococcus aureus*) tərəfindən törədilən ağır infeksiyaların müalicəsində istifadə olunur.Sefalosporin C 7-aminocefalosporanik turşunun (7-ACA) sintezi üçün ən uyğun başlanğıc maddədir, çünki o, mikroorqanizm fermentasiyası ilə kifayət qədər miqdarda və münasib qiymətə əldə edilir. Bundan əlavə, o, amid rabitəsinin parçalanması ilə birbaşa 7-ACA-nın prekursorudur.

7-ACA-nın fermentativ sintezi birləşmiş fermentativ və spontan reaksiyalar kaskadından ibarətdir. Bu proses d-amin turşusu oksidaza tərəfindən amin turşusu yan zəncirinin α-keto turşuya oksidləşməsi ilə başlayır. Daha sonra α-keto turşu spontan dekarboksilləşməyə uğrayır. Nəhayət, aralıq məhsul glutaryl-7-ACA hidrolaza tərəfindən hidroliz olunaraq 7-ACA əmələ gətirir (Sxem 3). DKR üçün fermentlər (dərmanlar)ermentlər yüksək kemoseçiciliklərinə görə enantioseçici reaksiyaların həyata keçirilməsində olduqca effektivdirlər. Enantioseçici fermentlər çox vaxt substratın bir enantiomeri ilə reaksiyaya girir, digər enantiomer isə dəyişməz qalır. Bu nöqtədə məhsul substratın digər enantiomerindən asanlıqla ayrılır.

Nəticələr

Fermentativ proseslər bir çox aktiv farmasevtik maddələrin (API) sintezində ənənəvi kimyəvi üsulları əvəz etmişdir. Buna yarımsintetik antibiotiklərin istehsalı, dərmanların aktiv enantiomerlərinin kinetik rezolyusiya yolu ilə əldə olunması, amin turşularının (D- və L-amin turşuları) enantiomerik cəhətdən təmiz formalarının sintezi və digər proseslər daxildir. Fermentlər terapevtik məqsədlərlə də istifadə olunur,

məsələn, müxtəlif metabolik pozğunluqların və genetik xəstəliklərin, o cümlədən SCID, Qauçer xəstəliyi, Parkinson xəstəliyi, PKU və s. müalicəsində ferment terapiyası kimi tətbiq olunur. Fermentlərin daha yeni tətbiqləri xərçəngin və infeksion xəstəliklərin müalicəsindədir, xüsusilə də antibiotiklərin artıq effektiv olmadığı hallarda (bakteriyalarda antibiotiklərə qarşı rezistentliyin yaranması səbəbindən). Onlar həmçinin həzmə köməkçi vasitələr kimi istifadə olunur, məsələn proteazalar, lipazalar və amilazalar və bu fermentlər ayrı-ayrılıqda və ya qarışıq (kokteyl) şəklində həzm problemlərinin müalicəsində tətbiq edilmişdir. Lakin mövcud inkişaflara baxmayaraq, farmasevtik sahədə fermentlərin tətbiqi üçün hələ də geniş imkanlar mövcuddur. Gələcəkdə mövcud fermentlər yeni tətbiqlər üçün sınaqdan keçiriləcək və təbii mənbələrdən əldə olunan və ya ferment mühəndisliyi və yönəldilmiş təkamül vasitəsilə yaradılan yeni fermentlər hələ istifadə olunmamış reaksiyaların katalizində tətbiq olunacaqdır.

References

[1] Nelson, D. L., Lehninger, A. L., and Cox, M. M. Lehninger Principles of Biochemistry. (2008) 5th ed., W.H. Freeman, New York.
[2] Mitchell, J. B. (2017) *Curr. Opin. Struct. Biol.* **47**, 151.
[3] Brasil, B. F., Siqueira, F. G., Salum, T. F. C., Zanette, C. M, and Spier, M. R. (2017) *Algal Res.* **25**, 76.
[4] Copley, S. D. (2017) *Curr. Opin. Struct. Biol.* **47**, 167–175
[5] Cao, S., Xu, P., Ma, Y., Yao, X., and Lou, W. (2016) *Chin. J. Catal.* **37**, 1814–1823.
[6] Meller, K., Szumski, M., and Buszewski, B. (2017) *Sens. Actuat. B: Chem.* **244**, 84–106.
[7] Newton, M. S., Arcus, V. L., Gerth, M. L., and Patrick, W. M. (2018) *Curr. Opin. Struct. Biol.* **48**, 110–116.
[8] Yang, H., Li, J., Du, G., and Liu, L., Eds. (2017) *Biotechnology of Microbial Enzymes: Production, Biocatalysis and Industrial Applications*. pp. 151–165, Academic Press Books, Elsevier
[9] Liu, X., and Kokare, C., Eds. (2017) *Biotechnology of Microbial Enzymes: Production, Biocatalysis and Industrial Applications*. pp. 267–298, Academic Press Books, Elsevier.
[10] Li, S., Yang, X., Yang, S., Zhu, M., and Wang, X. (2012) *Comput. Struct. Biotechnol. J.* **2**, e201209017.
[11] Dublin, (2019) Globe Newswire – The "Industrial Enzymes Market - Growth, Trends, and Forecast (2019 - 2024)". **https://www.researchandmarkets.com**
[12] Industrial enzymes market to attain revenue of $12.8 bn by 2025, (2019) News-Transparency Market Research

BİOTEXNOLOJİ ÜSULLARLA FERMENT ƏSASLI BİOSENSORSORLARIN HAZIRLANMASI

Quliyeva Fatiməxanım
Bakı Dövlət Universiteti
SABAH qrupları
Bakı, Azərbaycan
Fatimaxanim161@gmail.com

Ulduzə Qurbanova
Molekulyar Biologiya İnstitutu,
Enzimologiya laboratoriyası
Bakı, Azərbaycan
ulduzagurbanova@gmail.com

Quluzadə Alidə
Bakı Dövlət Universiteti
SABAH qrupları
Bakı, Azərbaycan
alidaquluzade39@gmail.com

Xülasə: Ferment əsaslı biosensorlar, müasir biotexnologiya, tibbi diaqnostika, qida təhlükəsizliyi və ətraf mühitin monitorinqi sahələrində böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bu tip biosensorların aktual olmasının əsas səbəbi onların spesifikliyi, yüksək həssaslığı və sürətli cavab vermə qabiliyyətidir. Fermentlər metabolitləri çox dəqiq şəkildə tanıya bilir və minimal konsentrasiyada belə ölçü aparmağa imkan yaradır ki, bu xüsusiyyət onların tibbi və laboratoriya tətbiqlərində əvəzolunmaz olmasını təmin edir. Xüsusilə tibbi sahədə ferment əsaslı biosensorların rolu olduqca böyükdür. Məsələn, qlükoza oksidaza əsaslı biosensorlar diabet xəstələrinin qan qlükoza səviyyəsini real vaxtda və dəqiq ölçməyə imkan verir. Bu, yalnız xəstələrin sağlamlığının qorunması üçün deyil, həm də hipoglikemiya və hiperglikemiya risklərinin azalması və

insulin dozasının optimallaşdırılması baxımından həyati əhəmiyyət daşıyır. Müasir ferment əsaslı biosensorlar, həmçinin digər metabolitlərin, məsələn, laktat, xolesterol və ureya səviyyələrinin monitorinqi üçün istifadə olunur ki, bu da klinik praktikada diaqnostika və müalicə proseslərini effektivləşdirir.
Ferment əsaslı biosensorlar qida təhlükəsizliyi və ekoloji monitorinq sahələrində də aktualdır. Onlar çirkləndiricilərin, toksinlərin və ağır metalların səviyyəsini sürətli və dəqiq ölçərək həm qida məhsullarının təhlükəsizliyini təmin edir, həm də ətraf mühitdə ekoloji balansın qorunmasına kömək edir. Bu sahədə biosensorların üstünlüyü, ənənəvi analiz metodları ilə müqayisədə onların tez, dəqiq və davamlı ölçmə aparmaq qabiliyyətidir.
Texnologiyanın inkişafı ilə ferment əsaslı biosensorlar nanotexnologiya və mikroelektronika ilə birləşdirilərək daha kiçik, həssas və çoxfunksiyalı cihazlar şəklinə çevrilmişdir. Bu isə onların tibbi diaqnostika, sənaye prosesləri və ekoloji monitorinq sahələrində tətbiq imkanlarını daha da genişləndirir.Elmi tədqiqatlar sahəsində ferment əsaslı biosensorlar enzim kinetikasının öyrənilməsi, metabolik yolların təhlili və patogenlərin aşkarlanması üçün əvəzolunmaz vasitədir. Onların yüksək həssaslıq və spesifikliyi fundamental biokimya və molekulyar biologiya tədqiqatlarında elmi nəticələrin dəqiqliyini artırır.Nəticə olaraq, ferment əsaslı biosensorlar müasir biotexnologiyanın və tibbin strateji əhəmiyyətli sahələrində aktual və perspektivli mövzu olaraq qalır.
Keywords*: ferment, kataliz, biotexnologiya, biosensorlar*

Giriş

Biosensorlar- biotexnologiya sahəsində böyük əhəmiyyətə malikdir. Bioloji və ya kimyəvi reaksiyaların ölçülməsini təmin edən -tibb, ətraf mühitin monitorinqi, ərzaq sənayesi kimi sahələrdə biosensorlardan geniş istifadə olunur. Fermentlər, biosensorların mühüm komponentlərindən biridir, çünki onlar spesifik kimyəvi reaksiyaları kataliz edərək ölçmələr aparır və siqnalların yaranmasını təmin edirlər. Ferment əsaslı biosensorların hazırlanması biotexnologiyanın ən maraqlı və faydalı tətbiq sahələrindən biridir. Fermentlər müxtəlif katalitik funksiyalara malik son dərəcə vacib bioloji makromolekullar qrupudur və canlı orqanizmlərdə hüceyrəvi metabolizmin tənzimlənməsində və homeostazın qorunmasında əsas vasitəçilərdir [1]. İnsanlarda fermentlər enerji metabolizmi, metabolit biosintezi, hüceyrə homeostaz və müxtəlif dərmanların və ətraf mühit toksinlərinin (məsələn, çirkləndiricilər, karsinogenlər və pestisidlər) metabolik təmizlənməsində həlledici rol oynayır [2]. Canlı orqanizmdə ferment vasitəsilə baş verən biokimyəvi kaskad reaksiyalarının son dərəcə mürəkkəbliyini nəzərə alaraq, fermentlərin malign şişlərin inkişafı, neyrodegenerativ xəstəliklər, ürək-damar xəstəlikləri, beyin qan-damar xəstəlikləri və digər orqan zədələnmə formaları daxil olmaqla bir çox patoloji proseslərdə yaxından iştirak etdiyi sübut edilib [3]. Bildirilib ki, bu vəziyyətlərin müalicəsində istifadə olunan dərmanların təxminən 53%-i fermentləri birbaşa hədəf ala bilir (bunların 30%-i kinazlara yönəlib), bu da fermentlərin terapevtik hədəflərin əsas sinfi kimi rolunu təsdiqləyir [4]. Son onilliklərdə struktur biologiyası və həyat elmləri sahələrində səmərəli və yüksək tutumlu texnologiyaların sürətli inkişafı sayəsində alimlər müəyyən məqsədlər üçün innovativ ferment-hədəfli terapiyalar və ya ferment əsaslı diaqnostik yanaşmalar hazırlamaq üçün yarışırlar [5].

Ferment əsaslı biosensorların hazırlanmasında biotexnoloji üsullar

Fermentlər, bioloji katalizatorlar olaraq, çox spesifik reaksiya şərtləri yaradır və bu səbəbdən biosensorlarda yüksək həssaslıq və selektivlik təmin edirlər. Məsələn, qlükozanın miqdarını ölçmək üçün istifadə edilən biosensorlarda qlükozaoksidaza kimi fermentlər istifadə edilir. Bu ferment, glukozanın oksidləşməsini katalizləyərək, nəticədə elektrokimyəvi siqnal yaranır. Bu siqnal, glukozanın konsentrasiyası ilə mütənasibdir və biosensor tərəfindən ölçülür. Fermentlər genetik mühəndislik yolu ilə modifikasiya edilə bilər ki, bu da onların spesifikliyini və fəaliyyətini artırır. Nanomaterial tərkibli biosensorların üzərindəki səthin sahəsini artırır və buna görə də reaksiyaların daha sürətli və effektiv baş verməsini təmin edir. Fermentlər biosensor səthinə müxtəlif üsullarla immobilizə etməklə də artıra bilərik. Məsələn, fermentlər xüsusi polimerlər və ya nanomateriallarla birləşdirilərək uzun müddət fəaliyyət göstərməsi təmin edilə bilər. Fermentlərin ifadə və ya aktivlik səviyyələrindəki qeyri-adi dəyişikliklər yalnız müxtəlif xəstəliklərin (məsələn, xərçəng, hipertoniya və şəkərli diabet) başlanğıcı və gedişi ilə sıx bağlı deyil, həm də canlı orqanizmdə dərmanların/zəhərlərin təsir nəticələrinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir [6,7]. Son bir neçə onillikdə getdikcə daha çox ferment müxtəlif insan xəstəlikləri üçün əsas biomarkerlər və proqnostik göstəricilər kimi müəyyən edilib ki, bu da xəstəliklərin diaqnostikası, müalicə effektivliyinin qiymətləndirilməsi və terapevtik monitorinq üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir [8]. Məsələn, alaniaminotransaminaza (ALT) klinik mühitdə qaraciyər funksiyasının əhəmiyyətli göstəricisi hesab olunur.

Beləliklə, real nümunələrdə hədəf fermenti dəqiq aşkar etmək və ya yerində (in situ) təsvir etmək üçün praktik vasitələrin hazırlanması hüceyrə biologiyası, dərman skrininqi, fərdi/növlərarası metabolik variasiyalar və dərman–dərman qarşılıqlı təsirləri, xəstəlik diaqnostikası və fərdiləşdirilmiş tibb sahələri üçün çox faydalıdır [7]. Təəssüf ki, real nümunələrdə hədəf fermenti dəqiq şəkildə aşkar etmək sadə bir proses deyil. Alimlər hələ də metabolik zəncirlərin mürəkkəbliyi və müxtəlifliyi, ferment-substrat spektrlərinin yüksək üst-üstə düşməsi, ekstremal bioloji matrisalar və hətta analitik qurğuların qeyri-praktikliyi kimi müxtəlif çətinliklərlə üzləşirlər [6,9,10, 11]. Buna görə də, hədəf fermentləri və ya onların əlaqəli analiz obyektlərini təbii fizioloji və patoloji şəraitdə aşkar etmək üçün daha sadə vasitələr işləyib hazırlamaq həyati vacibdir.

Enzim əsaslı biosensorlar yüksək katalitik aktivliyi, substrat spesifikliyi və müxtəlif transduksiya üsulları ilə uyğunluğu səbəbindən spesifik fermentləri biotanınım elementləri kimi istifadə edir. Bu biosensorlar tibbi diaqnostika, ətraf mühitin monitorinqi və qida keyfiyyətinin yoxlanılmasında geniş tətbiq olunub. Aşağıda belə biosensorlarda istifadə olunan altı əsas ferment növünün genişləndirilmiş icmalı təqdim olunur.

Qlükoza oksidaz (GOx): Qlükoza oksidaz biosensor inkişafında ən geniş istifadə olunan fermentlərdən biridir. O, β-D-qlükozanin qlükonik turşuya və hidrogen peroksidə oksidləşməsini katalizləyir; sonuncu isə elektrokimyəvi üsulla aşkarlana bilər. GOx-əsaslı biosensorlar diabet müalicəsində qlükoza monitorinqi üçün mərkəzi rol oynayır, tətbiqləri isə qida sənayesində şəkər tərkibinin təhlilinə də uzanır. Ən çox yayılmış aşkarlama üsulları arasında amperometrik və potensiyometrik sistemlər var; bu sistemlər tez-tez həssaslıq və sabitliyi artırmaq üçün nanomaterial əsaslı elektrod modifikasiyaları ilə təkmilləşdirilir [12].

Ureaza: Ureaza karbamidın ammonyak və karbon dioksidə hidrolizini katalizləyir, bu da ölçülə bilən pH dəyişikliklərinə səbəb olur. Bu ferment böyrək funksiyasının diaqnostikası, karbamid əsaslı gübrələrin ekoloji təhlili və süd sənayesində keyfiyyətə nəzarət üçün biosensorlarda geniş istifadə olunur. Ureaza əsaslı biosensorlar adətən kemilüminessensiya və səthi plazmon rezonansı kimi optik çevirmə texnikalarından istifadə edir [13].

Laktat oksidaz (LOx): Laktat oksidaz L-laktatı piruvat və hidrogen peroksidə çevirir. Onun əsas tətbiqi idman təbabəti və intensiv terapiya sahələrindədir, burada laktatın monitorinqi metabolik stressin və sepsis riskinin qiymətləndirilməsi üçün vacibdir. LOx-əsaslı biosensorlar real vaxtda, invaziv olmayan monitorinq üçün geyilə bilən cihazlara və "ağıllı döymələrə" inteqrasiya edilib [11].

Xolesterol oksidaza (ChOx): Xolesterol oksidaza xolesterolu xolest-4-,3 və hidrogen peroksidə oksidləşdirməni kataliz edir. O, kardiovaskulyar sağlamlığın monitorinqi üçün biosensorlarda, eləcə də heyvan mənşəli məhsullarda xolesterolu ölçmək üçün qida biotexnologiyasında istifadə olunur. Deteksiya üsulları dəqiqliyi artırmaq üçün tez-tez elektrokimyəvi və optik çevirməni birləşdirir [11].

Asetilxolinesteraza (AChE): Asetilxolinesteraza asetilxolinin xolin və asetata hidrolizini kataliz edir. Onun üzvü fosfat və karbamat birləşmələri ilə inhibisyonu pestisidlərin aşkarlanması və neyrotoksin monitorinqi üçün əsasdır. AChE-əsaslı biosensorlar adətən elektrokimyəvi çeviricilərdən istifadə edilir [11].

Tirosinaza: Tirosinaza fenolik birləşmələrin kinonlara oksidləşməsini katalizləyir. O, fenolik çirkləndiricilərin ətraf mühit monitorinqində, qida sənayesində antioksidant tərkibinin müəyyən edilməsində və klinik analizlərdə katexolaminlərin təyini üçün geniş istifadə olunur.

Ferment əsaslı biosensorların tətbiq sahələri

Tibb-Xəstəliklərin diaqnostikası və dərmanların təsirinin ölçülməsi üçün istifadə edilə bilər. Məsələn, şəkər xəstəliyinin idarə edilməsi üçün glukoz biosensorları geniş istifadə olunur.

Ətraf mühitin monitorinqi-çirklənmiş su və hava nümunələrindəki kimyəvi maddələrin müəyyən edilməsi üçün biosensorlardan istifadə olunur.

Ərzaq sənayesi-Ərzaq məhsullarının keyfiyyətinin yoxlanılması və mikroorqanizmlərin aşkarlanması məqsədilə biosensorlar istifadə edilir.

Ferment əsaslı biosensorların gələcəkdə daha da inkişaf ediləcək. Bu sahədə, genetik mühəndislik və nanotexnologiyaların birləşdirilməsi ilə daha daha geniş tətbiq oluna bilər. Həmçinin, biosensorların daha sərfəli və daşınması asan olması ilə tibb və sənaye sahələrində geniş tətbiq sahələri əldə edilə bilər. Ferment əsaslı biosensorların inkişafı biotexnologiyanın sürətlə inkişaf edən sahələrindən biridir və onların tətbiqi müxtəlif sahələrdə həyat keyfiyyətin

Nəticələr

Enzim əsaslı biosensorlar tibbi diaqnostika, ətraf mühitin monitorinqi, qida təhlükəsizliyi, biotexnologiya və sənaye emalı daxil olmaqla müxtəlif tətbiq sahələrində həyati əhəmiyyətli vasitələrə çevrilib. Onların yüksək spesifikliyi, sürətli işləmə və yüksək uyğunlaşa qabiliyyəti real vaxtda dəqiq analiz maddələrinin aşkarlanmasını tələb edən hallarda əvəzolunmazdır. Bu biosensorlar fermentlər, transduserlər və immobilizasiya strategiyaları arasındakı sinergetik qarşılıqlı təsir vasitəsilə fəaliyyət göstərir və biokimyəvi qarşılıqlı təsirləri ölçülə bilən siqnallara çevirir. Buna baxmayaraq bəzi çatişmazlıqlarda müşahidə edilir. Ən başlıcası fermentlərin qeyri-sabitliyi, mürəkkəb nümunə matrisindən gələn müdaxilələr və məhdud əməliyyat ömrüdür. Son innovasiyalar bu problemləri həll etmək üçün nanozimlər kimi sintetik analoqları təqdim etməklə məşğuldur; bunlar daha yüksək davamlılıq, qənaətcilik və denaturasiyaya qarşı müqavimət təklif edir.

References

[1] Iyanagi T. Molecular mechanism of phase I and phase II drug-metabolizing enzymes: Implications for detoxification. Int. Rev. Cytol. 2007; 260:35–112. doi: 10.1016/S0074-7696(06)60002-8.
[2] Shen B., Zhang X., Dai J., Ji Y., Huang H. Lysosome targeting metal-organic framework probe LysFP@ZIF-8 for highly sensitive quantification of carboxylesterase 1 and organophosphates in living cells. J. Hazard. Mater. 2021; 407:124342. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124342.
[3] Ajoolabady A., Kaplowitz N., Lebeaupin C., Kroemer G., Kaufman R., Malhi H., Ren J.J.H. Endoplasmic reticulum stress in liver diseases. Hepatology. 2023; 77:619–639. doi: 10.1002/hep.32562.
[4] Brown D.G., Bostrom J. Where Do Recent Small Molecule Clinical Development Candidates Come From? J. Med. Chem. 2018; 61:9442–9468. doi: 10.1021/acs.jmedchem.8b00675.
[5] Lloyd M.D. High-Throughput Screening for the Discovery of Enzyme Inhibitors. J. Med. Chem. 2020; 63:10742–10772. doi: 10.1021/acs.jmedchem.0c00523.
[6] Jin Q., Song L.-L., Ding L.-L., Zhang J., Wang D.-D., Song Y.-Q., Zou L.-W., Ge G.-B. High-throughput optical assays for sensing serine hydrolases in living systems and their applications. TrAC Trends Anal. Chem. 2022; 152:116620. doi: 10.1016/j.trac.2022.116620.
[7] Jin Q., Wu J., Wu Y., Li H., Finel M., Wang D., Ge G. Optical substrates for drug-metabolizing enzymes: Recent advances and future perspectives. Acta Pharm. Sin. B. 2022; 12:1068–1099. doi: 10.1016/j.apsb.2022.01.009.
[8] Chen J., Huang D., She M., Wang Z., Chen X., Liu P., Zhang S., Li J. Recent Progress in Fluorescent Sensors for Drug-Induced Liver Injury Assessment. ACS Sens. 2021; 6:628–640. doi: 10.1021/acssensors.0c02343.
[9] Fan Y., Wu Y., Hou J., Wang P., Peng X., Ge G. Coumarin-based near-infrared fluorogenic probes: Recent advances, challenges and future perspectives. Coord. Chem. Rev. 2023; 480:215020. doi: 10.1016/j.ccr.2023.215020.
[10] Song L., Sun M., Shi J., Tian Z., Song Y., Liu H., Zhao S., Yin H., Ge G. Rational Construction of a Novel Bioluminescent Substrate for Sensing the Tumor-Associated Hydrolase Notum. Anal. Chem. 2023; 95:5489–5493. doi: 10.1021/acs.analchem.3c00633.
[11] Sonowal K, Borthakur PP, Pathak K. Advances in Enzyme-Based Biosensors: Emerging Trends and Applications. *Engineering Proceedings*. 2025; 106(1):5. https://doi.org/10.3390/engproc2025106005
[12] Sun, Y.; Shu, T.; Ma, J.; Dai, Q.; Peng, P.; Zhou, Z.; Zhou, X.; Su, L.; Zhang, X. Rational design of ZIF-8 for constructing luminescent biosensors with glucose oxidase and AIE-type gold nanoclusters. *Anal. Chem.* **2022**, *94*, 3408–3417.
[13] Nemiwal, M.; Zhang, T.C.; Kumar, D. Enzyme immobilized nanomaterials as electrochemical biosensors for detection of biomolecules. *Enzym. Microb. Technol.* **2022**, *156*, 110006.

MEYVƏ VƏ TƏRƏVƏZ KONSERVLƏRİN SAXLAMA VƏ DAŞINMA ŞƏRAİTİNİN TƏHLÜKƏSİZLİK GÖSTƏRİCİLƏRİNƏ TƏSİRİ

Türfə Yusif qızı Yusubova
Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti
Kafedra: İqtisadi və texnoloji elmlər
Azərbaycan, Bakı şəhəri
yusubovaturf@gmail.com

Fəridə Rahib qızı Quliyeva
Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti
Kafedra: İqtisadi və texnoloji elmlər
Azərbaycan, Bakı şəhəri
farida-gulieva76@mail.ru

XÜLASƏ

Məqalədə meyvə və tərəvəz konservlərinin saxlanma və daşınma şəraitinin qida təhlükəsizliyinə təsiri araşdırılmışdır. Temperatur, rütubət və mexaniki təsirlər məhsulun keyfiyyətinə və təhlükəsizliyinə birbaşa təsir göstərir. Azərbaycanda bu sahəyə nəzarət Azərbaycan Qida Təhlükəsizliyi Agentliyi tərəfindən həyata keçirilir.

Saxlanma şəraitində normativ tələblərə əməl olunmaması mikrobioloji risklərin artmasına və məhsulun yararlılıq müddətinin azalmasına səbəb ola bilər. Daşınma zamanı qablaşdırmanın bütövlüyünün qorunması və uyğun logistika şəraitinin təmin edilməsi də qida təhlükəsizliyi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Aparılan təhlillər göstərir ki, düzgün idarə olunan saxlanma və daşınma prosesləri məhsulun həm keyfiyyətini, həm də istehlakçı sağlamlığını qorumağa imkan verir.

Açar sözlər: meyvə və tərəvəz konservləri, qida təhlükəsizliyi, saxlanma şəraiti, daşınma, temperatur, rütubət, mikrobioloji risklər, qablaşdırma, logistika, keyfiyyətə nəzarət

The Impact of Storage and Transportation Conditions of Canned Fruits and Vegetables on Safety Indicators

T.Y.Yusubova, F.R.Guliyeva

SUMMARY

The article examines the impact of storage and transportation conditions of fruit and vegetable preserves on food safety. Temperature, humidity, and mechanical factors directly affect the quality and safety of the product. In Azerbaijan, this field is regulated by the Food Safety Agency of the Republic of Azerbaijan.

Failure to comply with regulatory requirements during storage may lead to increased microbiological risks and a reduction in the product's shelf life. Ensuring the integrity of packaging and maintaining appropriate logistics conditions during transportation are also crucial for food safety. The analysis shows that properly managed storage and transportation processes help preserve both product quality and consumer health.

Key words: canned fruits and vegetables, food safety, storage conditions, transportation, temperature, humidity, microbiological risks, packaging, logistics, quality control

Müasir dövrdə əhalinin sürətli həyat tərzi və qida məhsullarına olan tələbatın artması uzunömürlü və istifadəyə hazır qida məhsullarına olan tələbatı artırmışdır. Bu baxımdan meyvə və tərəvəz konservləri geniş istehlak olunan məhsullar sırasına daxildir. Müasir qida sənayesində meyvə və tərəvəz konservləri uzunmüddətli saxlanma imkanı və istifadəyə hazır olması ilə seçilir. Konservləşdirmə prosesi mikroorqanizmlərin fəaliyyətini ləngitmək və məhsulun uzun müddət saxlanmasını təmin etmək məqsədi daşıyır. Lakin konserv məhsullarında təhlükəsizliyinin təmin olunması yalnız istehsal mərhələsi ilə məhdudlaşmır. Konserv məhsullarının saxlanması və daşınması mərhələsi də vacib hesab olunur. Saxlanma və daşınma mərhələlərində baş verən dəyişikliklər məhsulun kimyəvi, fiziki və mikrobioloji xüsusiyyətlərinə ciddi təsir göstərə bilər. Bu baxımdan, konservlərin bütün həyat dövrü ərzində düzgün idarə olunması qida təhlükəsizliyi sisteminin ayrılmaz hissəsidir.

Meyvə və tərəvəz konservlərinin istehsalı qida təhlükəsizliyi baxımından yüksək məsuliyyət tələb edən texnoloji proseslərdən biridir. Bu məhsulların istehlakı geniş kütlələri əhatə etdiyinə görə, onların təhlükəsizliyinin təmin edilməsi yalnız texnoloji deyil, həm də ictimai sağlamlıq baxımından prioritet məsələlərdən hesab olunur. Buna görə də istehsalçılar məhsulların konservləşdirilməsində təhlükəsizlik tədbirlərini bilməli və onlara ciddi əməl etməlidirlər.

Qida maddələrinin itkisinin minimuma endirilməsi və məhsulun dad-tam keyfiyyətinin qorunması üçün uyğun konservləşdirmə üsulunun seçilməsi vacibdir. İstifadə olunan əsas və yardımçı xammal mövcud normativ-texniki tələblərə uyğun olmalıdır. Eyni zamanda, konservləşdirmədə istifadə edilən qablaşdırma materialları insan sağlamlığı üçün zərərsiz olmalıdır. Məhsulun keyfiyyətinin saxlanılması və mənfi

dəyişikliklərin qarşısının alınması üçün düzgün saxlanma şəraitinə riayət edilməsi də mühüm əhəmiyyət kəsb edir. [1]

Meyvə və tərəvəz konservlərinin təhlükəsizlik göstəriciləri əsasən fiziki, kimyəvi və mikrobioloji amillərlə müəyyən edilir. Fiziki göstəricilər məhsulun xarici görünüşünü və orqanoleptik xüsusiyyətlərini əhatə edir. Saxlanma zamanı temperaturun və rütubətin düzgün tənzimlənməməsi nəticəsində məhsulun rəngi dəyişə, dadı pisləşə və konsistensiyası pozula bilər. Məsələn, yüksək temperatur şəraitində konservlərin içərisində yerləşən komponentlərin parçalanması nəticəsində məhsulun rəngi tündləşə və ya bulanıqlıq yarana bilər. Kimyəvi göstəricilər konserv məhsullarının qida dəyərinin qorunması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu göstəricilərə pH səviyyəsi, turşuluq, quru maddə miqdarı, vitaminlərin səviyyəsi və digər biokimyəvi komponentlər daxildir. Saxlanma şəraitinin düzgün olmaması kimyəvi reaksiyaların sürətlənməsinə səbəb olur. Xüsusilə yüksək temperatur askorbin turşusunun (C vitamini) sürətlə parçalanmasına gətirib çıxarır.
Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, göy noxud təbii konservini 100 C temperaturda 2 il saxladıqda onun tərkibində olan C vitamini 9% azalır. Temperatur artdıqca vitaminlərin miqdarı daha da aşağı düşür. [2]
Mikrobioloji göstəricilər isə qida təhlükəsizliyinin ən vacib aspektlərindən biridir. Konservləşdirmə zamanı məhsul sterilizasiya edilsə də, saxlanma zamanı qablaşdırmanın zədələnməsi və ya hermetikliyin pozulması mikroorqanizmlərin məhsula daxil olmasına şərait yarada bilər. Bu xüsusilə anaerob bakteriyalar üçün əlverişli mühit yaradır. Clostridium botulinum bakteriyası bu baxımdan ən təhlükəli patogenlərdən biri hesab olunur. Onun törətdiyi botulizm xəstəliyi ciddi sağlamlıq problemlərinə və hətta ölümə səbəb ola bilər. Buna görə konserv məhsullarının saxlanması zamanı qablaşdırmanın bütövlüyünün qorunması əsas şərtlərdən biridir.
Konserv məhsulların yararlılıq müddəti normativ sənədlərə əsasən müəyyən edilsə də, həmin müddət ərzində uyğun saxlanma rejiminə riayət olunması əsas şərtdir. Temperatur və rütubət səviyyəsi konservlərin mikrobioloji sabitliyinə və fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinə birbaşa təsir göstərir. Adətən konservlərin 0–15°C temperaturda və 70–75% nisbi rütubət şəraitində saxlanılması tövsiyə olunur. Uyğun şərait təmin edilmədikdə məhsulun keyfiyyəti aşağı düşür, Yüksək temperatur məhsul daxilində kimyəvi reaksiyaları sürətləndirərək rəng və dad dəyişikliklərinə səbəb olur, aşağı temperatur isə donma nəticəsində məhsulun strukturunu pozur. Bundan əlavə, işıq təsiri nəticəsində vitaminlərin parçalanması və piqmentlərin solması müşahidə olunur. Rütubət də mühüm amillərdən biridir. Yüksək rütubət qablaşdırma materiallarının korroziyaya uğramasına və etiketlərin zədələnməsinə səbəb ola bilər. Bu isə məhsulun identifikasiyasını çətinləşdirir və onun təhlükəsizliyinə mənfi təsir göstərir. Aşağı rütubət isə bəzi qablaşdırma materiallarının kövrəkləşməsinə və zədələnməsinə gətirib çıxara bilər. Buna görə optimal rütubət səviyyəsinin (təxminən 70–75%) qorunması vacibdir. İşıq amili də konserv məhsullarının keyfiyyətinə təsir edən mühüm faktorlardan biridir. Günəş şüalarının birbaşa təsiri nəticəsində vitaminlərin parçalanması və rəng dəyişiklikləri baş verir. Bu səbəbdən konserv məhsulları qaranlıq və ya işıqdan qorunan mühitdə saxlanılmalıdır. Eyni zamanda anbar şəraitində düzgün ventilyasiya sisteminin qurulması rütubətin tənzimlənməsi və mikroiqlimin sabit saxlanılması baxımından vacibdir. Saxlanma müddəti də məhsulun göstəricilərinə təsir edən amillərdəndir. Hər bir konserv məhsulu üçün normativ sənədlərdə müəyyən edilmiş yararlılıq müddəti mövcuddur. Bu müddətin aşılması məhsulun keyfiyyətinin aşağı düşməsinə və təhlükəsizlik risklərinin artmasına səbəb olur.
Meyvə və tərəvəz konservlərinin qida təhlükəsizliyinin təmin olunmasında daşınma mərhələsi mühüm yer tutur. İstehsal müəssisəsindən son istehlakçıya qədər olan logistika zəncirində məhsul müxtəlif fiziki, kimyəvi və mikrobioloji təsirlərə məruz qala bilər. Bu səbəbdən daşınma şəraitinin düzgün təşkili konserv məhsullarının keyfiyyətinin qorunması və təhlükəsizliyinin təmin olunması baxımından həlledici əhəmiyyət kəsb edir. Daşınma zamanı yaranan mexaniki təsirlər – zərbə, titrəmə və təzyiq dəyişiklikləri qablaşdırmanın zədələnməsinə, deformasiyalara və hermetikliyin pozulmasına səbəb ola bilər. Bu isə mikroorqanizmlərin məhsula daxil olması riskini artırır. Buna görə məhsulların düzgün qablaşdırılması və daşınma zamanı sabit yerləşdirilməsi vacibdir. Eyni zamanda temperatur sabitliyinin qorunmaması da təhlükə yaradır. Temperatur dəyişiklikləri kondensasiyaya səbəb olaraq qabın səthində rütubət yaradır və korroziya proseslərini sürətləndirir. Yüksək temperatur isə kimyəvi reaksiyaları intensivləşdirərək məhsulun keyfiyyətini aşağı salır. Bu baxımdan daşınma zamanı uyğun temperatur və şəraitə nəzarət qida təhlükəsizliyinin təmin olunmasında mühüm rol oynayır.

Xüsusilə şüşə və metal qablaşdırmalarda baş verən deformasiya və ya çatlar məhsulun hermetikliyinin pozulmasına gətirib çıxarır. Bu isə mikroorqanizmlərin məhsula daxil olması üçün əlverişli şərait yaradır və qida təhlükəsizliyi baxımından ciddi risk formalaşdırır.

Rütubət də daşınma zamanı nəzərə alınmalı olan mühüm amildir. Yüksək rütubət şəraitində metal qablaşdırmalar korroziyaya uğraya bilər, bu isə qabın möhkəmliyini zəiflədir və hermetikliyin pozulması riskini artırır. Eyni zamanda rütubətin yüksək olması etiketlərin zədələnməsinə və məhsul haqqında məlumatların oxunmaz hala düşməsinə səbəb ola bilər. Bu isə məhsulun identifikasiyasını və izlənməsini çətinləşdirir.

Daşınma zamanı kondensasiya hadisəsi də geniş yayılmış problemlərdən biridir. Temperatur dəyişiklikləri nəticəsində qablaşdırmanın səthində su damcıları əmələ gəlir. Bu isə korroziya proseslərini sürətləndirir və mikrobioloji çirklənmə riskini artırır. Xüsusilə uzun məsafələrə daşınma zamanı temperatur dəyişkənliyi daha çox müşahidə olunduğundan, bu faktor xüsusi nəzarət tələb edir.

Nəqliyyat vasitələrinin texniki və sanitar vəziyyəti də qida təhlükəsizliyinə birbaşa təsir göstərir. Daşınmada istifadə olunan nəqliyyat vasitələri təmiz, dezinfeksiya olunmuş və qida məhsullarının daşınmasına uyğun olmalıdır. Eyni nəqliyyat vasitəsində müxtəlif növ yüklərin daşınması çarpaz çirklənmə riskini artırır. Buna görə qida məhsulları üçün ayrılmış xüsusi nəqliyyat vasitələrindən istifadə edilməsi tövsiyə olunur.

Konserv məhsullarının daşınması zamanı düzgün yükləmə və yerləşdirmə qaydalarına riayət olunması da mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Məhsullar nəqliyyat vasitəsində sabit yerləşdirilməli, bir-birinə sıx təmas etməməli və zərbələrdən qorunmalıdır. Paletlərdən istifadə edilməsi məhsulların daha stabil daşınmasına və mexaniki zədələnmələrin qarşısının alınmasına kömək edir. Eyni zamanda məhsulların üst-üstə yığılması zamanı normativlərə riayət olunmalıdır ki, bu da alt qatda yerləşən qablaşdırmaların deformasiyasının qarşısını alır.

Daşınma zamanı istifadə olunan qablaşdırma materialları da xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Qablaşdırma məhsulu xarici təsirlərdən qorumaqla yanaşı, onun təhlükəsizliyini təmin etməlidir. Müasir qablaşdırma materialları zərbəyə davamlı, hermetik və gigiyenik tələblərə uyğun olmalıdır. Eyni zamanda qablaşdırma materiallarının insan sağlamlığı üçün təhlükəsiz olması da vacib şərtlərdən biridir.

Logistika zəncirində izlənəbilirlik (traceability) sistemlərinin tətbiqi daşınma prosesinin təhlükəsizliyini artırır. Bu sistemlər vasitəsilə məhsulun hərəkəti izlənilir və hər hansı problem yarandıqda onun mənbəyi tez müəyyən edilir. Rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi ilə temperatur və rütubət göstəriciləri real vaxt rejimində izlənilə bilir. Bu isə kənarlaşmaların operativ şəkildə aradan qaldırılmasına imkan verir.

Beynəlxalq təcrübədə konserv məhsullarının daşınması zamanı müxtəlif standartlar və qaydalar tətbiq olunur. HACCP və ISO 22000 kimi sistemlər daşınma mərhələsində risklərin idarə olunmasına yönəlib. Bu standartlar məhsulun təhlükəsizliyinin qorunması üçün bütün mərhələlərdə nəzarət mexanizmlərinin tətbiqini tələb edir. Azərbaycanda meyvə və tərəvəz konservlərinin saxlanma və daşınma şəraitinə nəzarət qida təhlükəsizliyi sisteminin mühüm istiqamətlərindən biridir. Bu sahədə əsas nəzarət funksiyasını Azərbaycan Qida Təhlükəsizliyi Agentliyi həyata keçirir. Agentlik tərəfindən istehsal, saxlanma və daşınma mərhələlərində sanitar-gigiyenik qaydalara riayət olunması, məhsulların normativ-texniki sənədlərə uyğunluğu və təhlükəsizlik göstəriciləri mütəmadi şəkildə yoxlanılır.

Azərbaycanda konserv məhsulların saxlanması ilə bağlı tələblər beynəlxalq standartlara uyğun olaraq müəyyən edilir. Lakin praktikada bəzi hallarda saxlanma şəraitinə tam riayət olunmaması müşahidə olunur. Xüsusilə kiçik ticarət obyektlərində və qeyri-rəsmi satış nöqtələrində temperatur və rütubət rejiminin pozulması, məhsulların günəş işığı altında saxlanılması kimi hallar məhsulun keyfiyyətinə mənfi təsir göstərir.

Araşdırmalar göstərir ki, qida təhlükəsizliyi yalnız istehsal mərhələsi ilə məhdudlaşmamalı, məhsulun istehsaldan istehlakçıya qədər bütün mərhələlərində nəzarət sistemi gücləndirilməlidir. Müasir standartların və texnologiyaların tətbiqi bu sahədə risklərin minimuma endirilməsinə imkan verir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. *Azərbaycan Qida Təhlükəsizliyi Agentliyi (AQTA). Qida təhlükəsizliyi ilə bağlı məlumatlar*
2. *Ə. İ. Əhmədov Ərzaq Məhsullarının Konservləşdirilməsi. Bakı 2017*

ASSESSMENT OF ISSR MARKERS INFORMATIVENESS FOR GENETIC POLYMORPHISM IN DURUM WHEAT

Nahida Asadova
Department of Genetics
Baku State University
Baku, Azerbaijan
n.asadova.z@gmail.com

Abstract: Ten ISSR markers have been used to detect genetic polymorphism in fifty durum wheat genotypes. Each primer was evaluated with regard to the total number of amplified loci, number of polymorphic loci and percentage of polymorphism. To measure the informativeness of the ISSR markers, polymorphism information content (PIC), effective multiplex ratio (EMR), marker index (MI) and resolving power (RP) were calculated. The effective number of alleles (Ne), and Shannon's information index (I) were determined for each locus. Overall, the ISSR markers used produced 75 bands, all of them were polymorphic. UBC-826 and UBC-824 produced the highest and the lowest number of bands, respectively. According to the parameters used for evaluation of informativeness, the ISSR markers applied were ranked as highly, moderately and low informative markers for genetic polymorphism of durum wheat.
Keywords*: food security, genetic erosion, DNA marker*

I. INTRODUCTION

As a result of rapid population growth, climate change, and depletion of natural resources, food security becomes one of the most critical global challenges nowadays. According to the Food and Agriculture Organization, ensuring food security requires not only increased productivity but also the sustainability and resilience of agricultural systems.

One of the main factors maintaining long-term food security is the preservation of genetic diversity within crop species. It is essential for developing crop varieties that can tolerate biotic and abiotic stresses, including drought, salinity, and temperature extremes.

Reduction in genetic diversity as a result of modern agricultural practices limits the capacity of crops to adapt to changing environmental conditions and increases vulnerability to diseases and pests. This issue is particularly concerning in the context of climate change, which intensifies stress conditions and necessitates the development of resilient crop genotypes. Therefore, the conservation and characterization of genetic resources have become priorities in agricultural research and breeding programs.

Molecular marker systems, such as Inter Simple Sequence Repeat (ISSR) markers, provide powerful tools for assessing genetic diversity and identifying polymorphism within crop populations [1]. These low-cost and highly reproducible techniques enable researchers to evaluate the extent of genetic variation, classify genotypes, and support the selection of parental lines for breeding.

From this point of view, the present study focuses on the evaluation of genetic diversity in durum wheat using ISSR markers, with the aim of contributing to sustainable breeding strategies and enhancing food security under changing environmental conditions.

II. MATERIAL AND METHODS

In the present study 10 ISSR markers were used to analyze the genetic diversity among 50 durum wheat (Triticum *turgidum var. durum*) genotypes obtained from National GenBank of Genetic Resources Institute, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan. From fifty samples studied 30 genotypes represent accessions and 20 samples are local cultivars.

Genomic DNA of each T. durum sample was extracted from young leaves using CTAB protocol with modifications given by Doyle and Doyle [2]. Purity and quality of DNA were assessed using a NanoDrop spectrophotometer. Amplification of isolated DNA specimens was carried out in a total reaction volume of 25 µL containing 50 ng DNA with the buffer (10 mM Tris-HCl, pH 8.0; 50 mM KCl; 1.5 mM $MgCl_2$); 5 mM $MgCl_2$, 10 mM of each dNTP; 10 mM primer; and 0.1 µL of Taq polymerase. Polymerase chain reaction was performed in a Gene Amp 9700 thermal cycler (Applied Biosystems). The reaction conditions included DNA denaturation at 94°C for 5 min, followed by 35 cycles of 94°C for 1 min, 50°C for 2 min, and 72°C for 5 min, and final extension for 10 min at 72°C. The reproducibility of the ISSR amplifications was assessed using selected primers with different DNA samples isolated independently from the same

cultivar and amplified at different times. Under the optimized PCR conditions, the banding profiles were consistent among PCR experiments. Amplification products were separated by electrophoresis in 2% agarose gel, stained with 0.05% ethidium bromide and visualized in UV light using the Bio-Rad gel documentation system.

Out of the twenty ISSR primers tested, ten ISSR primers produced clear bands and were chosen for further analysis. Banding patterns produced by ten ISSR markers were scored for absence (0) and presence (1) of bands and the binary matrices were constructed. By observing the banding patterns produced by different ISSR primers, total number of bands, number of polymorphic bands and percentage of polymorphism were determined.

To measure the informativeness of the ISSR markers, polymorphism information content (PIC), effective multiplex ratio (EMR), marker index (MI) and resolving power (RP) were calculated (Table 1). The effective number of alleles (Ne), and Shannon's information index (I) were determined for each locus.

PIC was calculated according to the formula of Anderson et al., (1993), as $PIC = 1 - \Sigma p_i^{\ 2}$, where p_i is the frequency of the ith allele of the locus in the set of fifty wheat genotypes [3].

EMR is the product of the fraction of polymorphic bands and the number of polymorphic bands (Joshi and Nguyen, 1993).

MI was determined according to (Powell et al., 1996) as the product of PIC and EMR.

RP was calculated using the formula $RP=\Sigma I_b$, where I_b is band informativeness and $I_b= 1-[2 \times (0.5 - p)]$, where p is the proportion of genotypes containing the band (Altintas et al, 2008).

The effective number of alleles (Ne) was calculated as $Ne=1/(p^2+q^2)$, where p is the frequency of band presence and q is the frequency of band absence.

Shannon's information index (I) was calculated as $I=-(plnp+qlnq)$. These parameters were used to evaluate the level of genetic diversity revealed by ISSR markers.

III. RESULTS AND THEIR DISCUSSION

Table 1. Main parameters for evaluation of ISSR markers informativeness

№	ISSR marker	Number of bands	Number of polymorphic bands	Percentage of polymorphism	PIC	Ne	I	EMR	MI	Rp
1	UBC-880	9	9	100	0.27	1.42	0.42	9	2.43	4.85
2	UBC-862	8	8	100	0.24	1.36	0.38	8	1.92	3.90
3	UBC-821	6	6	100	0.22	1.31	0.34	6	1.32	2.75
4	UBC-824	3	3	100	0.18	1.25	0.29	3	0.54	1.60
5	UBC-840	4	4	100	0.20	1.28	0.31	4	0.80	2.10
6	UBC-881	6	6	100	0.23	1.34	0.36	6	1.38	3.10
7	UBC-826	12	12	100	0.30	1.50	0.48	12	3.60	6.20
8	UBC-829	8	8	100	0.26	1.40	0.41	8	2.08	4.30
9	UBC-841	10	10	100	0.25	1.38	0.39	10	2.50	4.70
10	UBC-842	9	9	100	0.24	1.36	0.37	9	2.16	4.10
	Total	75	75							
	Mean	7.5	7.5	100	0.24	1.36	0.38	7.5	1.87	3.76

Ten ISSR primers generated fully polymorphic banding patterns across the 50 durum wheat genotypes, indicating a high level of genetic variability. The number of amplified bands ranged from 3 to 12 per primer with the total number of bands equal to 75. The polymorphic information content (PIC) values indicated moderate to high marker informativeness. PIC values of the ISSR markers ranged from 0.18 to 0.30, with an average value of 0.24, indicating moderate informativeness of the selected primers. The highest PIC value was observed for UBC-826, suggesting its superior discriminatory ability, while the lowest value was recorded for UBC-824. The effective number of alleles (Ne) ranged from 1.25 to 1.50, while Shannon's information index (I) ranged from 0.29 to 0.48. UBC-826 also exhibited the highest marker index (MI = 3.60) and resolving power (Rp = 6.20). In contrast, markers with fewer bands like UBC-824 and UBC-840 showed lower informativeness according to the values of calculated parameters (Table 2).

Table 2. ISSR marker ranking according to their informativeness for durum wheat polymorphism

ISSR markers	Informativeness
1. UBC-826 2. UBC-841 3. UBC-880 4. UBC-842 5. UBC-829	High
6. UBC-862 7. UBC-881 8. UBC-821	Moderate
9. UBC-840 10. UBC-824	Low

The high level of polymorphism observed in this study confirms the effectiveness of ISSR markers in detecting genetic variation in durum wheat. The moderate to high PIC values indicate that the selected primers are suitable for diversity analysis and genotype discrimination. Overall, the results demonstrate that ISSR markers are effective tools for assessing genetic diversity and can support breeding strategies aimed at improving drought tolerance in durum wheat.

REFERENCES

1. Anne, C. Choosing the right molecular genetic markers for studying biodiversity: from molecular evolution to practical aspects. (Genetica), Volume 127, 2006, pages 101–120

2. Doyle, J.J., Doyle, J.L. Isolation of plant DNA from fresh tissue. (Focus), Volume 12, Issue 1, 1987, pages 13-14

3. Roldán-Ruiz I. et al. AFLP markers reveal high polymorphic rates in ryegrasses (Lolium spp.). Molecular Breeding, 6, 2000, pages 125–134.

BUĞDA GENOTIPLƏRININ SÜNBÜL ELEMENTLƏRINDƏ RUBISKO FERMENTININ AKTIVLIYININ DƏYIŞMƏ DINAMIKASININ TƏDQIQI

Sevinc Şahverdiyeva

AR ETN, Bakı Dövlət Universiteti

Bakı, Azərbaycan sevincshah2003@gmail.com

Taliyyə Orucova

AR ETN,Molekulyar Biologiya İnstitutu

Bakı, Azərbaycan orujova.taliya@gmail.com

Abstrakt: Qida məhsullarına olan qlobal tələbatın artması fonunda fotosintezin səmərəliliyinin artırılması kənd təsərrüfatı məhsuldarlığını artırmağın əsas strategiyalarından biridir. Bu prosesdə açar ferment olan Rubiskonun funksional xüsusiyyətlərinin tədqiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu tədqiqat Azərbaycan şəraitində yetişdirilən bərk buğdanın Bərəkətli 95 və yumşaq buğdanın Qobustan genotiplərində Rubisko fermentinin aktivliyinin dəyişmə dinamikasının öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Tədqiqat işində Rubisko fermentinin aktivlik dinamikası normal suvarılan və quraqlıq stresinə məruz qalmış bitkilərin sünbül elementlərində müqayisəli tədqiq edilmişdir. Əldə olunan nəticələr buğda genotiplərində fotosintetik aktivliyin tənzimlənməsi və davamlı, yüksək məhsuldar sortların seleksiyası üçün elmi əsas yaradır.

***Açar sözlər**: fotosintez, məhsuldarlıq, Rubisko, buğda, dənli bitkilər*

INTRODUCTION

Artan əhali sayı, qida rasionunun dəyişməsi və bioyanacaq istehlakının artması nəticəsində yaranacaq tələbatı ödəmək üçün 2050-ci ilə qədər qlobal kənd təsərrüfatı məhsulununh istehsalı təxminən iki dəfə artırılmalıdır [5]. Bu tələbatı ödəmək məqsədi ilə aparılan elmi tədqiqatlar əsasən fotosintezin

səmərəliliyinin artırılması və nəticə olaraq məhsuldarlığın yüksəldilməsinə yönəlmişdir [3]. Bu istiqamətdə aparılan işlərin əksəriyyəti fotosintez prosesinin tənzimləyici mexanizmlərinin, xüsusilə də açar fermentlərin tənzimlənmə xüsusiyyətlərinin öyrənilməsinə yönəlmişdir. Rubiskonun fəaliyyətinin yaxşılaşdırılması da bu istiqamətdə mühüm hədəflərdən biri kimi qalmaqdadır [7].

Bitki metabolizmində mühüm əhəmiyyətli, açar ferment olan Rubisko (Ribuloza bisfosfat karboksilaza, EC 4.1.1.39) təbiətdə ən çox yayılmış fermentdir və yarpaqlarda həll olan zülalların təxminən 30–50%-ni təşkil edir [4]. Rubisko fermenti bitkilərdə karbon assimilyasiyasın ilkin reaksiyasını kataliz edir. Ribuloza-1,5-bisfosfatın CO_2 qazı ilə birləşməsi nəticəsində iki molekul üç karbonlu birləşmə 3-fosfoqliserat sintez olunur. Fermentin O_2 ilə reaksiyası zamanı isə fototənəffüs prosesi baş verir və fotosintez prosesinin məhsuldarlığı azalır [6].

Rubiskonun aktivliyinin yaxşılaşdırılması sahəsində aparılan işlərə Rubiskonun kinetik xüsusiyyətlərinin dəyişdirilməsi, onun tənzimlənməsinin və miqdarının modifikasiyası, Rubisko ətrafında CO_2 qazının yüksək qatılığını təmin etməklə oksigenaza aktivliyinin məhdudlaşdırılması, eləcə də fototənəffüs yolunun müəyyən dərəcədə modifikasiyası daxildir. Azərbaycanda yetişdirilən taxıl bitkiləri arasında buğda ən vacib qida bitkilərindən biridir. Yerli yetişdirilən buğda sortlarının məhsuldarlığının və davamlılığının artırılması ölkənin ərzaq təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün prioritetdir. Ətraf mühit amillərinin təsiri altında buğda sortlarında tənzimləyici mexanizmlərin öyrənilməsi yüksək məhsuldar və davamlı sortların seçilməsinə və gələcək seleksiya üçün perspektivli valideyn formalarının müəyyən edilməsinə imkan verir. Bu məqsədlə tədqiqat işinin yerinə yetirilməsi üçün yerli şəraitdə becərilən və davmalı genotiplər sayılan bərk buğdanın Bərəkətli 95 və yumşaq buğdanın Qobustan genotiplərində Rubisko fermentinin aktivlik dinamikası normal suvarılan və quraqlıq şəraitdə öyrənilmişdir

TƏDQIQATIN MATERIAL VƏ METODLARI

Nümunələr maye azotda, tərkibində 0.001 mM EDTA, 0.02 M $MgCl_2$, 5 mM DTT və 1% polivinilpirrolidon olan HEPES–KOH (pH 7.8) buferində homogenezasiya edilmişdir. Rubisko aktivliyinin təyini üçün nümunələr 40 saniyə müddətində +4°C temperaturda 14000 x g sürətlə 10 dəqiqə müddətində sentrifuqalaşdırılmış və supernatant tədqiqat məqsədi üçün istifadə edilmişdir.

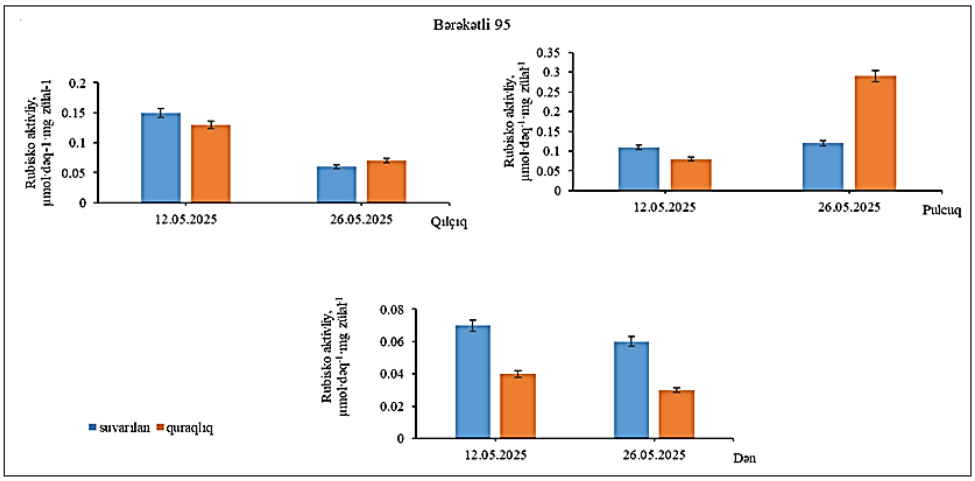
Fermentin aktivliyinin təyini üçün reaksiya mühitinin tərkibi 20 mM $NaHCO_3$, 20 mM $MgCl_2$, 5 mM ATP, 5 mM kreatin fosfat, 0,6 mM NADH, 15 $U \cdot ml^{-1}$ fosfoqliserat fosfokinaza, 10 $U \cdot ml^{-1}$ kreatin kinaza, 20 U ml^{-1}qliseraldehid-3-fosfat dehidrogenaza fermenti olan 100 mM Bisin–KOH (pH 8.2) buferindən istifadə olunmuşdur. Reaksiya 1 dəqiqə müddətində, 25°C temperaturda aparılmışdır [6].

Reaksiyanın başlanması üçün mühitə substrat olaraq, 1 mM ribuloza-bisfosfat karboksilaza əlavə edilmişdir. Reaksiya spektrofotometrdə 340 nm dalğa uzunluğunda NADH-ın oksidləşmə dərəcəsinin azalmasına əsasən hesablanmışdır. Fermentin xüsusi aktivliyi zülal miqdarına əsasən təyin edilmişdir.

NƏTICƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKIRƏSI

Dənin inkişafının süd və mum mərhələsinə uyğun gələn fazalarda sünbülün müxtəlif elementlərində (qılçıq, pulcuq və dən) Rubisko fermentinin aktivliyinin dəyişmə dinamikası bərk və yumşaq buğda genotiplərinin suvarılan və quraqlıq stresinin təsirinə məruz qalmış bitki nümunələrində öyrənilmişdir. Şəkil 1-də Bərəkətli 95 genotipinin suvarılan və quraqlıq stresinin təsirinə məruz qalmış nümunələrində sünbül elementlərində Rubisko fermentinin aktivlik dinamikasının dəyişməsi təsvir edilmişdir (şəkil1)

Şəkil 1-dən göründüyü kimi Bərəkətli 95 genotipində inkişafın müxtəlif mərhələlərində qılçıq toxumasında Rubisco fermentinin aktivliyinin dinamik təhlili görə süd yetişmə mərhələsində suvarılan bitkilərdən toplanmış toxuma nümunələrində fermentin xüsusi aktivliyi 0,15 $\mu mol \cdot dəq^{-1} \cdot mq$ zülal^{-1} təşkil etmişdir. Quraqlıq stresinin təsirinə məruz qalan nümunələrdə isə kontrol nümunələrlə müqayisədə fermentin aktivliyi təxminən 1,15 dəfə azalmışdır. Mum yetişmə mərhələsində ferment aktivliyinin ümumi azalması müşahidə edilmiş, lakin quraqlıq variantında suvarılan nümunələrlə müqayisədə statistik cəhətdən əhəmiyyətli fərq qeydə alınmamışdır (0,85 dəfə). Bu mərhələdə ontogenetik qocalma proseslərinin güclənməsi və assimilyasiya olunan maddələrin generativ orqanlara yönləndirilməsi Rubisco-nun katalitik potensialının təbii azalması ilə nəticələnə bilərdi



Şəkil 1. Bərk buğdanın Bərəkətli 95 genotipində inkişafın müxtəlif mərhələlərində sünbül elementlərində Rubisko fermentinin aktivliyinin dəyişmə dinamikası

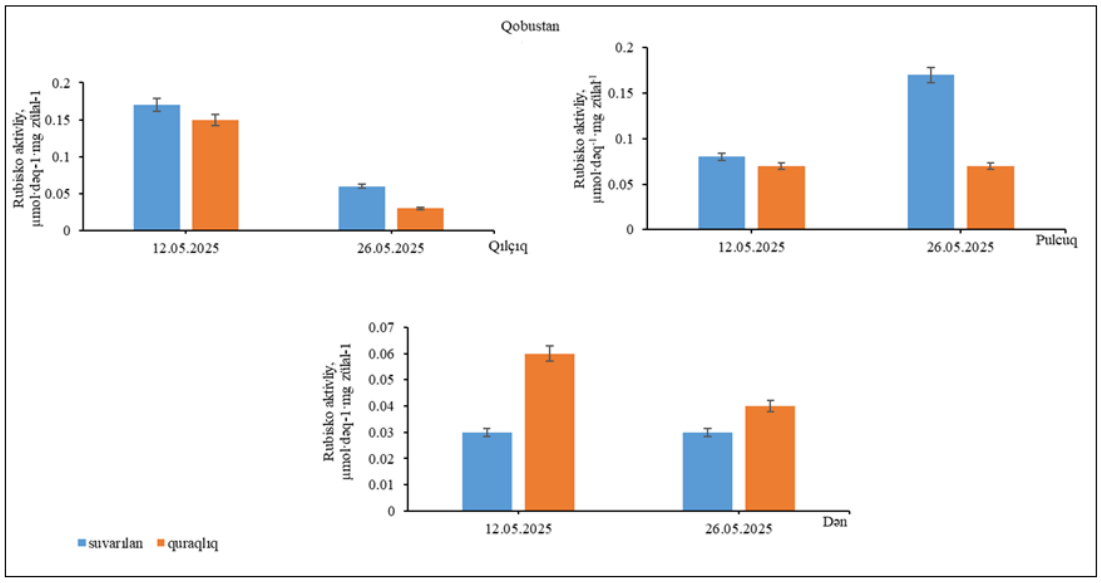
Nəticələr göstərir ki, qılçıq toxumasında Rubisco aktivliyi həm ontogenetik mərhələdən, həm də su rejimindən asılı olaraq aktivliyi dəyişir və xüsusilə süd yetişmə fazasında quraqlıq stresinə daha həssas reaksiya nümayiş etdirir.

Pulcuqda Rubisko fermentinin aktivlik dinamikası göstərmişdir ki, süd yetişmə mərhələsində quraqlıq stresinin təsirinə məruz qalmış nümunələrdə fermntin aktivliyi suvarılan nümunələrlə müqayisədə təqribən 1,4 dəfə azalmışdır. Mum yetimə mərhələsində isə əksinə quraqlığın təsirinə məruz qalmış nümunələrdə fermenin aktivliyi əhəmiyyətli dərəcədə, təqribən 2,4 dəfə artmışdır (şəkil 1).

Bərəkətli 95 genotipində dəndə fermentin aktivliyi həm süd, həm də mum yetişmə mərhələlərində suvarılan nümunələrlə müqayisədə, quraqlığın təsirinə məruz qalmış nümunələrdə azalmışdır. Süd yetişmə mərhələsində fermentin aktivliyi təqribən 1,75 dəfə, mum yetişmə mərhələsində isə 2 dəfə azalmışıdr (şəkil 1).

Yumşaq buğdanın Qobustan genotipində qılçıqda suvarılan nümunələrlə müqayisədə quraqlığın təsirinə məruz qalmış nümunələrdə fermentin aktivliyi süd və mum yetişmə mərhələlərində müvafiq olaraq, 1.13 və 2 dəfə azalmışdır (şəkil 2). Qobustan genotipində pulcuqda fermentin aktivliyinin dəyişmə dinamikası Bərəkətli 95 genotipi ilə oxşar olmuşdur. Fermentin aktivliyi süd yetişmə mərhələsində fermentin aktivliyi suvarılan nümunələrlə müqayisədə 1.14 dəfə, mum yetişmə mrhələsində isə 2,4 dəfə azalmışıdr. Ümumilikdə isə süd yetişmə mərhələsində fermentin akivliyi həm suvarılan, həm də quraqlıq nümunələrdə mum yetişmə ilə mqayisədə daha yüksək olmuşdur

Qobustan genotipində dəndə ferment aktivliyinin dinamikası göstərmişdir ki, həm südyetişmə, həm də mum yetişmə mərhələlərində fermentin aktivliyi suvarılan nümunələrlə müqayisədə quraqlığın təsirinə məruz qalmış nümunələrdə artmışdır. Süd yetişmə mərhələsində fermentin aktivliyi suvarılan nümunələrlə müqayisədə 2 dəfə, mum yetişmə mərhələsində isə 1.33 dəfə artmışdır.



Şəkil 2. Yumşaq buğdanın Qobustan genotipində inkişafın müxtəlif mərhələlərində sünbül elementlərində Rubisko fermentinin aktivliyinin dəyişmə dinamikası.

Bitkilər quraqlıq stresinə məruz qaldıqda fotosintetik prosesdə mühüm rol oynayan Rubisko fermentinin aktivliyi çiçəklənmə mərhələsində buğdanın flaq yarpaqlarında əhəmiyyətli dərəcədə azalır [1]. Rubisko aktivliyinin azalması yarpaqlardakı ümumi zülal və xlorofil miqdarının kəskin azalması ilə də əlaqələndirilə bilər. Açıq sahə şəraitində yetişdirilmiş müxtəlif buğda genotipləri üzərində aparılan tədqiqatlar göstərir ki, torpaqda quraqlıq stressi tədricən gücləndikcə atmosferdən CO_2 qazının fiksasiyası və nəticə etibarı ilə mühüm assimilyasiya məhsullarının əmələ gəlməsi də azalır. Problemi daha da dərinləşdirən odur ki, qaz mübadiləsini təmin edən ağızcıqlar quraqlıq stresinə birbaşa cavab olaraq qismən bağlanır. Ağızcıqların bağlanması yarpağa CO_2 qazının keçmə sürətini məhdudlaşdırır.

Sünbül elementlərinin adaptiv mexanizmləri onun yüksək fotosintetik aktivliyini təmin edir. Bu sünbülün ətraf mühitin stress amillərinə qarşı yüksək davamlılığı, yarpaqlarla müqayisədə suyun daha səmərəli istifadə olunması və flaq yarpaqlarına nisbətən gec qocalması ilə izah edilə bilir. Əvvəlki tədqiqatlar həmçinin göstərmişdir ki, sünbül elementlərinin quraqlığa və yüksək temperatura qarşı davamlılığı tənəffüs prosesində ayrılan CO_2 qazının yenidən fiksasiya olunması ilə də bağlıdır [1; 2]. Göstərilmişdir ki, quraqlıq stresinin təsiri nəticəsində flaq yarpaqları ilə müqayisədə sünübl elemnetlərin suyun nisbi miqdarı və su potensialı daha yüksək olur [2].

Aparılan tədqiqatların nəticələri göstərir ki, Abşeron yarımadasında, sahələrdə həm suvarılan, həm də təbii quraqlıq şəraitində yetişdirilən buğda genotiplərinin flaq yarpaqlarında və sünbül elementlərində Rubisko fermentinin aktivliyi dənin inkişafının ilkin mərhələlərində artmağa başlayır. Bu artım, bitkinin fotosintez prosesinin intensivliyini və məhsuldarlığını artırmağa kömək edir. Lakin, inkişafın son mərhələlərində, yəni dənin formalaşmasının son dövrlərində, bu aktivlik azalır. Bu dəyişikliklər həm flaq yarpaqlarında, həm də sünbül elementlərində müşahidə olunur, amma aktivliyin azalması sünbül elementlərində daha az və ya gec baş verir. Bu fenomen, sünbül elementlərində fotosintez fəaliyyətinin daha uzun müddət davam etdiyini və bu prosesin bitkinin dən inkişafına olan müsbət təsirini qoruduğunu göstərir.

Kənd təsərrüfatı bitkilərinin davamlılığını artırmaq üçün atmosferdə CO_2 qazının konsentrasiyasının artmasının CO_2 qazının assimilyasiyasına və Rubiskonun biokimyəvi xüsusiyyətlərinə təsirini anlamaq vacibdir. Digər tərəfədənCO_2 qazının atmosferdəki yüksək konsentrasiyası ilə abiotik stress amillərinin qarşılıqlı əlaqəsinin bitkilərə gğstərdiyi təsir hələ də tam aydınlaşdırılmamışdır. Bu tədqiqat işində müxtəlif su təminatı və temperatur şəraitində bitkilərin fotosintetik xüsusiyyətləri öyrənilmişdir.

Aparılan araşdırmalarda göstərilmişdir ki, müxtəlif funksional qrupları, fotosintetik yolları və fenoloji mərhələləri əhatə edən 42 müxtəlif kənd təsərrüfatı bitkisində aparılan tədqiqatlar göstərmişdir ki, C_3 bitkilərində yüksək konsentrasiyalı CO_2 şəraitində xalis fotosintez sürəti və hüceyrədaxili CO_2 konsentrasiyası artır, ağızcıq keçiriciliyi və transpirasiya sürəti azalır [3]. Digər tərəfən Rubiskonun *in vitro*-da ekstraksiya olunan maksimal aktivliyi və zülal miqdarı C_3 bitkilərində azalmışdır [3]. Müəyyən

edilmişdir ki, taxılkimilər (*Poaceae*) fəsiləsinə aid bitkilərdə quraqlıq və istilik stresi bitkinin inkişafının son mərhələlərində fotosintetik xüsusiyyətlərə güclü təsir göstərmişdir.

Tədqiqatımızda alınan nəticələr, xüsusən quraqlıq şəraitində buğda bitkisinin inkişafı üçün sünbül elementlərinin daha mühüm bir rol oynadığını göstərir. Sünbül elementləri fotosintez prosesini daha effektiv şəkildə davam etdirərək, bitkinin sonrakı mərhələlərində dən çıxımını artırır və bu xüsusiyyət, quraq iqlim şəraitində xüsusilə əhəmiyyətlidir. Tədqiqatlar göstərir ki, quraqlıq şəraitində fotosintez fəaliyyətinin sünbül elementlərində uzun müddət aktiv qalması bitkinin daha yüksək məhsul verməsinə şərait yaradır.

YEKUN

Müəyyən edilmişdir ki, buğda genotiplərində Rubisko fermentinin aktivliyi ontogenetic inkişaf mərhələlərindən və suyun miqdarından asılı olaraq dəyişir. Quraqlıq stresininümumilikdə ferment aktivliyinə mənfi təsir göstərsə də, bu təsirin dərəcəsi həm də genotipdən asılı olaraq dəyişir. Sünbül elementlərində fotosintetik proseslərin sabitliyi onların dənin formalaşmasındakı rolunu göstərir. Bu nəticələr göstərir ki, sünbülün funksional xüsusiyyətləri məhsuldarlığın qorunmasında əhəmiyyətlidir və bu xüsusiyyətlər seleksiya proqramlarında nəzərə alına bilər.

ƏDƏBIYYAT

Abbad H., El Jaafari S., Bort J., Araus J. Comparative relationship of the flag leaf and ear photosynthesis with the biomass and grain yield of durum wheat under a range of water conditions and different genotypes // Agronomie, 2004, v.24, p. 19 28.

Araus J., Brown H., Febrero A., Bort J., Serret M. Ear photosynthesis, carbon isotope discrimination and the contribution of respiratory CO2 to differences in grain mass in durum wheat //Plant Cell Environ.,1993, v.16, p. 383–392

Bailey-Serres, J., Parker, J. E., Ainsworth, E. A., Oldroyd, G. E., & Schroeder, J. I. (2019). Genetic strategies for improving crop yields. Nature, 575(7781), 109-118.

Ellis R. The most abundant protein in the world // Trends in Biochemical Sciences, 1979, v. 4, p. 241–244

Ray, D. K., West, P. C., Clark, M., Gerber, J. S., Prishchepov, A. V., & Chatterjee, S. (2019). Climate change has likely already affected global food production. PloS one, 14(5), e0217148.

Rokka A., Zhang L., Aro E. Rubisco activase: an enzyme with a temperature dependent dual function? //Plant J.,2001, v.25, p. 463–471

Sharwood, R. E. (2017). Engineering chloroplasts to improve Rubisco catalysis: prospects for translating improvements into food and fiber crops. *New Phytologist*, *213*(2), 494-510.

NEUTRINO FLAVOUR MASSES IN CASE OF INVERTED MASS ORDER

Vali Huseynov Shafiga Azizova Turkana Baghishova
Department of Physics, Baku Department of Physics, Faculty of Department of Physics Faculty of Engineering University, Baku, Natural Sciences, Sumgayit State Engineering, Baku Engineering Azerbaijan, University, Sumgayit, Azerbaijan University, Baku, Azerbaijan
vehuseynov@beu.edu.az shafiqa.talishli@mail.ru turkanabaghishova@gmail.com

Abstract: The presented talk is devoted to the calculation of the neutrino masses in the case of the inverted mass order. Using
the experimental values of the elements of the lepton mixing matrix and the masses of the neutrino mass eigenstates obtained
from the neutrino oscillation experiments, the masses of the neutrino flavours are calculated in the case of the inverted mass
order.
Keywords*: inverted mass order, neutrino, neutrino flavour, neutrino mass eigenstate, neutrino oscillations*

I. INTRODUCTION

As an elusive neutral particle, a neutrino mainly participates in weak and gravitational interactions. If a neutrino is a Dirac particle, then it will possess the anomalous magnetic moment which enables a neutrino directly to participate in an electromagnetic interaction. Since a neutrino has the spin $\hbar/2$, it is a fermion and obeys the Fermi-Dirac statistics. There are three flavours of a neutrino: an electron neutrino ν_e , a muon neutrino ν_μ and a tau-neutrino ν_τ [1]. If a neutrino has mass and lepton number is not conserved, the mixing of the neutrino flavours ought to take place. This phenomenon is called a neutrino oscillation [2]. The results of the experiments on the neutrino oscillations (solar neutrino experiments, e.g. [3], atmospheric neutrino experiments, e.g. [4], reactor neutrino experiments, e.g. [5] and accelerator neutrino experiments, e.g. [6]) confirm that a neutrino possesses a non-zero mass. The latest results of the KATRIN experiment show that $m_\nu < 0.8\ eV/c^2$ at 90% confidence level [7]. Since each neutrino flavor $\nu_l = \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$ is a combination of three different neutrino mass eigenstates $\nu_i = \nu_1, \nu_2, \nu_3$, in the inverted hierarchical spectrum

$m_{\nu_3} \ll m_{\nu_1} < m_{\nu_2}$ (1)

where m_{ν_1}, m_{ν_2} and m_{ν_3} are the masses of the three different neutrino mass eigenstates ν_1, ν_2 and ν_3, respectively [8].

The main goal of the presented work is the calculation of the masses m_{ν_e}, m_{ν_μ} and m_{ν_τ} corresponding to the neutrino flavours ν_e , ν_μ and ν_τ in the case of the inverted mass order [8] knowing the masses m_{ν_1}, m_{ν_2} and m_{ν_3} of the neutrino mass eigenstates.

II.CALCULATION OF NEUTRINO FLAVOUR MASSES IN CASE OF INVERTED MASS ORDER

The flavour states are expressed via the mass eigenstates as follows [1]:

$$\begin{pmatrix}\nu_e\\ \nu_\mu\\ \nu_\tau\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}U_{e1} & U_{e2} & U_{e3}\\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3}\\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\nu_1\\ \nu_2\\ \nu_3\end{pmatrix} \quad (2)$$

The following three relations are obtained from the matrix equation (2):

$$|\nu_e\rangle = U_{e1}\,U_{e1}\,|\nu_1\rangle + U_{e2}\,|\nu_2\rangle + U_{e3}\,|\nu_3\rangle, \quad (3)$$

$$|\nu_\mu\rangle = U_{\mu1}\,|\nu_1\rangle + U_{\mu2}\,|\nu_2\rangle + U_{\mu3}\,|\nu_3\rangle, \quad (4)$$

$|\nu_\tau\rangle = U_{\tau 1}|\nu_1\rangle + U_{\tau 2}|\nu_2\rangle + U_{\tau 3}|\nu_3\rangle$, (5)

where U_{li} is the Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata matrix, $l = e, \mu, \tau$ and $i = 1,2,3$ [1, 8].
In the inverted mass order spectrum

$m_{\nu_1} \simeq \sqrt{|\Delta m_{32}^2 + \Delta m_{21}^2|} \sim 0.0492 eV$, (6)

$m_{\nu_2} \simeq \sqrt{|\Delta m_{32}^2|} \sim 0.05 eV$ (7)

where $\Delta m_{21}^2 = m_{\nu_2}^2 - m_{\nu_1}^2$, $\Delta m_{32}^2 = m_{\nu_3}^2 - m_{\nu_2}^2$ [8].
To calculate the effective mass of the neutrino flavour, we use the formula [8]

$m_{\nu_l}^{2(eff)} = \sum_{i=1}^{3} |U_{li}|^2 m_{\nu_i}^2$. (8)

In the case of the inverted mass order, the matrix U_{li} has the form [9]

$$U_{li} = \begin{pmatrix} 0.823 & 0.548 & 0.0206 + 0.148i \\ -0.387 + 0.091i & 0.554 + 0.060i & 0.729 \\ 0.397 + 0.083i & -0.622 + 0.055i & 0.668 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

The related calculations for $|U_{li}|^2$ yield the following result:

$$|U_{li}|^2 = \begin{pmatrix} 0.999 & 0.000 & 0.001 \\ 0.000 & 0.999 & 0.001 \\ 0.001 & 0.001 & 0.998 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

If we assume $m_{\nu_3} \lesssim 10^{-1} m_{\nu_1}$, use the formula (8) and the experimental values for m_{ν_1} and m_{ν_2}, we obtain the corresponding values for the masses of the neutrino flavours. The results obtained for the masses of the neutrino flavours in the case of inverted mass order are presented in Table 1.

Table 1. The masses of the neutrino flavours in eV
in the case of the inverted mass order

m_{ν_l}	$m_{\nu_3} \lesssim 10^{-1} m_{\nu_1}$
m_{ν_e}	2.218×10^{-1}
m_{ν_μ}	2.236×10^{-1}
m_{ν_τ}	7.000×10^{-1}

III. CONCLUSION

Thus, as can be seen from Table 1, the mass of the lightest neutrino flavour belongs to an electron neutrino, while the mass of the heaviest neutrino flavour belongs to a tau-neutrino. The results obtained for the masses of the all neutrino flavours do not contradict to the result obtained from the KATRIN experiment. The obtained mass hierarchy for the neutrino flavours is similar to the mass hierarchy for the related charged leptons. The mass of a tau-lepton ($m_\tau \approx 1.78\ GeV/c^2$) is also heavier than the mass of a muon ($m_\mu \approx 105.66\ MeV/c^2$) and the mass of a muon is also heavier than the mass of an electron ($m_e \approx 0.511\ MeV/c^2$).

REFERENCES

[1] C. Giunti and C. W. Kim, Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics, (Oxford University Press Inc.,
New York, the USA, 2007).
[2] B. Pontecorvo, Zh. Eksp. Teor. Fiz. **33**, 549 (1957) [Sov. Phys. JETP **6**, 429 (1957)].
[3] B. T. Cleveland et al., Astrophys. J. **496**, 505 (1998).
[4] Y. Fukuda et al. (Super-Kamiokande Collaboration), Phys. Rev. Lett. **81**, 1562 (1998).
[5] K. Eguchi et al. (KamLAND Collaboration), Phys. Rev. Lett. **90**, 021802 (2003).
[6] M. H. Ahn et al. (K2K Collaboration), Phys. Rev. Lett. **90**, 041801 (2003).
[7] M. Aker et al. (KATRIN Collaboration), Nature Physics **18**, 160 (2022).
[8] S. Navas et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D **110**, 030001 (2024).
[9] H. N. T. Kim, V. N. T. Hong and S. C. Van. EPJ Web of Conferences **206**, 09009 (2019).

POLARIZATION FEATURES OF ANISOTROPIC BRAGG DIFFRACTION OF LIGHT BY HOLOGRAPHIC PHASE GRATINGS UNDER FRESNEL REFLECTION CONDITIONS

Darya Blotskaya
Department of Theoretical Physics and Applied Computer Science
Mozyr State Pedagogical University named after I.P Shamyakin
Mozyr, Belarus
bloczkaya98@bk.ru
Liudmila Tozik
Department of Physics and Mathematics
Mozyr State Pedagogical University named after I.P Shamyakin
Mozyr, Belarus
tozikludmila8@gmail.com

Abstract: It is shown that, at significant amplitude perturbations of the refractive index of the medium, deep amplitude modulation of light by holographic grating occurs in the transmitted and reflected diffraction orders. It is established that significant periodic changes in the transmittance of diffracted waves of the zeroth and first orders with changes in the polarization azimuth of the incident light are determined by a significant difference in the Fresnel reflectivity at the layer boundaries for the s- and p-components of the incident light; such changes are absent in the reflected diffraction orders.
Keywords*: holographic grating, anisotropic Bragg diffraction, reflection and transmission coefficients, light modulation, polarization azimuth.*

Introduction

Currently, various recording media (photopolymerizing acrylate compositions, photochromic media of organic and inorganic types, photorefractive polymers, etc.) are widely used for recording holographic gratings (HG), in which the modulation amplitude of the refractive index reaches values of $\Delta n \sim 10^{-2}$-10^{-1} [1]. In [2], the components of the perturbation tensor of the permittivity of a cubic photorefractive crystal are presented, expressed through the components of the tensor of electro-optic constants, photoelastic constants, piezoelectric constants, elastic moduli for various promising crystal cuts. This paper theoretically investigates the properties of anisotropic Bragg diffraction of light waves by holographic phase gratings in cubic non-centrosymmetric photorefractive crystals under Fresnel reflection conditions. Gallium arsenide (GaAs) is used as a model crystal.

Description of the Processing System

Let us assume that a plane-parallel layer of thickness h with a refractive index n_2 is located between homogeneous transparent media with refractive indices n_1 and n_3. The origin of the XYZ coordinate system is located at the input boundary of the layer x=0, and the Y axis is perpendicular to the plane of incidence (Fig. 1). A. Generating a set of templates.

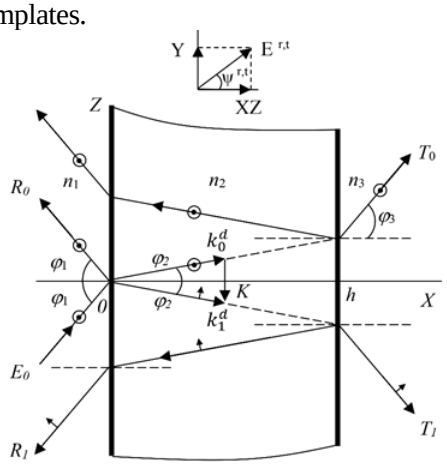


Fig. 1. Scheme of reading the HG in an anisotropic plane-parallel layer (*XZ* – diffraction plane, R_0, R_1 – reflectance coefficients of diffracted waves, T_0, T_1 – transmittance coefficients of diffracted waves, φ_1 (φ_2) – angle of incidence (refraction) at the boundary z=0, φ_3 – angle of refraction at the boundary $z=h$).

During Bragg diffraction of light in a layer, the following condition is imposed on its thickness (h): $h >> 2n_2\Lambda^2/\lambda_0$ [2], where λ_0 is the wavelength of light in a vacuum, Λ is the spatial period of the HG. The refractive index grating created by the HG along the X-axis has the form: $n_2(x) = n_2 + (\Delta n/2n_2)e^{iKx}$, where K is the wave number of the HG, $\Delta n = \Delta\varepsilon_{23}/2n_2$ ($^{\Delta\varepsilon}{}_{23}$ is the component of the perturbation tensor of the dielectric constant of the HG crystal [2, 3]).

Let us assume that the plane light wave with frequency $\omega >> \Omega$ and wave vector $\vec{k}_1 = \vec{e}_x k_{1x} + \vec{e}_y k_{1y}$ ($\vec{e}_x || OX$, $\vec{e}_y || OY$ these are unit vectors, $k_{1x} = kn_1 \cos\varphi_1$, $k_{1z} = kn_1 \sin\varphi_1$, ($k = \omega/c$, $n_1 = \sqrt{\varepsilon_1}$)) has linear polarization with polarization azimuth $\psi_0 = arctg(A_\perp/A_{||})$ ($A_\perp$ and $A_\parallel$ are the amplitudes of the s- and p-components of the incident light, respectively) relative to the diffraction plane XZ and propagates on the plan x=0 at an angle φ_1 to its normal. The angle of refraction $\varphi_2 = arcsin(\sqrt{\varepsilon_1/\varepsilon_2}\sin\varphi_1)$ is equal to the Bragg angle, that is, $\varphi_2 = \varphi_Б = arcsin(K/2k_2)$, where k_2=kn_2 ($n_2 = \sqrt{\varepsilon_2}$).

The solution of the wave equation for the diffracted field of an electromagnetic wave in a layer can be written in the form [5]:

$E = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} A_m(x)\, exp[\, i(k_{mz}z - \omega_m t + \pi m/2),$ (1)

where $k_{mz} = k_{0z} + mK, \omega_m = \omega + m\Omega$.

At $k_{0z} \approx K/2$, from the set (1) of coupled diffracted waves, two most significant ones are distinguished, corresponding to the Bragg diffraction regime with diffraction orders m=0 and m=-1. The Bragg diffraction regime is theoretically possible for the value of the Klein-Cook parameter $Q \geq 1$ ($Q = \lambda_0 h/n_2\Lambda^2$), where $\lambda_0 -$ is the wavelength of light in a vacuum [3, 5]. Taking this into account, the system of equations for coupled waves has the form:

$$\frac{d^2A_0}{dx^2} + k_{0x}^2 A_0 - ik_2^2\eta A_{-1} = 0,$$

$$\frac{d^2A_{-1}}{dx^2} + k_{-1x}^2 A_{-1} + ik_2^2\eta A_0 = 0. \quad (2)$$

Here $k_{0x} = (k_2^2 - k_{0z}^2)^{1/2}$, $k_{-1x} = (k_2^2 - k_{-1z}^2)^{1/2}$, $k_{0z} = k_2 \sin\varphi_2$, $k_{-1z} \approx k_2 \sin\varphi_2$; $\eta = -\Delta n/(n_2 \cos\varphi_2)$,

where the change in the refractive index of an optically isotropic crystal is $\Delta n = -n_2^3 r_{эф} E_{sc}/2$, $r_{эф}$ is the effective photoelastic constant responsible for the anisotropic diffraction of light in a layer with rotation of the plane of polarization of the diffracted wave [3]. In this case, due to the anisotropy of the electro-optic effect, when the incident and diffracted light wave has s-polarization, the diffracted one becomes p-polarized (and vice versa).

The propagation constants of diffracted waves in a layer are found from the solution of the characteristic (dispersion) equation of the system of equations (2). The solution of the dispersion equation can be represented in the form [10]: $k_x^{\pm} = k_2\sqrt{(1 - n_1^2/n_2^2 \sin^2\varphi_1) \pm \eta)}$. By stitching the electric and magnetic field strengths in the layer (see [4, 5]), as well as in the regions x<0 and x>h, we find the reflectance and transmittance coefficients (relative intensities) of the diffracted waves at the layer boundaries. The solution to the system of eight algebraic equations can be found in closed form.

In the case of anisotropic diffraction of an s-polarized incident wave into a p-polarized one at the HG, taking into account the induced electro-optical anisotropy, the amplitude reflectance ($r_{0,1}^s$) and transmittance ($t_{0,1}^s$) coefficients of the diffracted waves have the form:

$$t_0^s = \frac{-(n_1 \cos\varphi_1\, n_2 \cos\varphi_2)\left[\left(e^{-ik_a} + e^{-ik_b}\right) + r_{12}r_{23}\left(e^{ik_a} + e^{ik_b}\right)\right]e^{-ik_3 h}}{(r_{12}r_{23}e^{ik_a} + e^{-ik_a})(e^{-ik_b} + r_{12}r_{23}e^{ik_b})},$$

$$r_0^s = \frac{-\left(e^{-ik_b} + r_{12}r_{23}e^{ik_b}\right)}{\left(e^{-ik_b} + r_{12}r_{23}e^{ik_b}\right)}, \quad (3a)$$

$$t_1^s = \frac{2(n_1 \cos\varphi_1\, n_2 \cos\varphi_2)\left[\left(e^{-ik_a} + e^{-ik_b}\right) + r_{12}r_{23}\left(e^{ik_a} - e^{ik_b}\right)\right]e^{-ik_3 h}}{(r_{12}r_{23}e^{ik_a} + e^{-ik_a})(e^{-ik_b} + r_{12}r_{23}e^{ik_b})},$$

$$r_1^s = \frac{4i(n_1 \cos\varphi_1 n_2 \cos\varphi_2)(n_2 \cos\varphi_2 - n_3 \cos\varphi_3)\sin(k_a - k_b)}{(n_1 \cos\varphi_1 + n_2 \cos\varphi_2)(r_{12}r_{23}e^{ika} + e^{-ika})(e^{-ik_b} + r_{12}r_{23}e^{ik_b})}, \quad (3б)$$

where

$$r_{12} = (n_1 \cos\varphi_1 - n_2 \cos\varphi_2)/(n_1 \cos\varphi_1 + n_2 \cos\varphi_2),$$
$$r_{23} = (n_2 \cos\varphi_2 - n_3 \cos\varphi_3)/(n_2 \cos\varphi_2 + n_3 \cos\varphi_3);$$
$$k_3 = kn_3 \cos\varphi_3; n_3 = \sqrt{\varepsilon_3}; k_{a,b} = k_2 h\sqrt{(1 \mp \eta) - n_1^2/n_2^2 \sin\varphi_1}.$$

In the case of anisotropic diffraction of a p-polarized incident wave into an s-polarized one at the HG, the following substitutions should be made in the expressions for the amplitude of the reflectance coefficients (3): $s \to p, n_{1,2,3}\cos\varphi_{1,2,3} \to 1/(n_{1,2,3}\cos\varphi_{1,2,3})$ [4].

Numerical calculations were carried out for the energy transmittance ($T_0^{s,p}, T_1^{s,p}$) and reflectance ($R_0^{s,p}, R_1^{s,p}$), which are found from the relations [4]:

$$R_{0,1}^{s,p} = \left|r_{0,1}^{s,p}\right|^2, \quad T_{0,1}^{s,p} = \frac{n_3 \cos\varphi_3}{n_1 \cos\varphi_1}\left|r_{0,1}^{s,p}\right|^2. \quad (4)$$

In the absence of HG (Δn=0), expressions (4) for the transmittance coefficients $T_0^{s,p}$ and reflectance coefficients $R_0^{s,p}$ lead to the well-known formulas [4], and first-order diffracted waves are absent ($T_1^{s,p} = R_1^{s,p} = 0$). For the matched layer ($n_1 = n_2 = n_3$) we obtain that $R_0^{s,p} = R_1^{s,p} = 0$, $T_0^s = T_0^p = \cos^2(kn_2\eta/2)$, $T_1^s = T_1^p = \sin^2(kn_2\eta/2)$ [3].

In the case of diffraction on the HG of an incident light wave with a polarization azimuth ψ_0, at the output of the layer (x=h) the plane of polarization of the diffracted wave of the zero and first orders rotates by angles [4]:

$$\psi_{0,1}^r = arctg(|r_{0,1}^s/r_{0,1}^p|tg\psi_0), \psi_{0,1}^t = arctg(|t_{0,1}^s/t_{0,1}^p|tg\psi_0).$$

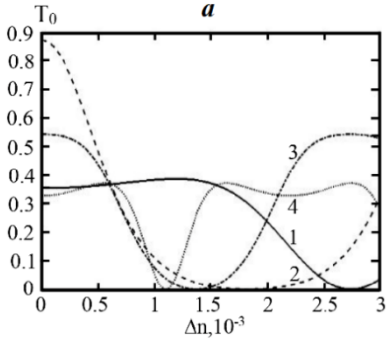
The reflection ($R_{0,1}$) and transmission ($T_{0,1}$) coefficients of diffracted waves at an arbitrary polarization azimuth ψ_0 are found from the relations:

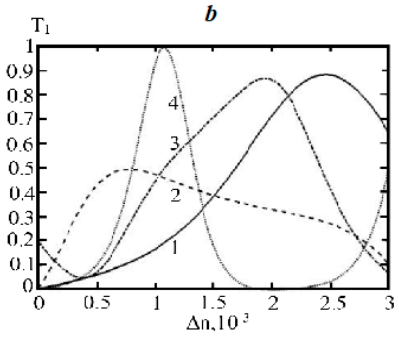
$$R_{0,1} = R_{0,1}^p \cos^2\psi_{0,1}^r + R_{0,1}^s \sin^2\psi_{0,1}^r, T_{0,1} = T_{0,1}^p \cos^2\psi_{0,1}^t + T_{0,1}^s \sin^2\psi_{0,1}^t.$$

It should be noted that the rotation of the plane of polarization of the diffracted light is caused only by Fresnel reflection from the layer boundaries for the mismatched structure ($n_1 \neq n_2 \neq n_3$).

Numerical calculations were performed for a plane-parallel layer of GaAs crystal in the case of anisotropic diffraction of linearly polarized radiation with a wavelength of λ_0 = 1.15 μm on the HG (Fig. 1). It was assumed that the layer of material (n_2=3.18), in which the HG was recorded, bordered on air ($n_1 = n_3$ =1).

Fig. 2 shows the dependence of the transmittance (T_0, T_1) and reflectance (R_0, R_1) coefficients of the occupied HG layer on the photoinduced change in the refractive index Δn at different layer thicknesses h.





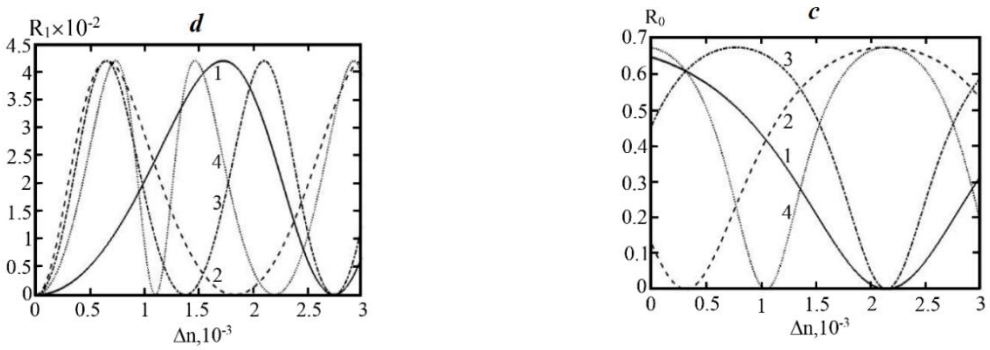


Fig. 2. Dependences of the transmittance (T_0, T_1) and reflectance (R_0, R_1) of the light wave diffracted by the HG in a plane-parallel layer on the photoinduced change in the refractive index Δn for different thicknesses h: 1 (1). 1.5 (2). 2 (3), 2.5 mm (4) (GaAs crystal, n_2=3.18, $n_1 = n_3$ =1, λ_0=1.15 μm, φ_1=2°, ψ_0=90°)

From Fig. 2 it follows that the transmission coefficients of diffracted zero-order waves reach significant values even at small Δn. At $\Delta n \approx 0.53 \cdot 10^{-3}$, the value of $T_0 \approx 0.38$ is independent of the layer thickness h. The transmittance coefficient of the first-order diffracted wave takes on a non-zero value at Δn=0 and layer thickness h=2.5 mm. Note that for the agreed upon structure ($n_1 = n_2 = n_3$) this effect is not realized. Only at h=2.5 mm and $\Delta n \approx 1.2 \cdot 10^{-3}$ does the transmittance reach its maximum value T_1=1. These features of anisotropic Bragg diffraction in the layer are due to the presence of both transmitted waves diffracted by the HG and reflected diffraction orders.

The zero-order diffracted wave reaches significant reflectance coefficients R_0 for small changes in the layer's refractive index Δn. The reflectance coefficient of the first-order diffracted wave R_1 is an order of magnitude smaller than that of the reflected zero-order diffracted wave R_0. Furthermore, for any layer thickness h and change in Δn, the reflectance coefficients R_1 attain identical maximum values.

Fig. 3 shows the dependences of the energy transmittance and reflectance coefficients of diffracted waves of zero and first order on the azimuth of polarization of the incident light ψ_0. For greater clarity, the range of variation of ψ_0 is limited to the interval from 0 to 45°. When ψ_0 changes in the range from 45° to 90°, the nature of the dependencies does not change, and the amplitude of the oscillations and their period remain unchanged.

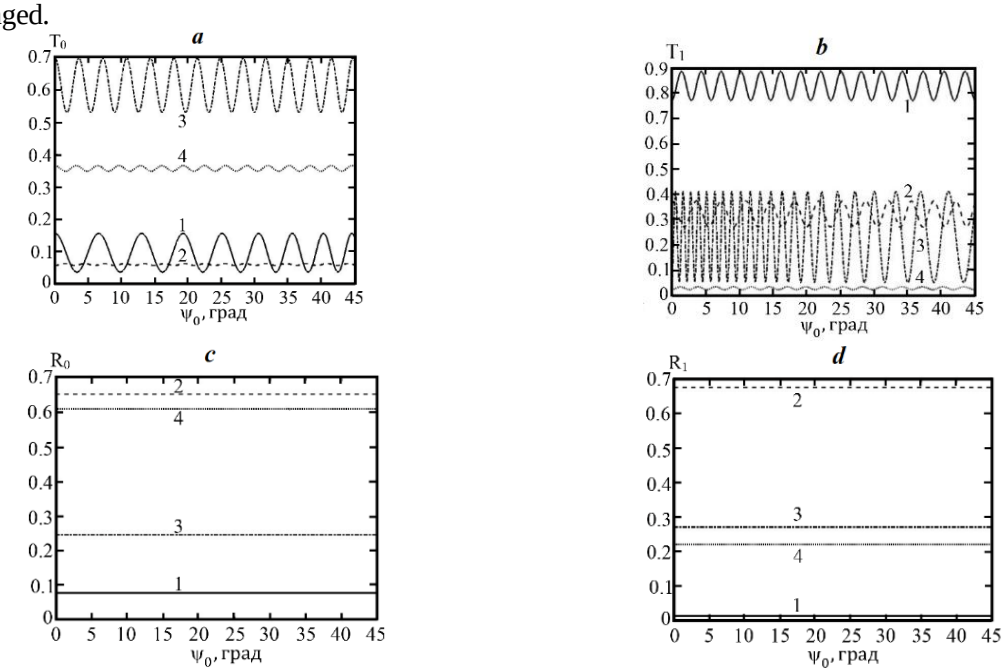


Fig. 3. Dependences of the transmittance (T_0, T_1) and reflectance (R_0, R_1) of the light wave diffracted by the HG in a plane-parallel layer on the azimuth of the incident light polarization ψ_0 for different layer thicknesses h: 1 (1), 1.5 (2), 2 (3), 2.5 mm (4) (GaAs, n_2=3.18, $n_1 = n_3$ =1, λ_0=1.15 μm, φ_1=2°, $\Delta n = 2.5 \cdot 10^{-3}$)

The features of the transmission coefficients (T_0, T_1) of diffracted waves are due to the difference in the transmission coefficients ($T_{0s,p}$, $T_{1s,p}$) for s- and p-polarized light supplied to the modulated HG layer. In this case, the transmittance coefficient of the first-order diffracted wave experiences the greatest oscillations; for h=2 mm, the transmittance coefficient changes from T_1=0.06 to T_1=0.41. The transmittance coefficient T_0 experiences the smallest oscillations at h=1.5 mm. There are no oscillations in the reflectance coefficients of diffracted waves (R_0, R_1) when the polarization azimuth ψ_0 changes. This effect can be considered as a polarization-independent modulation of light in the HG region with a periodically changing refractive index of light. The considered regularities are explained by the nonlinear nature of the dependences of the transmittance and reflectance coefficients of diffracted light on the layer thickness and the modulation amplitude of the HG index for the s- and p-polarized components of the incident wave.

Conclusion

Thus, in this work, the features of anisotropic diffraction of light by a phase grating placed in a layer with a refractive index different from that of the coating and the substrate are investigated. It is shown that for large values of the change in the refractive index of the HG under the conditions of their reading, it is necessary to take into account significant differences in the Fresnel reflectance coefficients of diffracted waves at the boundaries of the plane-parallel layer. The considered features of diffraction by phase gratings can manifest themselves not only under the conditions of the Franz-Keldysh effect [6], near the fundamental absorption edge of a non-centrosymmetric cubic crystal, but also in the creation of optoelectronic devices based on the anomalous electro-optic effect in the vicinity of a second-order phase transition [7].

REFERENCES

1. V.A. Barachevsky “Current State of the Art in the Development of Photosensitive Media (Review)” J. Optics and Spectr. 2018. Vol. 124, No. 3, pp. 371–399.
2. S.M. Shandarov, V.V. Shepelevich and N.D. Khatkov “Change in the Dielectric Constant Tensor in Cubic Photorefractive Crystals under the Action of the Electric Field of a Holographic Grating” J. Optics and Spectr. 1989. Vol. 67, No. 4, pp. 819–822,
3. M.P. Petrov, S.I. Stepanov and A.V. Khomenko “Photosensitive electro-optical media in holography and optical information processing” L.: Science. 1983, 270 p.
4. M. Born and E. Wolf “Fundamentals of Optics”. L.: Science, 1973. 721 p.
5. J.A. Kong “Second-order coupled-mode equations for spatially periodic media”, J. Opt. Soc. Am. 1977. Vol. 67, No 6. pp. 825–829.
6. V.S. Bagaev, Yu.N Berozashvili. and L.V.Keldysh “On the electro-optical effect in GaAs”, JETP Letters. 1966. Vol.4, No. 9. pp. 364-368.
7. A.G. Aronov and G.E. Pikus “Anisotropic electro-optical effects in semiconductors”, Solid State Phys. 1968. Vol. 10, No. 3. pp. 825-832.

CTTS TİPLİ AS 205N ULDUZUNUN PARLAQLIQ ƏYRİSİ

Vəliyev Ü.S
Batabat Astrofizika Rəsədxanası, Naxçıvan Dövlət Univeristeti
N Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanası
ulvuvaliyev89@gmail.com

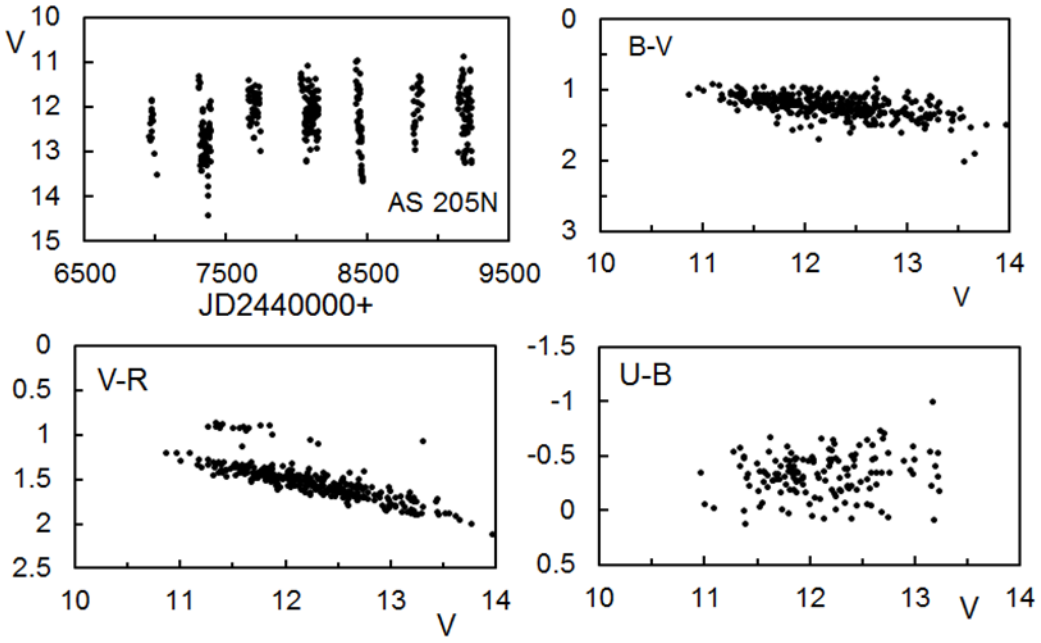
İsmayılov N. Z.
Batabat Astrofizika Rəsədxanası, Naxçıvan Dövlət Univeristeti
N Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanası

Məmmədli A.H.
Batabat Astrofizika Rəsədxanası, Naxçıvan Dövlət Univeristeti
N Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanası

Xülasə
Tədqiq olunan işdə CTTS tipli AS205 N ulduzunun ümumi parlaqlıq əyrilərinə baxılmışdır. Ulduzun illik ulduz ölçüsü 2-3mag dəyidiyi halda orta illik ulduz ölçüsü 1 mag dəyişdiyi müəyyən edilmişdir. AS205N ulduzunun peridunun dəyiməsi 24.71 gün olması müəyyənn edilmişdir. Bu perida uyğun faza diaqramı qurulmuş və dərin minumlar aşkarlanmışdır. Bu peridun ulduzun qoşalığı ilə əlaqdar olması ehtimal edilir.
Açar sözlər: CTTS tipli AS205 N ulduzu, parlaqlıq əyrisi, rəng diaqramı

Giriş. AS 205N (V866 Sco) qoşa tipli K5 spektral sinifli cırtdan, orta parlaqlıqlı, V = 12.4 mag, üçqat sistemdir. AS 205 N-dən 1.3″ (140 ps ≈180 a.v.) bucaq məsafəsində kiçik kütləli K7-M0 spektral qoşa ulduz yerləşir. AS 205N parlaqlıq əyrisində iki sabit dövr (P1 = 6.78 gün və P2 = 24.78 gün) mövcuddur [1]. P1 periodu CTTS ulduzları üçün tipik bir period olub ulduz səthində soyuq ləkələrin olması ilə izah oluna bilər.

Tədqiqat metodu. Bu işdə 7 illik ROTOR müşahidələrindən əldə edilmiş CTTS tipli AS 205N ulduzun (α_{2000} = 16 11 31.34, δ_{2000} = -18° 38’26.00″) ümumi parlaqlıq əyrisinin təhlilinin nəticələri təqdim olunur. UBVRI zolaqlarında cəmi 355 gecəlik müşahidələr üçün hər bir filtrdə bir gecədə bir qiymətləndirmə əldə edilmişdir. Hər il üçün sabit orta parlaqlıq əyriləri ulduzun parlaqlığında əhəmiyyətli illik dəyişikliklər var. Müxtəlif zolaqlarda illik dəyişikliklərin amplitudası V-zolağında 2-3 mag-dır. Şəkil 1-də 7 il (1987-1993) üçün icra edilən JD 2446955-2449235 vaxt intervalı üçün V-zolağında əsas parlaqlıq əyrisini təqdim edirik. Göründüyü kimi, orta illik parlaqlıq əyriləri demək olar ki, dəyişməz olaraq qalır, il ərzində parlaqlıqda əhəmiyyətli dəyişikliklər müşahidə olunur. Məsələn, V diapazonunda parlaqlıq maksimumdan minimuma təxminən 2-3 mag dəyişir [4].



Şəkil 1. 7 il ərzində AS 205N-nin V diapazonunda əsas parlaqlıq əyrisi (yuxarı sol panel) və U-B, B-V və V-R rəng diaqramları V-maqnitudasına qarşı.

Şəkil 1-də. V-yə qarşı U-B, B-V və V-R rəng diaqramları təqdim olunur. B-V və V-R rəng diaqramları V-zolağında parlaqlığına qarşı xətti dəyişikliyi nümayiş etdirir, buna görə də bunu ulduz səthində soyuq ləkə

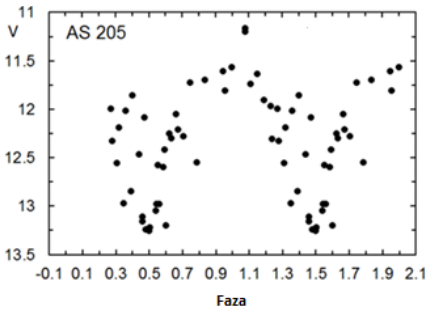
kimi izah etmək olar. V~U-B rəng diaqramı U diapazonunda alovlanmaya bənzər bir aktivlik nümayiş etdirir. Cədvəl 1-də illik parlaqlığın orta qiymətləri və parlaqlığın orta qiymətdən standart sapma təqdim olunur. İllik dəyişkənlik üçün bütün zolaqlarda σ >0,4 mq əldə edilir.

Cədvəl 1. UBVR- zolaqlarında ulduzun orta illik parlaqlığı və onun rms.

Season	V	rms	B	rms	R	rms	U	rms
1	12.462	0.431	13.544	0.516	10.962	0.350	13.190	0.438
2	12.724	0.596	14.032	0.665	11.223	0.769	13.512	0.543
3	12.003	0.343	13.211	0.410	10.616	0.322	12.811	0.403
4	12.079	0.463	13.242	0.533	10.628	0.308	12.868	0.584
5	12.403	0.744	13.651	0.906	11.364	1.092	12.628	0.734
6	12.030	0.493	13.255	0.559	11.036	1.081	12.795	0.416
7	12.122	0.605	13.371	0.694	10.636	0.564	13.153	0.606

Statistik Fourier analizi üzərində işləyən Perio04 dövr axtarış proqramından istifadə edərək, biz hər ilin məlumatları üçün V-parlaqlıq analizini həyata keçirdik. Fərdi illərə aid olan seçilmiş 7 kütləvi massiv arasından biz tez-tez təkrarlanan ən çox ehtimal olunan 3 dövr tapdıq, P1= 6.51±0.6, P2=14.6±1.03 və P3=24.71±0.9 gün. Alınan P1 və P3 dövrləri Artemenko və başqalarının işində əldə edilmiş dövrləri təsdiqləyir [1].

Şəkil 2-də bir il ərzində əldə edilmiş nöqtələr qrupu üçün faza diaqramı göstərilmişdir. Fazalar həm P1, həm də P3 dövrləri üçün hesablanmışdır. Şəkil 2-də 24.71 gün dövrü üçün faza diaqramı göstərilmişdir. Bu da tutulma prosesini V diapazonunda 2 mag olduğu aydın şəkildə görünür. Bu məlumatlar əsasında sistemin ikinci komponentinin parlaqlığını təxmin etmək olur. Əgər AS 205N üçün L=3,98$L_{\odot}$ onda ikinci komponent üçün qəhvəyi cırtdanın parlaqlığına uyğun gələn L=0,6 $L_{\odot}$ ala bilərik [2]. Parlaqlıqdakı dəyişikliklərin miqyası kifayət qədər böyük olduğundan, ulduzun parlaqlığında bu cür dəyişikliklər səthin ləkəli quruluşu ilə izah edilə bilməz. Güman edilir ki, 6 gündən çox olan dövrlər sistemin ikili və ya çoxluğu ilə bağlı ola bilər [3].



Şəkil 2. Tutulma elementləri ilə modeldə hesablanmış 24.71 dövrü üçün faza diaqramı Min I = JD 2447379.36 +24.71E

Nəticə

Ulduzun orta illik parlaqlığı az dəyişdiyi halda illik parlaqlığı 2-3mag dəyişdiyi müəyyən edilmişdir.

AS205 N ulduzunun əvvəl məlum olan 24.78 periodun dəqiqləşdirilmiş və 24.71 gün olduğu müəyyən edilmişdir. Faza qrafiki qurulmuş və dərin minumu aydınlaşdırılmışdır

ƏDƏBİYYAT

1. S. A. Artemenko, K. N. Grankin, P. P. Petrov, A search for Keplerian periods in the brightness variations of T Tauri and Ae Herbig stars. Astronomy Reports, 2010, 54, 163–172.
2. S. A. Artemenko, K. N. Grankin, P. P. Petrov. Rotation effects in classical T Tauri stars. Astronomy Letters, 2012, 38, 12, 783–792.
3. Ismailov N.Z., Valiyev U.S. Summary light curve analysis of the T Tauri typi star AS205N Azerbaijani Astronomical Journal, 2020. 15 (2), p. 75-78.
4. Ismaılov N.Z., Valiyev U.S. Eclipsing event in binary CTTS type star AS 205N Azerbaijani Astronomical Journal, 2021. 16(2), p. 70-79.

S=0 PARTICLE WITH THE COX STRUCTURE AND POLARIZABILITY, IN PRESENCE OF THE UNIFORM MAGNETIC FIELD

Polina Sachenok
Physics and Engineering Faculty, Mozyr State Pedagogical University named after I. P. Shamyakin
Mozyr, Belarus
polinasacenok@gmail.com

Alina Martynenko
Physics and Engineering Faculty, Mozyr State Pedagogical University named after I. P. Shamyakin
Mozyr, Belarus
alisshhaaaa.aaa@gmail.com

Anton Bury
Fundamental Interaction and Astrophysics Center,
B. I. Stepanov Institute of Physics of National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Belarus
anton.buryy.97@mail.ru

Abstract: Within the Gel'fand–Yaglom approach, a relativistic first-order system for a spin-0 particle with Cox structure and polarizability was previously constructed. After eliminating auxiliary variables, a system of five equations was obtained, containing two additional interaction terms. In the present paper, this system is specified to cylindrical coordinates in the presence of a uniform external magnetic field. Separation of variables reduces the problem to a system of five first-order ordinary differential equations in the radial coordinate. This system is further reduced to a single second-order equation for a primary function, which is solved in terms of confluent hypergeometric functions. An energy formula is derived that depends explicitly on the two additional characteristics.
Keywords*: S=0 particle, Cox structure and polarizability, cylindrical coordinates, external magnetic field*

INTRODUCTION

Within the method by Gel'fand – Yaglom [1, 2], in [3] a relativistic first-order system was constructed for a spin 0 particle with two additional characteristics, Cox structure and polarizability. After eliminating the accessory variables of the complete wave function, the system of 5 equations was derived, which includes two additional interaction terms interpreted as related to Cox structure and polarizability [3].

In the present paper, we will specify these equations to the cylindrical coordinates, and in the presence of the external uniform magnetic field. After separating the variables, we derive the system of 5 first order differential equations in polar coordinates. This system may be reduced to a second order equation for a primary function, which is solved in terms of the confluent hypergeometric functions. We derive a formula for energies which depends on two additional characteristics.

SEPARATION OF VARIABLES

In any curvilinear coordinates, the tensor system of equations takes the form

$$D_\alpha \Phi^\alpha - iM\Phi = 0, \quad D_\beta \Phi + ie\gamma F_{\alpha\beta}\Phi^\alpha + ie\sigma D^\alpha F_{\alpha\beta}\Phi - iM\Phi_\beta = 0;$$

note the notations $D_\alpha = \nabla_\alpha + ieA_\alpha$, $\hat{\partial}_\alpha = \partial_\alpha + ieA_\alpha$. In tetrad form [1], equations read

$$\hat{\partial}_{(a)}\Phi^a + e^{(a)\alpha}_{\ \ ;\alpha}\Phi_a - iM\Phi = 0, \qquad \partial_{(c)}\Phi + ie\gamma F_{ac}\Phi^a - iM\Phi_c +$$

$$+ie\sigma[F^a_{\ c}\hat{\partial}_{(a)}\Phi + (\partial_{(a)}F^a_{\ c})\Phi + F^a_{\ c}e^\alpha_{(a);\alpha}\Phi + F^{ab}(e_{(b)\beta;\alpha}e^\beta_{(c)}e^\alpha_{(a)})\Phi] = 0,$$

where we apply the notation $e^\beta_{(c)}\partial_\beta = \partial_{(c)}$, and the short notation for the covariant derivative, $\nabla_\alpha = \alpha$.

Cylindrical coordinates, corresponding tetrad, Ricci rotation coefficients and the uniform magnetic field are determined by relations (we give only the non-zero components)

$$x^\alpha = (t, r, \phi, z), \quad dS^2 = dt^2 - dr^2 - r^2 d\phi^2 - dz^2,$$

$$g_{\alpha\beta}=\begin{vmatrix}1&0&0&0\\0&-1&0&0\\0&0&-r^2&0\\0&0&0&-1\end{vmatrix},\quad g_{\alpha\beta}=\eta^{ab}e_{(a)\alpha}e_{(b)\beta},\quad e^{\alpha}_{(a)}=\begin{vmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&\frac{1}{r}&0\\0&0&0&1\end{vmatrix},$$

$$\gamma_{122}=\frac{1}{r},\quad \gamma_{122}=-\gamma_{212}=+\gamma_{21}{}^{2}=e^{\alpha}_{(1);\alpha}=\frac{1}{r},$$

$$A_{\phi}=-Br^2/2,\ \ F_{12}=e^{r}_{(1)}e^{\phi}_{(2)}F_{r\phi}=-B.$$

We readily find an explicit form of the above equations for the case under consideration

$$\partial_0\Phi_0-(\partial_r+\frac{1}{r})\Phi_1-\frac{1}{r}\hat{\partial}_{\phi}\Phi_2-\partial_z\Phi_3-iM\Phi=0,$$

$$\begin{vmatrix}\partial_0\Phi\\ \partial_r\Phi\\ \frac{1}{r}\hat{\partial}_{\phi}\Phi\\ \partial_z\Phi\end{vmatrix}+ie\gamma B\begin{vmatrix}0\\-\Phi_2\\+\Phi_1\\0\end{vmatrix}+ie\sigma B\begin{vmatrix}0\\-\frac{1}{r}\hat{\partial}_{\phi}\Phi\\+\partial_r\Phi\\0\end{vmatrix}-iM\begin{vmatrix}\Phi_0\\\Phi_1\\\Phi_2\\\Phi_3\end{vmatrix}=0,$$

where $\hat{\partial}_{\phi}=\partial_{\phi}+ieBr^2/2,$ the parameter σ is responsible for polarizability, while γ corresponds to the Cox structure. The Cox structure describes the finite spatial distribution of the particle's electric charge. Let us apply the substitution (they correspond to diagonalization of operators of energy, third projection of the total angular momentum and the third projection of the linear momentum)

$$\Psi=\begin{vmatrix}H_1\\H_2\end{vmatrix},\quad H_1=e^{-i\grave{o}t}e^{im\phi}e^{ikz}f(r),\quad H_2=e^{-i\grave{o}t}e^{im\phi}e^{ikz}\begin{vmatrix}f_0(r)\\f_1(r)\\f_2(r)\\f_3(r)\end{vmatrix};$$

taking in mind the notation $i\dfrac{m+eBr^2/2}{r}=i\mu(r)$ we get 5 equations

$$\grave{o}f+Mf_0=0,\qquad kf-Mf_3=0,$$

$$-i\grave{o}f_0-(\frac{d}{dr}+\frac{1}{r})f_1-\frac{1}{r}i\mu f_2-ikf_3-iMf=0,$$

$$(\frac{d}{dr}+e\sigma B\frac{\mu}{r})f-ie\gamma Bf_2-iMf_1=0,$$

$$i(\frac{\mu}{r}+e\sigma B\frac{d}{dr})f+ie\gamma Bf_1-iMf_2=0.$$

EXACT SOLUTIONS AND ENERGY SPECTRUM

Eliminating the variables f_0, f_3, we derive the system of 3 equations for f, f_1, f_2:

$$+i\grave{o}\frac{\grave{o}}{M}f-(\frac{d}{dr}+\frac{1}{r})f_1-\frac{1}{r}i\mu f_2-ik\frac{k}{M}f-iMf=0;\quad (1)$$

$$(\frac{d}{dr}+e\sigma B\frac{\mu}{r})f-ie\gamma Bf_2-iMf_1=0,\quad i(\frac{\mu}{r}+e\sigma B\frac{d}{dr})f+ie\gamma Bf_1-iMf_2=0.$$

For physical reasons we make the change $\gamma\to i\gamma$, then we get

$$f_1=\frac{1}{M^2-e^2\gamma^2B^2}[-ie\gamma B(\frac{\mu}{r}+e\sigma B\frac{d}{dr})-iM(\frac{d}{dr}+e\sigma B\frac{\mu}{r})]f,$$

$$f_2=\frac{1}{M^2-e^2\gamma^2B^2}[e\gamma B(\frac{d}{dr}+e\sigma B\frac{\mu}{r})+M(\frac{\mu}{r}+e\sigma B\frac{d}{dr})]f.$$

We substitute this result into the first equation in (1), allowing for the explicit form of $\mu(r)$: $\mu(r) = m + \frac{eBr^2}{2}$; in this way we derive a second-order equation for the function $f(r)$,

$$\frac{d^2 f}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{df}{dr} + (-\frac{m^2}{r^2} - \frac{e^2 B^2 r^2}{4} + A) f = 0,$$

where

$$A = -meB + \frac{e^2 B^2 (\sigma M + \gamma)}{M + e^2 \gamma \sigma B^2} + \frac{\left(\dot{o}^2 - k^2 - M^2\right)\left(-e^2 \gamma^2 B^2 + M^2\right)}{M\left(M + e^2 \gamma \sigma B^2\right)}.$$

In the variable $x = eBr^2/2$, the last second-order equation reads

$$\frac{d^2 f}{dx^2} + \frac{1}{x}\frac{df}{dx} + (-\frac{1}{4}\frac{m^2}{x^2} - \frac{1}{4} + \frac{A}{2eBx}) f = 0;$$

its solution is sought in the form $f = x^a e^{cx} F(x)$:

$$x\frac{d^2 F}{dx^2} + \left(2a + 1 + 2cx\right)\frac{dF}{dx} + [(c^2 - \frac{1}{4})x + \frac{4a^2 - m^2}{4x} + 2ac + c + \frac{A}{2eB}]F = 0.$$

Let $a = |m/2|, c = -1/2$, then the equation simplifies

$$x\frac{d^2 F}{dx^2} + \left(2a + 1 - x\right)\frac{dF}{dx} + (-a - \frac{1}{2} + \frac{A}{2eB})F = 0;$$

it is the confluent hypergeometric equation

$$x\frac{d^2 F}{dx^2} + (\beta - x)\frac{dF}{dx} - \delta F = 0, \quad \beta = 2a + 1, \quad \delta = a + \frac{1}{2} - \frac{A}{2eB}.$$

Imposing the usual polynomial requirement $\delta = -n$,

$$a + \frac{1}{2} - \frac{A}{2eB} = -n \quad \Rightarrow \quad \frac{|m|}{2} + \frac{1}{2} - \frac{A}{2eB} = -n, \quad n = 0,1,2,...;$$

and allowing for explicit form of A, we obtain the following expression for the energy levels

$$\dot{o}^2 - M^2 - k^2 = (1 - \frac{\gamma^2 B^2}{M^2})^{-1}[\frac{2BN}{M^2}(1 + \sigma B\frac{\gamma B}{M}) - B(\sigma B + \frac{\gamma B}{M})],$$

where $N = (2n + |m| + m + 1)/2, n = 0,1,2,...;$ parameter N takes half-integer values: $N = 1/2, 3/2, ...$

In this presentation, we can readily describe conditions when the influence of the additional characteristics γ and σ will be small:

$$B\sigma << 1 \Rightarrow \sigma << \frac{1}{B}; \qquad \frac{B\gamma}{M} << 1.$$

Let us transform the last formulas to dimensionless quantities (from now on we set $\hbar = c = M = 1$):

$$E = \frac{\dot{o}}{M}, \quad K = \frac{k}{M}, \quad x = \frac{X}{M^2}, \quad b = \frac{B}{M^2}, \quad M\gamma = \Gamma, \quad M^2\sigma = \Sigma, \quad \frac{B\gamma}{M} = b\Gamma, \quad B\sigma = b\Sigma.$$

The influence of additional characteristic is small if two inequalities are satisfied

$$\Gamma << \frac{1}{b}, \quad \Sigma << \frac{1}{b}.$$

In dimensionless form, we get the following expression for energy levels

$$E = \sqrt{1 + K^2 + \frac{1}{1 - b^2\nu^2}[x(1 + b\Sigma \cdot b\Gamma) - b(b\Sigma + b\Gamma)]}, \quad x = 2bN.$$

Let us study this spectrum numerically for two sets of parameters:

$$\Sigma = 0, \quad \Gamma = 0, \quad K = 0.1, \quad b = 0.2, \quad N = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, ..., \frac{15}{2},$$

$$E = 1.1, \ 1.268, \ 1.417, \ 1.552, \ 1.676, \ 1.791, \ 1.9, \ 2.0025;$$

$\Sigma = 0.02, \quad \Gamma = 0.02, \quad K = 0.1, \quad b = 0.2, \quad N = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, ..., \frac{15}{2},$

$E = 1.099, \ 1.268, \ 1.417, \ 1.551, \ 1.675, \ 1.791, \ 1.899, \ 2.002.$

CONCLUSION

Thus, the problem of a spin-0 particle with Cox structure and polarizability in a uniform magnetic field has been solved exactly in cylindrical coordinates. The obtained energy spectrum depends explicitly on the two additional parameters, and conditions under which their influence remains small are established.

REFERENCES

[50] V. V. Kisel, E. M. Ovsiyuk, O. V. Veko, Y. A. Voynova, V. Balan, and V.M. Red'kov, "Elementary Particles with Internal Structure in External Fields. Vol I. General Theory," New York: Nova Science Publishers Inc., 2018, 402 p.

[51] V. V. Kisel, E. M. Ovsiyuk, O. V. Veko, Y. A. Voynova, V. Balan, and V.M. Red'kov, "Elementary Particles with Internal Structure in External Fields. Vol II. Physical Problems," New York: Nova Science Publishers Inc., 2018, 404 p.

[52] E. M. Ovsiyuk, P. O. Sachenok, A. S. Martynenko, and A. V. Ivashkevich, "Scalar particle with the Cox structure and polarizability, in presence of the uniform magnetic field," in Book of Abstract of XXII International conference: Foundation Advances in Nonlinear Science and VII International Symposium Advances in Nonlinear Photonics, Minsk, September 23-27, 2024, A. L. Tolstik and G. G. Krylov, Eds., BSU, 2024, p. 26.

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF VISCOUS FLOW ACTIVATION PARAMETERS IN AQUEOUS SOLUTIONS OF MONOATOMIC ALCOHOLS

Fidan Gurbanova
Department of Material Structure, Faculty of Physics
Baku State University
Baku, Azerbaijan
fidan.qurbanova@outlook.com
Alim Hasanov
Department of Material Structure, Faculty of Physics
Baku State University
Baku, Azerbaijan
0009-0001-9255-9754
Khavar Hasanova
Department of Material Structure, Faculty of Physics
Baku State University
Baku, Azerbaijan
0009-0003-2334-3049

Abstract: Monoatomic alcohol-water mixtures exhibit highly non-ideal thermodynamic and kinetic behaviors due to the complex interplay of hydrogen bonding and hydrophobic hydration. This study systematically investigates the macroscopic flow properties and microstructural rearrangements of aqueous solutions of methanol, ethanol, and n-propanol. By measuring dynamic viscosity and density over a wide range of concentrations and applying the Frenkel-Eyring absolute rate theory, the activation parameters of viscous flow ($\Delta G^{\ddagger}$, $\Delta H^{\ddagger}$, $\Delta S^{\ddagger}$) were calculated. The results demonstrate a monotonic increase in the activation free energy with alcohol concentration, primarily explained by steric hindrance and the enthalpy-entropy compensation effect. Conversely, the activation enthalpy and entropy display pronounced non-

linear maxima in the concentration range of 20-30 mass %. These sharp peaks indicate the formation of rigid, ice-like clathrate water cages around the hydrophobic alkyl chains, highlighting a state of maximum structural ordering prior to network disruption. The structuring effect intensifies with the increasing length of the carbon chain from methanol to propanol.

***Keywords**: aqueous solutions, monoatomic alcohols, dynamic viscosity, activation parameters, hydrophobic hydration, Frenkel-Eyring theory*

Introduction

Water is a unique solvent characterized by highly anomalous physical and thermodynamic properties, which fundamentally arise from its highly cooperative, three-dimensional hydrogen-bonding network. The tetrahedral arrangement of water molecules creates a dynamic and resilient structural matrix that plays a crucial role in various physical, chemical, and biological processes. The introduction of a secondary component, such as monoatomic alcohols, into pure water induces significant reorganizations at the molecular level. Monoatomic alcohols, such as methanol, ethanol, and propanol, are amphiphilic molecules possessing both a hydrophilic hydroxyl (-OH) group and a hydrophobic alkyl radical. This dual nature dictates their behavior in aqueous environments. At low concentrations, the hydroxyl groups of alcohol molecules readily integrate into the existing water network by forming new alcohol-water hydrogen bonds. However, as the mole fraction of the alcohol increases, the presence of the hydrophobic alkyl chains begins to geometrically deform and disrupt the initial framework of the water network. To minimize thermodynamically unfavorable interactions with the non-polar alkyl chains, surrounding water molecules undergo a process known as hydrophobic hydration. During this process, water molecules reorganize themselves to form highly ordered, rigid, clathrate-like cages around the hydrophobic segments. This phenomenon significantly alters the macroscopic parameters of the solution, including its density, thermal capacity, and particularly its dynamic viscosity.

Viscosity serves as a highly sensitive macroscopic indicator of internal molecular friction and structural stability. In liquid media, internal friction is directly dependent on the nature and strength of attractive intermolecular forces. To mathematically and physically interpret the temperature and concentration dependence of viscosity, the Frenkel-Eyring transition state theory is widely utilized. According to this model, the viscous flow of a liquid involves molecules temporarily passing through a transition state to jump from one equilibrium position to another, which requires overcoming a specific potential energy barrier. By applying this theory, it is possible to calculate the kinetic activation parameters of the viscous flow, namely the activation Gibbs free energy ($\Delta G^{\ddagger}$), activation enthalpy ($\Delta H^{\ddagger}$), and activation entropy ($\Delta S^{\ddagger}$). These parameters differ fundamentally from classical thermodynamic state variables, as they specifically characterize the kinetic energy barriers related to structural rearrangements during the fluid's flow. The primary objective of this study is to systematically evaluate the effect of temperature and concentration on the structural state of methanol-water, ethanol-water, and propanol-water solutions. By quantifying the activation parameters ($\Delta G^{\ddagger}$, $\Delta H^{\ddagger}$, $\Delta S^{\ddagger}$), this research aims to provide a deep thermodynamic understanding of the hydrogen bond network's reorganization, clathrate cage formation, and the subsequent destructuring processes governed by the carbon chain length of the respective alcohols.

Research method

To accurately investigate the structural features of monoatomic alcohol-water systems, solutions of varying concentrations were prepared using analytical-grade monoatomic alcohols (methanol, ethanol, and propanol) and distilled water. The concentrations were calculated based on mass fractions, ranging from 0.00 to 0.50. The components were weighed with high precision on an analytical balance (± 0.0001 g) to minimize measurement errors. The mixtures were mechanically stirred using a magnetic stirrer in closed glass flasks until complete homogenization was achieved. Prior to the measurements, all prepared samples were kept at room temperature for a specific period to reach thermodynamic equilibrium, preventing any non-equilibrium effects or structural deviations during the dissolution process. The density of the solutions was determined using the pycnometric method based on volume changes. The density (ρ) was calculated using the following equation:

$$\rho = \frac{(m_2 - m_0)}{(m_1 - m_0)} \cdot \rho_{water}$$

where m_0 is the mass of the empty pycnometer, m_1 is the mass of the pycnometer filled with distilled water, m_2 is the mass of the pycnometer filled with the solution, and ρ_{water} represents the density of water

at the corresponding temperature. The dynamic viscosity of the solutions was determined using a classic hydrodynamic approach, specifically capillary viscometry with an Ubbelohde viscometer. The method is based on Poiseuille's law for the laminar flow of a liquid through a capillary. The dynamic viscosity (η) is expressed in a simplified form as:

$$\eta = k\rho\tau$$

where k is the viscometer constant, ρ is the density of the liquid, and τ is the flow time. Since the viscometer constant was initially unknown, relative measurements were conducted using distilled water as the reference (etalon) liquid. The viscosity of the studied solution was then calculated as:

$$\eta = \eta_{et}\frac{\rho\tau}{\rho_{et}\tau_{et}}$$

where η_{et}, ρ_{et}, and τ_{et} are the dynamic viscosity, density, and flow time of the reference liquid, respectively. To ensure high accuracy, the viscometer was placed in a thermostated water bath, and measurements were recorded at precisely controlled temperatures. The determination of the activation parameters of viscous flow—specifically the activation Gibbs free energy ($\Delta G^{\ddagger}$), activation enthalpy ($\Delta H^{\ddagger}$), and activation entropy ($\Delta S^{\ddagger}$)—was conducted based on the Frenkel-Eyring absolute rate and transition state theory. According to this theory, the Gibbs free energy required for a molecule to overcome the energy barrier and jump to an adjacent equilibrium position during flow is calculated as:

$$\Delta G_{\eta}^{*} = RT\, ln\frac{\eta}{\eta_0}$$

where R is the universal gas constant, T is the absolute temperature, and η_0 is the pre-exponential factor. The parameter η_0 is defined according to Eyring's theory as:

$$\eta_0 = \frac{N_A h\rho}{M}$$

where N_A is Avogadro's number, h is Planck's constant, and M is the molar mass. The activation enthalpy ($\Delta H^{\ddagger}$) was derived from the temperature dependence of viscosity. It is defined by the relation:

$$\Delta H_{\eta}^{*} = R\frac{d\, ln\frac{\eta}{\eta_0}}{d\,(\frac{1}{T})}$$

To perform this calculation, a graphical dependence of $\ln\eta/\eta_0$ versus 1/T was plotted, and the experimental points were approximated using mathematical optimization into a polynomial form:

$$ln\frac{\eta}{\eta_0} = a_0 + a_1\left(\frac{1}{T}\right) + a_2\left(\frac{1}{T}\right)^2 + a_3\left(\frac{1}{T}\right)^3$$

where a_0, a_1, a_2, and a_3 are temperature-independent empirical coefficients. Substituting this expression into the enthalpy equation yields:

$$\Delta H_{\eta}^{*} = R\left(a_1 + 2a_2\left(\frac{1}{T}\right) + 3a_3\left(\frac{1}{T}\right)^2\right)$$

Finally, once the activation free energy and enthalpy were known, the activation entropy ($\Delta S^{\ddagger}$) characterizing the disorder during the flow process was calculated using the fundamental thermodynamic relation:

$$\Delta S_{\eta}^{*} = \frac{\Delta H_{\eta}^{*} - \Delta G_{\eta}^{*}}{T} = \frac{R}{T}\frac{d\ln\frac{\eta}{\eta_0}}{d\,(\frac{1}{T})} - R\ln\frac{\eta}{\eta_0}$$

This set of parameters allows for a comprehensive assessment of the microstructural stability and cooperative molecular interactions in the monoatomic alcohol-water systems.

Results and discussion

To quantitatively evaluate the relationship between the macroscopic flow properties and the microstructural changes in the studied solutions, the activation parameters ($\Delta G^{\ddagger}$, $\Delta H^{\ddagger}$, $\Delta S^{\ddagger}$) were calculated for methanol-water, ethanol-water, and propanol-water systems. The resulting values at various mass concentrations (x) are summarized in Table 1.

Table 1. Viscous flow activation parameters of alcohol-water mixtures at varying concentrations.

x	Methanol-water			Ethanol-water			Propanol-water		
0.00	9.161	15.230	19.92	9.164	15.626	19.96	9.169	16.725	19.98
0.05	9.582	16.647	23.61	9.751	17.546	26.46	9.980	19.977	32.38
0.10	10.022	18.117	26.19	10.357	20.024	32.90	10.852	23.703	43.13
0.15	10.439	19.236	29.16	10.955	22.361	37.77	11.654	26.457	49.49
0.20	10.810	19.523	29.73	11.538	23.244	39.93	12.483	27.844	52.41
0.25	11.056	19.803	29.82	11.917	24.305	42.20	13.247	28.718	52.87
0.30	11.184	19.540	28.37	12.288	24.963	43.48	13.498	28.204	49.91
0.35	11.272	19.014	26.42	12.561	24.425	40.72	13.653	27.402	46.37
0.40	11.353	18.443	24.21	12.654	23.707	37.63	13.849	26.082	41.80
0.45	11.422	17.832	21.74	12.781	22.813	34.19	13.966	24.864	36.70
0.50	11.481	17.102	19.17	12.885	21.665	30.47	14.083	23.621	32.56

A detailed analysis of the activation free energy ($\Delta G^{\ddagger}$) reveals a continuous, monotonic upward trend as the concentration of alcohol increases in all three systems. From a physical perspective, the free energy of activation represents the total energy barrier a molecule must overcome to detach from its current equilibrium position and move into an adjacent void within the liquid lattice. The monotonic increase in $\Delta G^{\ddagger}$ is primarily driven by steric hindrance: alcohol molecules are significantly larger and bulkier than water molecules. Consequently, as the carbon chain elongates from methanol to propanol, the molecules occupy more spatial volume. For such large molecules to flow and slide forward, substantially larger voids must be created within the hydrogen-bond network of water, which intrinsically demands a higher energy input from the system. The absence of sharp peaks in the $\Delta G^{\ddagger}$ trend is attributed to the thermodynamic phenomenon known as the enthalpy-entropy compensation effect. The thermal energy expended to break the structural network (enthalpy) is effectively balanced by the resulting increase in systemic disorder (entropy), allowing the free energy to rise smoothly without abrupt discontinuities.

In stark contrast to the free energy, the activation enthalpy ($\Delta H^{\ddagger}$) and activation entropy ($\Delta S^{\ddagger}$) do not follow a linear or smooth trajectory. Instead, both parameters exhibit a pronounced, sharp maximum in the concentration range of 0.20 to 0.30 mass fractions. This anomalous thermodynamic behavior provides direct macroscopic evidence of a fundamental microstructural process known as hydrophobic hydration. When small amounts of alcohol (around 20-30%) are introduced into pure water, the highly polar water molecules thermodynamically resist interaction with the non-polar (hydrophobic) alkyl chains of the alcohols. To minimize this unfavorable contact, water molecules spontaneously reorganize and aggregate tightly around the alcohol's alkyl radical, forming perfectly ordered, rigid, ice-like clathrate cages. During viscous flow, the liquid layers must slide past one another; however, disrupting these exceptionally rigid and stable clathrate cages requires an anomalously high amount of thermal energy. Consequently, the energetic demand surges in the 20-30% concentration zone, resulting in the observed peak in the $\Delta H^{\ddagger}$ values. Simultaneously, the activation entropy ($\Delta S^{\ddagger}$)—which measures the degree of chaos or disorder generated during the flow process—mirrors this peak. At the 20-30% concentration, the system exists in a highly ordered, stable cage-like state. When sufficient energy is applied to initiate flow, this perfect structural order abruptly ruptures, causing a sudden and massive transition from an ordered micro-environment to a chaotic, flowing state. This abrupt loss of order triggers a massive spike in the system's entropy, generating the prominent maximum observed in the $\Delta S^{\ddagger}$ data. The intensity of these structural reorganizations is heavily dependent on the length of the alcohol's carbon chain. A comparative analysis reveals that propanol, possessing the longest alkyl chain, induces the formation of the largest and thickest clathrate water cages. Therefore, breaking the propanol-water network requires the highest activation enthalpy, and its subsequent structural collapse generates the highest entropy peak among the studied alcohols. However, as the alcohol concentration exceeds the critical 30% threshold, a completely different thermodynamic regime emerges. At higher concentrations, there is a severe depletion of free water molecules available to construct and maintain these extensive clathrate cages. Consequently, the previously established rigid network begins to collapse internally, and the intermolecular hydrogen bonds significantly weaken. Because the internal structure is already in a disrupted and chaotic state prior to flow, the transition

to the flowing state requires less energy and generates a much smaller difference in chaos. This destructuring phase is clearly marked by the rapid and continuous decline of both $\Delta H^{\ddagger}$ and $\Delta S^{\ddagger}$ beyond the 0.30 mass fraction.

Conclusion

This study successfully applied the Frenkel-Eyring absolute rate theory to macroscopic dynamic viscosity measurements, providing a profound quantitative understanding of the microstructural dynamics in monoatomic alcohol-water mixtures. The non-linear behavior of the viscous flow activation parameters ($\Delta H^{\ddagger}$ and $\Delta S^{\ddagger}$) serves as a highly sensitive and reliable indicator of complex spatial rearrangements, particularly the phenomenon of hydrophobic hydration. The distinct thermodynamic maxima observed at 20-30% alcohol concentrations conclusively confirm the formation of rigid, ice-like clathrate cages around the hydrophobic alkyl chains. This structuring effect is significantly amplified by the elongation of the carbon chain, as transitioning from methanol to propanol increases the spatial volume and the consequent geometric deformation of the water matrix. Furthermore, the continuous, monotonic increase in the activation free energy ($\Delta G^{\ddagger}$) across this critical concentration range directly highlights the enthalpy-entropy compensation effect. The tremendous thermal energy required to rupture these highly ordered water cages during viscous flow is thermodynamically balanced by the abrupt and massive increase in systemic disorder upon transitioning to a fluid state. Beyond this critical threshold, the lack of sufficient solvent molecules leads to the inevitable destructuring and collapse of the hydrogen-bond network. The internal framework breaks down from within, resulting in a rapid decline in both activation enthalpy and entropy. The reliability of tracking these continuous dynamic crossovers was unconditionally validated through the structural temperature methodology. Specifically, the perfect linearity observed in the temperature dependence of the $1/\ln\eta/\eta_0$ parameter for the 20% solutions mathematically proves that macroscopic viscosity measurements can serve as highly accurate probes for microscopic cooperative reorganizations in associated liquids. Ultimately, these findings hold exceptional significance not only for physical chemistry but also for the biophysics of complex systems. The dynamics of clathrate formation and structural destructuring observed in these simple alcohol-water systems act as a fundamental baseline model for understanding hydrophobic hydration mechanisms in living cells. Because water serves as the indispensable matrix for biological functions, understanding its structural elasticity and energetic response to amphiphilic molecules provides critical insights into processes such as proper protein folding, the stabilization of three-dimensional biomolecular structures, and the regulation of cell membrane permeability. Moreover, these quantitative thermodynamic models offer a robust scientific foundation for optimizing technological processes that rely on mixed aqueous solvents, ranging from pharmaceutical synthesis and drug delivery formulations to industrial separation technologies.

REFERENCES

1. Eyring, H. Viscosity, plasticity, and diffusion as examples of absolute reaction rates. *The Journal of Chemical Physics*. 1936.
2. Eisenberg, D., & Kauzmann, W. The Structure and Properties of Water. *Oxford: Oxford University Press*, 1969.
3. Motin, M. A., et al. Viscosities and excess viscosities of methanol, ethanol and n-propanol in water at different conditions. 2005.
4. González, B., Calvar, N., Gómez, E., & Domínguez, Á. Density, dynamic viscosity, and derived properties of binary mixtures of methanol or ethanol with water. 2007.
5. Shaikh, M., et al. Density, viscosity and activation parameters of viscous flow in ethanol–water mixtures. 2011.
6. dos Santos, L. J., et al. Theoretically consistent calculation of viscous activation parameters from viscosity experimental data. *Journal of Fluid Mechanics*, 2020.
7. Yang, B., et al. Roles of hydrogen bonding interactions and hydrophobic effects in aqueous organic solutions. 2023.
8. Bakó, I. K., et al. Molecular-level insights to structure and hydrogen bonds in alcohol–water mixtures. *Journal of Molecular Liquids*, 2024.

KNO_3-$AgNO_3$ BƏRK MƏHLULLARINDA FAZA ÇEVRİLMƏLƏRİNİN XARAKTERİK XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Razim Bayramlı
Bakı Mühəndislik Unuversiteti
Fizika kafedrası
Xırdalan, Azərbaycan
rabayramov@beu.edu.az

Emin Nəsirov
Heydər Əliyev adına Hərbi İnstitut
Elmi Tədqiqat Şöbəsi
Bakı, Azərbaycan
emin-nasirov@inbox.ru

Ülviyyə Bayramlı
Bakı Hərbi Kolleci
İnformasiya texnologiyaları
Bakı, Azərbaycan
bayramliulviyye13@gmail.com

Ləman Hacıyeva
Bakı Mühəndislik Unuversiteti
Fizika kafedrası
Xırdalan, Azərbaycan
lahaciyeva@beu.edu.az

Xülasə: İzotermik kristallaşma üsulu ilə yetişdirilən KNO_3-$AgNO_3$, bərk məhlul monokristallarında optik mikroskopik və rentgenoqrafik tədqiqatlar nəticəsində həmin nümunələrdə polimorf çevrilmələr üçün xarakterik olan bir sıra xüsusiyyətlər müəyyən edilişdir: KNO_3-də K^+ ionlarının Ag^+ ionları ilə qismən əvəz olunması qarşılıqlı çevrilən modifikasiya kristalları arasında tarazlıq temperaturunun dəyişməsinə səbəb olur. Çevrilmə temperaturu böyüyür, çoxrüşeyimli çevrilmə baş verir. Nümunələrin heç birində II-I polimorf çevrilmə zamanı I -modifikasiya kristalının ritmik böyüməsi və eləcə də kristal soyudulan zaman I və II modifikasiyalar arasında romboedrik III modifikasiya kristalı müşahidə olunmur. Morfoloji və rentgenoqrafik tədqiqatlar göstərir ki, tədqiq olunan nümunələrdə polimorf çevrilmələr enantiotrop olub, monokristal-monokristal tiplidir və qarşılıqlı çevrilən modifikasiya kristalları arasında kristalloqrafik istiqamət əlaqələri saxlanılır.

Açar sözlər: *monoktistal, modifikasiya, polimorf çevrilmə, faza, kristal böyüməsi*

I. GİRİŞ

Qələvi metalların nitrat birləşmələrində polimorf çevrilmələrin öyrənilməsi elmi və praktiki maraq kəsb edir. Əla pyezoelektrik və ferroelektrik xüsusiyyətlərinə görə birləşmələrin texnoloji imkanları elektro-cihazlarda (kondensatorlar, lazerlərin tətbiqi) aktiv element kimi (KNO_3- III faza ferroelektrik) istifadə olunmağa böyük imkanlar yaradır [1-4]. Bundan əlavə həmin birləşmələr pirotexnikada, metallurgiyada, analitik kimya və dərman preporatlarının hazırlanmasında istifadə olunan güçlü oksidləşdirici maddələrdir [5]. Kalium duzları konversiya qurğularının, yaddaş elementlərinin və radiasiya istilik ötürücü qurğuların istehsalında istifadə olunur [6]. Biosensorlar və kimyəvi sensorlar üçün ideal antimikrobiyal xüsusiyyətlərə malik materiallara $AgNO_3$-də daxildir [7].

Polimorf çevrilmələrin mexanizmini araşdırmaq üçün bu çevrilmələr zamanı yeni kristal böyüməsinin morfologiyasını, modifikasiyalar arasında kristalloqrafik istiqamət əlaqələrini, habelə prosesin kinetikasını tədqiq etmək lazımdır. Bu baxımdan optik şəffaf kristallardan tədqiqat obyekti kimi istifadə etmək əlverişlidir [8]. Qələvi metalların nitrat birləşmələri bu qəbildən maddələr olub, onlarda quruluş çevrilmələrinin tədqiqinə çoxsaylı tədqiqat işləri həsr olunmuş və alınan nəticələrin xülasəsi [9]-də öz əksini tapmışdır.

İzotermik kristallaşma üsulu ilə yetişdirilən KNO_3-$RbNO_3$, bərk məhlul monokristallarında optik mikroskopik və rentgenoqrafik tədqiqatlar nəticəsində həmin nümunələrdə polimorf çevrilmələr üçün xarakterik olan bir sıra xüsusiyyətlər müəyyən edilişdir. Təqdim olunan işdə həmin xüsusiyyətlər müxtəlif tərkiblərin nümunəsi ilə verilmişdir. Hər şeydən əvvəl qeyd edək ki, qələvi metalların nitrat birləşmələrinin hər biri ayrı-ayrılıqda iki və ya bir neçə polimorf modifikasiyaya malikdir.

Kalium nitrat atmosfer təzyiqində üç müxtəlif polimorfik formada mövcutdur [10]. ~299K temperaturunda II faza, α-KNO_3, qəfəs parametrləri a=5,414 Å, b=9,164 Å və c=6,431 Å, fəza qrupu Pmcn olan ortorombik (araqonit) quruluşa malikdir [11, 12]. T>403 K temperaturda I faza, β-KNO_3, qəfəs parametrləri a=5,42 Å və c=19,41 Å fəza qrupu R-3m olan romboedrik (kalsit) quruluşu çevrilir [13]. Digər tərəfdən, soyuma zamanı I faza əvvəlcə ~397 K -də III fazaya (ferroelektrik faza), sonra isə təxminən ~383 K (γ-KNO_3, qəfəs parametrləri a=5,43 Å və c=9,112 Å, fəza qrupu R3m olan romboedrik quruluş) temperaturda III faza II fazaya keçir [12, 13]. Yüksək təzyiqdə III fazaya uyğun olan temperatur

intervalının genişləndiyi, eləcə də III fazanın qızdırılma zamanı da göründüyü və R3m fəza qrupuna aid olduğu bildirilmişdir [14].

Gümüş nitrat otaq temperaturunda parametrləri a=6.995Å, b=7.328Å, c=10.118Å,fəza qrupu–Abma olan rombik quruluşa malikdir [15]. T=432,4K temperaturda II→I polimorf çevrilməsi baş verir və rombik qəfəs yüksək temperaturlu heksaqonal qəfəsə çevrilir [16]. [17]-ə görə heksaqonal qəfəsin parametrləri a=5.161Å, c=8.311Å (və ya c=2c=16.903Å), Z=3-dür. Kristal soyudulan zaman əks proses, yəni heksaqonal→rombik (I→II çevrilməsi) keçidi baş verir. Yəni gümüş nitratda II↔I çevrilməsi enantiotrop xarakterlidir.

Gümüş nitratın I-modifikasiyasında [18-20]-ə görə həm kalsit və həm də arqonit tipli nitrat-ion əhatəsi vardır. Lakin kalorimetrik tədqiqatlar göstərmişdir ki, II→I çevrilməsi demək olar ki, izotermikdir.

Nəzərdən keçirdiyimiz digər kristallarda olduğu kimi $AgNO_3$-də də kinetik tədqiqatlar aparılmışdır. Bunların içərisində ən çox diqqət çəkəni S.Kennedi və P.Şults tərəfindən aparılan tədqiqatlardır [21]. Təcrübələr zamanı $AgNO_3$-ün ~0,05 mm qalınlıqlı müstəvi lövhə şəkilli II-modifikasiya kristalı götürülərək 303÷444 K temperatur intervalında II↔I çevrilmə sürətlərinin temperatur asılılığı öyrənilmişdir.

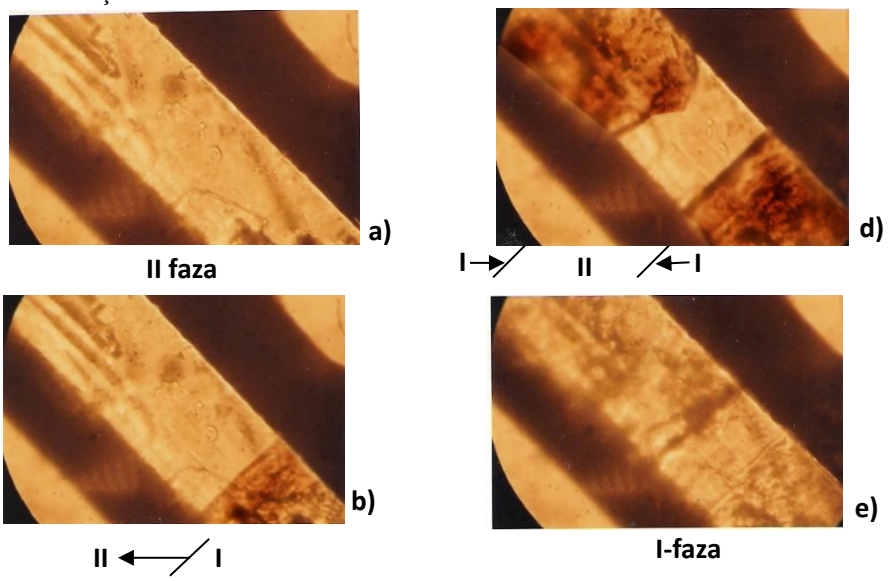
II. TƏCRÜBİ HİSSƏ

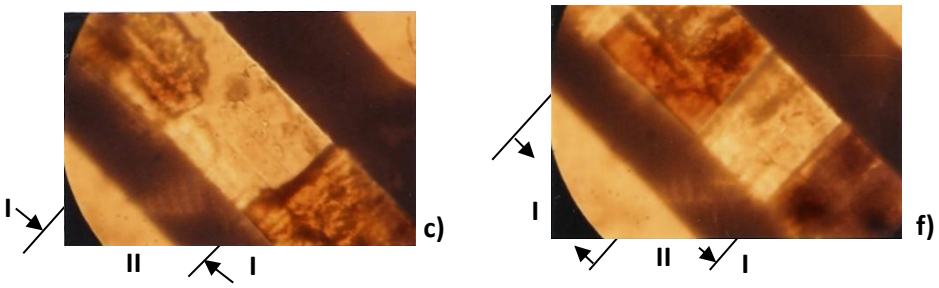
Tədqiq olunan bərk məhlul monokristalları iynəvari və müstəvi lövhə şəkilində alınmış, iynənin boyu [001] kristalloqrafik istiqamətində olmuşdur. II↔I çevrilmələrin morfologiyasını tədqiq etmək üçün əsasən 1×0,5×5 mm^3 ölçülü xaricdən yaxşı üzlənmiş və otaq temperaturunda alınmış monokristallardan istifadə edilmişdir. Nümunələr arasında 4×0,2×5 mm^3 ölçülü çox nazik təbəqəyə bənzər monokristallar da alınmışdır.

Morfoloji tədqiqatlar qızdırıcı ilə təmin olunmuş МИН-8 polyarizasiya mikroskopunda "Levenhuk C310 NK" tipli kinokamera vasitəsi ilə aparılmışdır. Polimorf çevrilmələr zamanı kristal böyüməsi kompüter vasitəsi ilə müşahidə olunmuşdur [22]. Kristalın temperaturu sonluğu onun üzərinə toxunan mis-konstantan termocütü vasitəsi ilə ölçülmüşdür. Temperatur ölçmələrinin xətası 100^0C-də $\pm0,5^0$C olmuşdur.

Morfoloji tədqiqatlar aparmaq üçün hər şeydən əvvəl tədqiq olunan kristallarda II↔I çevrilmələr zamanı II və I modifikasiya kristalları arasında tarazlıq temperaturu təyin edilmiş və T_0=379K±0,5 alınmışdır. Sonra həmin kristallarda optik mikroskop vasitəsilə II→I və I→II polimorf çevrilmələrinin optimal temperatur rejimi seçilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, $K_{0,95}Ag_{0,05}NO_3$ monokristallarında II→I və I→II çevrilmələri demək olar ki, temperatur yubanması olmadan ΔT =1K temperaturda baş verir.

Təcrübələr göstərir ki, tədqiq olunan nümunələrdə $T_ç > T_0$ temperaturda II→I çevrilməsi ana kristal daxilində I-modifikasiya kristalının rüşeyminin yaranması və böyüməsilə baş verir. Şəkil 1. b,c,d-də göründüyü kimi tədqiq olunan nümunədə əvvəlcə ana kristal daxilində I kristalın bir rüşeymi, sonra isə ikincisi əmələ gəlib, qarşı-qarşıya hərəkət edir. Əks çevrilmə, yəni I→II çevrilməsi də I-kristal daxilində II-kristalın iki rüşeyminin əmələ gəlməsi və iki modifikasiyanı ayran düzxətli sərhəddin ana kristalın [001] istiqamətində hərəkəti ilə baş verir. Bir daha qeyd edək ki, əks keçid də temperatur yubanması olmadan, ΔT ~1K temperaturda baş verir.





Şəkil 1. $K_{0,95}Ag_{0,05}NO_3$ kristalında II↔I faza çevrilmələrini mərhələlərlə əks etdirən mikrofotoqrafiyalar. Böyütmə ×90. a- ana kristal, b,c,d- II→I faza çevrilmə,
e- I kristal, f- I→II əks faza çevrilmə.

Məlumdur ki KNO_3-də II-I polimorf çevrilmə zamanı I -modifikasiya kristalının ritmik böyüməsi və eləcə də kristal soyudulan zaman I və II modifikasiyalar arasında romboedrik III modifikasiya kristalı müşahidə olunur [9]. Lakin baxılan bərk məhlulların heç birində II-I çevrilməsi zamanı ritmik böyümə və soyuttma prosesində I və II modifikasiyalar arasında romboedrik III modifikasiya müşahidə olunmamışdır.
Optik mikroskop vasitəsilə [22]-də verilən üsulla tədqiq olunan nümunələrdə II-I polimorf çevrilməsi zamanı I modifikasiya kristalının böyümə sürətinin temperatur asılılığı tədqiq olunmuşdur. MATLAB proqramı ilə işlənərək müəyyən edilmişdir ki bütün nümunələrdə bu asılılıq aşağıdakı empirik qanuna tabedir.

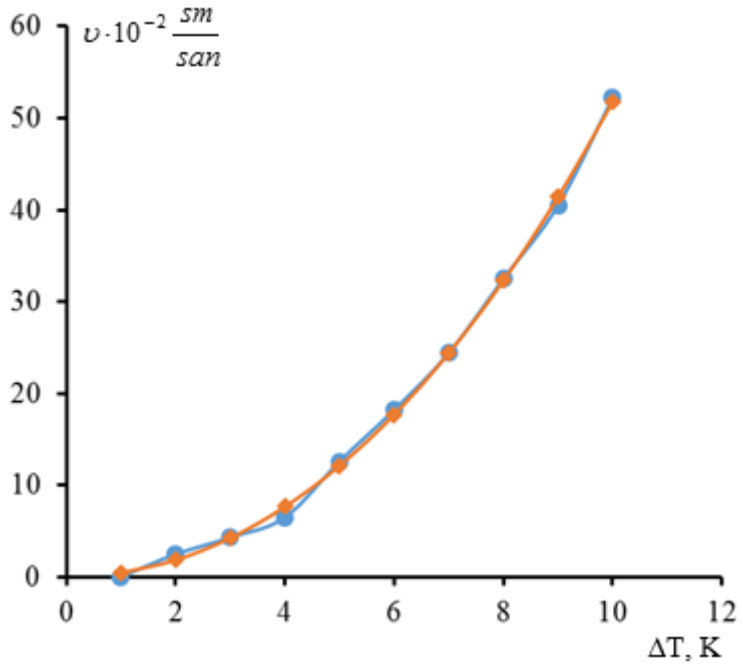
$\upsilon=(a\Delta T+b\Delta T^2+c\Delta T^3)\cdot 10^{-2}$sm/san.

Düstura daxil olan sabitlər *a, b, c* müxtəlif nümunələr üçün müxtəlif qiymətlərə malikdir. Cədvəl 1-də $K_{0,95}Ag_{0,05}NO_3$ və $K_{0,945}Ag_{0,055}NO_3$ kristallarında sürət ölçmələrindən alınanan nəticələr verilmişdir.

CƏDVƏL I. $K_{0,95}Ag_{0,05}NO_3$ VƏ $K_{0,945}Ag_{0,055}NO_3$ KRİSTALLARINDA SÜRƏT ÖLÇMƏLƏRİNDƏN ALINANAN NƏTİCƏLƏR VƏ EMPİRİK DÜSTURA DAXİL OLAN *a, b, c* SABİTLƏRİNİN QİYMƏTLƏRİ

ΔT,K	**$K_{0,95}Ag_{0,05}NO_3$**			**$K_{0,945}Ag_{0,055}NO_3$**		
	T_o,K	$\overline{\upsilon_t}\cdot 10^{-2}$ sm/san	$\overline{\upsilon_h}\cdot 10^{-2}$ sm/san	T_o,K	$\overline{\upsilon_t}\cdot 10^{-2}$ sm/san	$\overline{\upsilon_h}\cdot 10^{-2}$ sm/san
1	**379±1**	0,028	0,028	**393±1**	0,056	0,472
2		1,031	1,029		2,514	1,883
3		2,941	3,002		4,342	4,273
4		5,882	5,945		6,523	7,681
5		9,091	9,855		12,635	12,150
6		15,665	14,730		18,240	17,717
7		20,408	20,568		24,438	24,425
8		28,571	27,387		32,525	32,314
9		36,037	35,125		40,521	41,423
10		43,478	43,840		52,241	51,793
	***a*, dər^{-1}**	***b*, dər^{-2}**	***c*, dər^{-3}**	***a*, dər^{-1}**	***b*, dər^{-2}**	***c*, dər^{-3}**
II→I	-0,460	0,488	-0,00036	0,0165	0,4491	0,0067

Şəkil 2-də nümunə üçün $K_{0,945}Ag_{0,055}NO_3$ kristalında sürət ölçmələrinin təcrübi nəticələri və empirik düsturdan alınan nəticələr verilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi empirik düsturdan və təcrübədən alınan nəticələr biri-birilə yaxşı uzlaşır.



Şəkil 2. $K_{0,945}Ag_{0,055}NO_3$ kristalında II→I polimorf çevrilməsi zamanı I-modifikasiya kristalının böyümə sürətinin temperaturdan asılılıq qrafiki.
•-empirik nəticələr; ◊-təcrübi nəticələr

III. NƏTİCƏ

Tədqiqatlar göstərir ki, qələvi metalların nitrat birləşmələrinin bərk məhlullarında polimorf çevrilmələr zamanı kristal böyüməsi ana kristal daxilində yeni kristal rüşeyminin yaranması və böyüməsilə gedir. Proses enantiotrop olub, monokristal-monokristal tiplidir.

KNO_3 kristallarında K^{1+} ionlarının Ag^{1+} ionları ilə qismən əvəz olunması nəticəsində II→I çevrilmənin sürəti artmışdır. KNO_3-də K^+ ionlarının Ag^+ ionları ilə qismən əvəz olunması çevrilmə sürətinin böyüməsinə səbəb olur. $\Delta T = 10K$ olduqda KNO_3-də bu sürət $5x10^{-2}$sm/san olduğu halda Cədvəl 1-dən göründüyü kimi $K_{0,945}Ag_{0,055}NO_3$ -də bu sürət $52 \cdot 10^{-2}$sm/san olmuşdur. Başqa sözlə desək, bu əvəzlənmə nəticəsində quruluş çevrilməsi sürəti təxminən 10 dəfə artmışdır. Bizcə bu, KNO_3-də K^+ ionlarının Ag^+ ionları ilə qismən əvəz olunması enerji çəpəri hündürlüyünun kiçilməsinə səbəb olur.

Bütövlükdə alınan nəticələrin M.Folmerin [23] maye fazadan ikiölçülü rüşeyimli mexanizmli kristal böyüməsi ilə yaxşı uzlaşması, tədqiq olunan bərk məhlul kristallarında polimorf çevrilmələr zamanı kristal böyüməsini iki ölçülü mexanizmlə baş verməsini göstərir.

Bu da onu deməyə əsas verir ki, qarışıq fazaların faza keçidləri bu materialları yüksək həssas sensorlar, eyni zamanda yüksək istilik tutumu və stabil fazaları onları istilik saxlama sistemləri üçün yararlı edir. Qarışıq nitratlar daha sabit və güclü yanıcı maddə kimi, həmcinin kristalları yüksək dielektrik sabitliyinə malik olub, kondensatorlar və mikroelektronika üçün istifadə oluna bilər.

ƏDƏBİYYAT

[53] N. Kumar and R. Natha, "Ferroelectric properties of potassium nitrate-polymer composite films" *J. Pure Appl. & Ind. Phys.* v.1, (1), 2010, pp. 21-35. https://www.scribd.com/document/248302128/PHSV01I01P0021-pdf

[54] B. Erdinc and H. Akkus, "Ab-initio study of the electronic structure and optical properties of KNO_3 in the ferroelectric phase" *Phys. Scr.* v. 79, 2009, pp. 025601-025006. https://doi.org/10.1088/0031-8949/79/02/025601.

[55] C. Sekar and R. Parimala Devi, "Effect of Silver Nitrate ($AgNO_3$) on the Growth, Optical, Spectral, Thermal and Mechanical Properties of γ-Glycine Single Crystal," Journal of Optoelectronics and Biomedical Materials, Vol. 1, No. 2, 2009, pp. 215-225.

[56] S. Arul raja sekaran, K.A. Naseer, Imed Boukhris, K. Marimuthu. Spectroscopic studies on Eu^{3+} ions doped Silver nitrate ($AgNO_3$) integrated Alkaline phospho-silicate glasses for Red laser and LED applications. Journal of Alloys and Compounds Vol. 1028, 2025, 180689
[57] E. Venkatesh, V. Naresh and N. Rajesh, "Propulsion of rocket using potassium nitrate" *International Journal of Engineering Inventions (IJEI),* v. 11, 9. 2022, pp. 01-07. https://www.ijeijournal.com/v11-i9.html
[58] E.P. Tesleva "Study of polymorphic transformations in ion-molecular dielectrics by methods of physical acoustics and thermal physics", Ph. D. Thesis.Tomsk University Kazan. 2006. 187 p.https://www.dissercat.com/
[59] Ieva Markuniene, Arvydas Palevicius, Joris Vezys, Jakub Augustyniak, Dariusz Perkowski, Sigita Urbaite and Giedrius Janusas, Effect of PVDF, HA, and AgNO3 Annealing on β-Phase, Optical, and Mechanical Properties. J. Compos. Sci. 2024, 8(7), 240; https://doi.org/10.3390/jcs8070240
[60] I. Kitaigorodskii, Yu.V. Mnyukh, Y.G. Asadov, "Relationships for single crystal growth during polymorphic transformation", *Journal of Physics and Chemistry of Solids.* v. 26, (3), 1965, pp. 463-464. https://doi.org/10.1016/0022-3697(65)90120-4
[61] V.I. Nasirov, "Polymorphism in optically transparent crystals", *Baku,* 1997, 166 p.
[62] G. Adiwidjaja, D. Pohl, "Superstructure of α-phase of potassium nitrate", *Acta Cryst.* C 59: 2003, i139– i140. https://doi.org/10.1107/S0108270103025277
[63] C.N.R. Rao, B. Prakash, M. Natarajan, "Crystal structure transformations in inorganic nitrites, nitrates, and carbonates" *Washington: National Standard Reference Data System-National Bureau of Standards.* 1975, p. 66. https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/NSRDS/nbsnsrds53.pdf
[64] J.K. Nimmo, B.W. Lucas, "A neutron diffraction determination of the crystal structure of α-phase potassium nitrate at 25◦C and 100◦C", *J. Phys. C: Solid State Phys.* v. 6, (1), 1973, pp. 201-211.
[65] https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3719/6/2/001
[66] J.K. Nimmo, B.W. Lucas, "The crystal structures of γ- and β-KNO_3 and the α-γ-β phase transformations", *Acta Cryst.*, B32, 1976, pp. 1968–1971. https://doi.org/10.1107/S0567740876006894
[67] S. Sawada, S. Nomura and S. Fuji, "Ferroelectricity in the Phase III of KNO_3" *J. Phys. Soc. Japan*, v.13, 1958, p. 1549. https://doi.org/10.1143/JPSJ.13.1549
[68] Ferrari A., Gavalda L., Tonelli M.C. The structure of rombik $TlNO_3$ and $AgNO_3$ // Gazz. Chim. Ital., 1950, v.80, p.199-204.
[69] Niggle A. Rentgen kristallograpische untersuchung von silver nitrate // Zeits. Kristallogr., 1959, Bd III, p.269-282.
[70] Fischmeister N.F. X-ray measurements of the thermal expansion of trigonal potassium lithium and silver nitrates // J. Inorg. Nucl. Chem., 1956, v.3, p.182-186.
[71] Stromme K.O. On the crystal structure of the high temperature form of silver nitrate (AgNO3-I), Acta. Chem. Scand., 1979, v.24, N.4, p.1477-1479. 10.3891/acta.chem.scand.24-1477
[72] Sastry P.U., Krishna Psr., Panicker L., Shinde A.B. Structural behaviour of AgNO3 at low temperatures by neutron diffraction. J. Phys. Indian Acad. Sci. Vol.71, p.929-933, 2008. https://doi.org/10.1007/s12043-008-0202-1
[73] Z. Shen, W.F. Sherman, G.R. Wilkinson. Phase transition investigation of AgNO3 at low temperature and high pressure by I.R. studies. Journal of Molecular Structure. Volume 175, May 1988, Pages 395-400.
[74] https://doi.org/10.1016/S0022-2860(98)80109-9
[75] Kennedy S.W., Shultse P.K. Kinetics of phase growth in the structure change in silver nitrate crystals // Trans. Faraday. Soc., 1963, v.59, N.31, p.156-164.
[76] Yu.G. Asadov, V.I. Nasirov, R.B. Bairamov, E.V. Nasirov, "A method of studying the mechanism of structure transformations in optically transparent crystals" *Patent No. İ 2021 0093*.2021
[77] http://dx.doi.org/https://patent.copat.gov.az/fi
[78] M. Volmer, "Kinetik der phasenbildung steincopt" Drezden and Leipzing, . v. 3. 1939, pp. 38-56.

A SPIN 1/2 PARTICLE WITH THREE ADDITIONAL CHARACTERISTICS IN ELECTROMAGNETIC FIELDS

Alina Ivashkevich
Fundamental Interaction and Astrophysics Center,
B. I. Stepanov Institute of Physics of National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Belarus
ivashkevich.alina@yandex.by

Polina Sachenok
Physics and Engineering Faculty, Mozyr State Pedagogical University named after I. P. Shamyakin
Mozyr, Belarus
polinasacenok@gmail.com

Anastasia Kuzmich
Fundamental Interaction and Astrophysics Center,
B. I. Stepanov Institute of Physics of National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Belarus
miss.nastya.01@list.ru

Abstract: A new quantum-mechanical equation for a spin-1/2 particle possessing, in addition to the electric charge, three extra electromagnetic characteristics (μ, σ, η) is considered within the Gel'fand−Yaglom tetrad formalism. The equation is solved in external homogeneous magnetic and electric fields using cylindrical coordinates. A special algebraic method is applied to separate variables and to reduce the problem to solvable ordinary differential equations. The solutions are expressed in terms of confluent hypergeometric functions. The obtained wave functions generalize the standard Dirac solutions; they contain additional coefficients depending on the three extra parameters. The limit of a neutral particle (e.g., neutron) with three internal electromagnetic characteristics is also analyzed. The results may be used for measuring extra particle characteristics in interference experiments.
Keywords*: spin 1/2 particle, additional electromagnetic characteristics, Gel'fand–Yaglom formalism, electromagnetic fields*

INTRODUCTION

Within the general approach to constructing possible equations for elementary particles [1, 2], a new quantum-mechanical equation was proposed in [3] for a spin 1/2 particle possessing, in addition to the electric charge, three extra electromagnetic characteristics μ, σ, η. Here μ is the anomalous magnetic moment, σ is the polarizability, and η is an additional characteristic related to the Cox-type structure (see [3] for details). The mathematical structure of the ordinary Dirac equation becomes substantially more complicated: instead of a system of four first-order differential equations, we now have a second-order system.

GENERAL FORMALISM AND ALGEBRAIC METHOD

$$\{\hat{D}+M+\frac{\mu}{M}ieF_{(k)(l)}j^{kl}+\frac{\sigma}{M^2}\hat{D}\,ieF_{(k)(l)}j^{kl}+\frac{\eta}{M^3}[\hat{D}^2(ieF_{(k)(l)}j^{kl})+(ieF_{(k)(l)}j^{kl})^2]\}\Psi=0,$$

using the tetrad formalism:

$$D_{(c)}=e^n_{(c)}(\partial_n+ieA_n)+\frac{1}{2}\gamma_{[mn]c}j^{mn},\quad \hat{D}\equiv\gamma^c D_{(c)};$$

where γ^c are Dirac matrices, $\gamma_{[mn]c}$ are Ricci rotation coefficients, j^{mn} are generators for the bispinor representation of the Lorentz group, $F_{(k)(l)}$ – are tetrad components of the external electromagnetic field.

This equation is solved in the presence of external magnetic and electric fields using cylindrical coordinates (r, φ, z), so that $A_0=-Ez$, $A_\varphi=Br^2/2$, $A_r=A_z=0$. A special algebraic method is applied to solve the

XXX-X-XXXX-XXXX-X/XX/$XX.00 ©20XX IEEE

resulting system of four coupled second-order partial differential equations. The essence of the method is as follows. After the initial separation of variables, a system of four coupled second-order differential equations in the coordinates r and z arises. At the first stage, differential coupling conditions for the functions depending on r are introduced using first-order operators; the main requirement is that the same function appears in each equation and cancels as a common factor. The compatibility of these coupling conditions with the whole system is verified.

From the differential coupling conditions, second-order equations for each function are derived and solved. A quantization rule for the spectral parameter appears due to the presence of the homogeneous magnetic field. At the second stage, a similar algebraic method is applied to solve the system of four differential equations in the variable *z*.

The constructed solutions resemble those of the ordinary Dirac equation in these fields (in terms of confluent hypergeometric functions):

$$\Psi = e^{-i\partial t}e^{im\phi}\begin{vmatrix} g_1(z)\ f_1(r) \\ g_2(z)\ f_2(r) \\ g_3(z)\ f_3(r) \\ g_4(z)\ f_4(r) \end{vmatrix} = e^{-i\partial t}e^{im\phi}\begin{vmatrix} g_1(z)\ f_1(r) \\ g_2(z)\ f_2(r) \\ AL\ g_2(z)\ f_1(r) \\ KD\ g_1(z)\ f_2(r) \end{vmatrix}.$$

Here ∂ is the particle energy; *A*, *L*, *K*, *D* are coefficients arising from the algebraic method of separation of variables. The explicit form of the four wave function components is modified by the presence of coefficients *A*, *L*, *K*, *D*, which depend on the three particle characteristics μ, σ, η and on the amplitudes of the magnetic and electric fields. When solving the equations for the functions $f_1(r), f_2(r)$, a quantization rule arises due to the external magnetic field.

NEUTRAL PARTICLE LIMIT AND SOLUTIONS

The developed theory allows a limiting transition to the case of an electrically neutral particle (e.g., a neutron) with three internal electromagnetic characteristics. For such a particle, solutions in the presence of homogeneous magnetic and electric fields are also constructed using the same algebraic method. The obtained solutions are similar to those for an ordinary uncharged spin 1/2 particle (*J* denotes the Bessel function):

$$\Psi = e^{i\varepsilon t}e^{im\phi}\begin{vmatrix} 1 \\ L^{-1}\dfrac{\sqrt{\partial - k}}{\sqrt{\partial + k}} \\ A\dfrac{\sqrt{\partial - k}}{\sqrt{\partial + k}}) \\ KD \end{vmatrix} e^{+ikz} f(r), \qquad \Psi = e^{i\varepsilon t}e^{im\phi}\begin{vmatrix} 1 \\ L^{-1}\dfrac{\sqrt{\partial + k}}{\sqrt{\partial - k}} \\ A\dfrac{\sqrt{\partial + k}}{\sqrt{\partial - k}} \\ KD \end{vmatrix} e^{-ikz} f_1(r),$$

$$f(r) = J_{|m\pm 1/2|}(x), \quad x = i\sqrt{\partial^2 - M^2 - k^2}\ r;$$

but they are modified by the presence of the parameters *A*, *L*, *K*, *D* in the columns. These parameters depend on the three electromagnetic characteristics of the neutral particle and on the amplitudes of the magnetic and electric fields. No quantization rules appear, which is explained by the vanishing of the interaction term due to the electric charge.

CONCLUSION

The obtained solutions can serve as a basis for measuring additional characteristics in interference experiments with particle beams possessing a three-parameter internal electromagnetic structure. Thus, the developed theory extends the Dirac equation to include extra electromagnetic properties and provides exact solutions in external homogeneous fields.

REFERENCES

[11] V. Kisel, E. M. Ovsiyuk, O. V. Veko, Y. A. Voynova, V. Balan, and V.M. Red'kov, "Elementary Particles with Internal Structure in External Fields. Vol I. General Theory," New York: Nova Science Publishers Inc., 2018, 402 p.

[12] V. Kisel, E. M. Ovsiyuk, O. V. Veko, Y. A. Voynova, V. Balan, and V.M. Red'kov, "Elementary Particles with Internal Structure in External Fields. Vol II. Physical Problems," New York: Nova Science Publishers Inc., 2018, 404 p.
[13] V. Kisel, E. M. Ovsiyuk, P. O. Sachenok, A. S. Martynenko, A. V. Bury, and V. M. Red'kov, "A spin 1/2 particle with three additional characteristics in presence of external fields, general theory within the Gel'fand−Yaglom formalism," Nonlinear Dynamics and Applications, 2025, Vol. 31, pp. 262–286.

ULDUZLARIN KİMYƏVİ TƏRKİBİNİN SPEKTRAL ANALİZİ

Mirhəsən Tahirov
Naxçıvan Dövlət Universiteti Batabat Astrofizika Rəsədxanası
Naxçıvan, Azərbaycan
seyidovhesen78@gmail.com

Türkan Məmmədova
Naxçıvan Dövlət Universiteti Batabat Astrofizika Rəsədxanası
Naxçıvan, Azərbaycan
0009-0009-3592-379X turkanmemmedova135@gmail.com

Leylan Məmmədova
Naxçıvan Dövlət Universiteti, Naxçıvan Dövlət Texniki Kolleci
Naxçıvan, Azərbaycan
0009-0003-8859-6274 *leylanmemmedova1994@gmail.com*

***Xülasə*:** Məlum olduğu kimi səma cisimləri haqqında yeganə informasiya mənbəyi onlardan bizə gəlib çatan işıq şüalarıdır. Bu mənada işıq şüaları ulduzların bir çox xüsusiyyətləri, o cümlədən kimyəvi tərkibləri barəsində də qiymətli məlumatlar verə bilər. İşıq şüasını spektrə ayırmaqla və spektr xətlərinin hansı kimyəvi elementə və ya maddəyə aid olduğunu təyin etməklə ulduzların kimyəvi tərkibi haqqında ilkin məlumatları əldə etmək mümkündür.
***Açar sözlər**: işıq şüaları, şülanma spektri, kəsilməz spektr, rəqəmsal monoxromotor.*

GIRIŞ

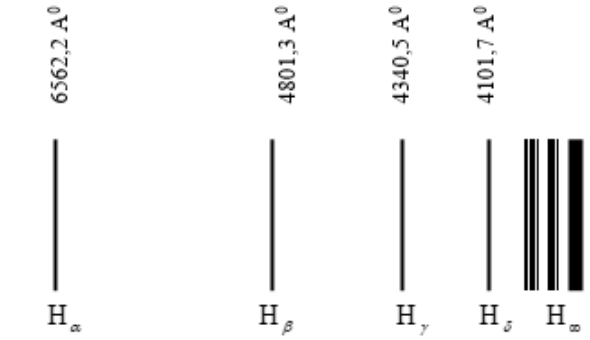
Kainatda məlum olan ən çox göy cisimləri ulduzlardır. Ulduzların daxili qatlarında və atmosferində fiziki şərait müxtəlifdir. Bu müxtəliflik əlbəttə ki, onların kütləsindən, işıqlılığından və radiusundan asılıdır. Ulduzların spektri də bir-birində fərqlənir. Ulduzların bəzilərinin parlaqlığı uzun müddət sabit qalır, belə ulduzlara normal ulduzlar deyilir. Əlbəttə ki, normal ulduzlardan fərqli olaraq, spektri və parlaqlığı dəyişən ulduzlarda vardır ki, bunlara da dəyişən ulduzlar deyilir [1]. Rəsədxanada bizim tədqiq etdiyimiz ulduzlar əsasən parlaq ulduzlar, simbiotik və cavan ulduzlardır. (Simbiotik və cavan ulduzlarla ətraflı [2-14] ədəbiyyatlarda tanış ola bilərsiniz). Fransız filosofu Kont iddia edirdi ki, ulduzların kimyəvi tərkibini heç vaxt öyrənmək olmaz. Ancaq 1666-cı ildə Nyutonun adi şüşə prizma vasitəsi ilə ilk dəfə Günəş şüalarını yeddi rəngə (spektrə) ayırması və sonralar Kirxof və Bunzen tərəfindən spektral analiz üsulunun kəşf olunması bu ideyanı alt-üst etdi [15, 16, 17].

Bərk və maye maddələrin şüalanma spektri kəsilməz, atomların spektri isə bir-birindən ayrı yerləşən kəskin xətlərdən ibarətdir. Hər bir kimyəvi elementin özünəməxsus xətti spektri vardır. Ümumiyyətlə, spektrin forması atomların həyacanlanma üsulundan asılı deyil. Məhz buna görə spektrə əsaslanaraq kimyəvi elementi təyin etmək olar[15, 17].

TƏDQIQAT METODU

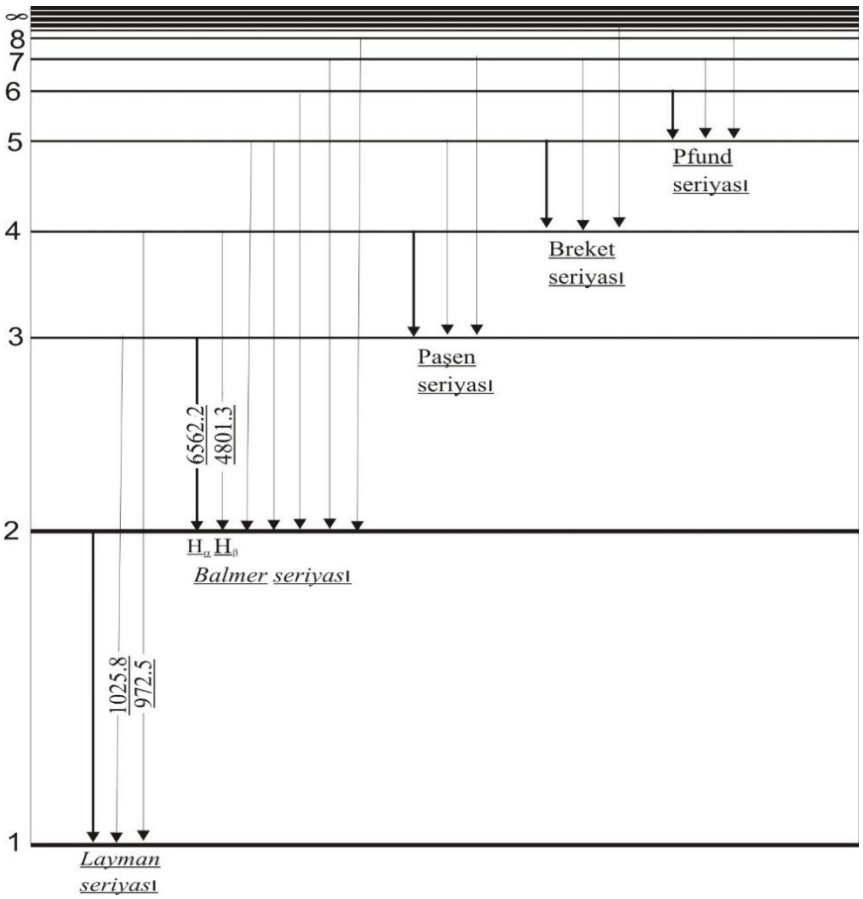
Xətti spektrdə şüalanma xətlərinin hansı qanuna əsaslanaraq yerləşdiyini izah etmək qarşıda duran böyük məsələlərdən biri olmuşdur. Bu məsələyə ilk dəfə İsveçrə fiziki Balmer tərəfindən aydınlıq gətirilib.

Balmer kimyəvi elementlər içərisində bir elektronu olan ən sadə hidrogen atomunun əmələ gətirdiyi spektr xətlərini öyrənmişdir. O göstərmişdir ki, bu yeganə elektronun müxtəlif enerji səviyyələri arasında keçidləri bu atomun xətti spektrini verir. Aydındır ki, hidrogen atomunun spektri ən sadə spektr olacaqdır. Müşahidələrlə hidrogenin şüalanma spektrinin görünən və ultrabənövşəyi oblastında yerləşən xətlərə uyğun dalğa uzunluqları təyin olundu [15, 16]. Bu spektrin görünən oblastındakı xətləri H_α, H_β, H_γ və H_δ kimi işarə olunub (şəkil 1). Şəkil 1-dən göründüyü kimi böyük dalğa uzunluğuna malik xətlərdən kiçik dalğa uzunluqlu xətlərə keçdikcə xətlər arasındakı məsafə müəyyən qanunauyğunluqla azalır.



Şəkil 1. Hidrogen atomunun spektri.

Aydındır ki, atomun stasionar halına elektronların stasionar orbiti uyğundur. Atom böyük enerjiyə malik stasionar haldan kiçik enerjiyə malik stasionar hala keçdikdə şüalanma baş verir. Şəkil 2-dən göründüyü kimi atomun yüksək enerji səviyyələrindən əsas enerji səviyyəsinə keçməsi Layman seriyasını əmələ gətirir. Başqa sözlə desək, elektron nüvəyə uzaq olan orbitlərdən nüvəyə ən yaxın olan orbitə keçir. Bu atomun ən dayanıqlı halıdır.



Şəkil 2.

Layman seriyasında atomun üçüncü səviyyədən birinci səviyyəyə keçməsi zamanı şüalanmanın dalğa uzunluğu 1025.8 Å olur. Balmer seriyası isə yüksək enerji səviyyələrindən ikinci səviyyəyə keçitdir.
Ümumiyyətlə, spektral analiz üsulunu bilməklə təkcə ulduzların tərkibini yox, hətta ulduz atmosferlərində gedən müxtəlif prosesləri də öyrənmək olar.
Ulduz spektrində ayrı-ayrı spektral xətlərin profillərini öyrənməklə ulduzların atmosferində gedən fiziki proseslər də öyrənilir. Lakin ayrı-ayrı spektral xətlərin dəqiq profillərini qurmaq və onların spektrofotometrik xarakteristikalarını təyin etmək üçün böyük dispersiya lazım gəlir [4, 6, 7, 9, 10, 11]. Astrofizikada tətbiq olunan spektral cihazların bir çoxunun dispersiyası çox azdır. Son vaxtlar yeni növ cihazların, yəni ikiqat monoxromotorların, sürətlə registrasiya edən rəqəmsal monoxromotorların və Furye spektrometrlərinin astrofizikada tətbiqi spektral tətqiqatların dəqiqliyini ən azı bir tərtib artırmışdır.
Bu cihazlar ilk dəfə Günəşə tətbiq olunmuş və Günəş spektrində spektral xətlərin profillərinin incə quruluşa malik olması aşkar olunmuşdur. Məlum olduğu kimi Kiçik Köpək bürcünün α-sı (Prosion (α CMi)) hələlik yeganə ulduzdur ki, onun spektri ikiqat monoxromotorların köməyi ilə alınıb. Qrifinin aldığı bu rəqəmsal spektral materiallar Prosion ulduzunda udulma xətlərinin dəqiq profillərinin qurulmasına və onların analizinə imkan yaradır.

NƏTICƏ

Səma cisimlərindən gələn işığın spektral analizi ulduzların kimyəvi tərkibi və fiziki xüsusiyyətləri haqqında mühüm məlumat əldə etməyə imkan verir, çünki hər bir element özünəməxsus spektr xətləri ilə xarakterizə olunur və bu üsul həm atom quruluşunu, həm də ulduz atmosferində gedən prosesləri anlamağa şərait yaradır. Bu baxımdan spektral analiz astrofizikanın ən vacib tədqiqat metodlarından biri hesab olunur. Müasir spektral cihazların tətbiqi isə spektr xətlərinin daha dəqiq tədqiqinə və ulduz atmosferində baş verən proseslərin dərindən öyrənilməsinə şərait yaradır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

[1] R. Ə. Hüseynov. Ümumi astrofizika // Dərs vəsaiti, “Bakı Universiteti”, Bakı: –2010, –368 s. https://elibrary.bsu.edu.az/files/110/N_93.pdf
[2] Kh. M. Mikailov, R.T. Mammadov and I.A. Alakbarov, “750-Days Variability of the CH Cyg,” Astronomıcal Journal of Azerbaıjan, 16(2) 37-43 (2021). https://aaj.shao.az/vol16_n2/AAJ_2021_V16_N2.pdf#page=36
[3] Kh. M. Mikailov, R. T. Mammadov. “Photometric flickering of the CH Cyg in 2018”, East Europran Journal of Physics, 2, 38-42, (2025). https://periodicals.karazin.ua/eejp/article/view%20/25766/23443
[4] Kh. M. Mikailov, A.J. Orujova, R.T. Mammadov, I.A. Alakbarov, and O.V. Khalilov, “Analysis of spectral and photometric observations of the CH Cyg symbiotic star in 2018,” Astronomıcal Journal of Azerbaıjan, 16(1) 4-21 (2021). https://aaj.shao.az/vol16_n1/AAJ_2021_V16_N1.pdf
[5] Kh. M. Mikailov and R.T. Mammadov, “95-day variability in the light curve of the symbiotic star CH Cyg,” in: *Proceedings of the XXI International Multidisciplinary Conference “Prospects and Key Tendencies of Science in Contemporary World*,” (Bubok Publishing S.L., Madrid, 2022), pp. 67-71. https://www.internauka.org/conf/spain/21/343943
[6] Kh. M. Mikailov, R.T. Mammadov, B.N. Rustamov, and A.B. Rustamova, “Spectral Variability of the Symbiotic Star CH Cyg”. Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: Part A: PS-671, 60(1), 9-13 (2023). https://doi.org/10.53560/PPASA(60-1)671
[7] Kh. M. Mikailov, R.T. Mammadov, I. A. Alakbarov and O. V. Khalilov, “High velocity absorption in the spectra of CH Cyg in 2017”, Astronomıcal Journal of Azerbaıjan, 15(2), 82-90 (2020). https://aaj.shao.az/vol15_n2/AAJ_2020_V15_N2.pdf
[8] Kh. M. Mikailov, R. T. Mammadov. A. B. Rustamova, L. R. Mammadova “Photometric observations of symbiotic star AG Peg”, East Europran Journal of Physics, 1, 156-160, (2026). https://periodicals.karazin.ua/eejp/article/view/28409/25013
[9] F. S. Huseynova, N. Z. Ismailov, N. Z., U. S. Veliyev, (2025) Spectral and photometrical properties of selected massive Herbig AeBe Stars. Azerbaijani Astronomical Journal, Vol 20(2), p.28-35. doi.org/10.59849/2078-4163.2025.2.28
[10] F. S. Huseynova,, N. Z. Ismailov, S. A. Alıshov, Sh. K. Ismailova, Photometric and spectral study of the Star AS 442. Journal Of Young Researcher, №3, p.90-98. doi.org/10.59849/2409-4838.2025.3.90
[11] F. S. Huseynova, A. H. Mammadli, (2026). Photometric and spectroscopic variability in Herbig stars. Norwegian Journal of development of the International Science, Vol 174, p.55-58. doi.org/10.5281/zenodo.18631251

[12] H. N. Adigozalzade, N. Z. Ismailov , U. S. Valiyev, F. S. Huseynova, R. T. Mammadov, (2025). Herbig AeBe stars with low infrared excess. AdSpR..76.1854A. DOI: 10.1016/j.asr.2025.05.052
[13] N. Z. Ismailov, U. S. Valiyev, N. S. Dzhalilov. Protoplanetary Disks around classical T Tauri Stars// Odessa Astronomical Publications, –2022, vol 35. p. 30-40. DOI:10.18524/1810-4215.2022.35.268006
[14] U. S. Valiyev, S. A. Alishov, N. Z. Ismailov. CCD Photometry of Young Stars AS 205, V1082 Cyg and AS 310. 2022, Peremennye Zvezdy (Variable Stars) 42 (9), p.51-59. DOI: 10.24412/2221-0474-2022-42-51-59
[15] C. M. Quluzadə. Atom spektroskopiyası. Bakı: Elm, 1985, 217 s.
[16] E. Ə. Məsimov. Atom fizikası. Bakı: Elm, 2010, 500 s.
[17] С. Л. Манделштам. Введение в спектроскопию. Москва: ГТТИ, 1946, 350 с.

PRODUCTION OF PEDOT MATS BY THE COMBINATION OF ELECTROSPINNING AND VAPOR-PHASE POLYMERIZATION

Valida Fataliyeva
Department of Physics and Electronics, Khazar University, Baku, Azerbaijan,
valida.aliyeva2023@khazar.org

Farida Tatardar
Department of Physics and Electronics, Khazar University, Baku, Azerbaijan, farida.tatardar@khazar.org

Levent Paralı
Department of Electronics and Automation, Manisa Celal Bayar University,
Manisa Turkey, levent.parali@cbu.edu.tr

Abstract: An all-organic electrode composite was successfully developed by integrating poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) with polyvinylidene fluoride (PVDF) using electrospinning, followed by vapor phase polymerization of the 3,4-ethylenedioxythiophene (EDOT) monomer. The incorporation of PEDOT significantly enhanced the electrical performance of the composite material. In particular, the PVDF/0.8 wt.% $FeCl_3$/EDOT-based electrode exhibited a 2.2-times increase in electrical conductivity, reaching 0.87 S/cm compared to 0.41 S/cm for pristine PVDF. In addition to improved conductivity, the composite demonstrated favourable dielectric properties characterized by a high dielectric constant and low dielectric loss. These combined features indicate that the developed PVDF/$FeCl_3$/EDOT nanogenerator holds strong potential for advanced dielectric and piezoelectric applications.
Keywords: *PVDF, PEDOT, Electrospinning, Vapour Phase Polymerization, Electrical Conductivity, Dielectric*

INTRODUCTION

Among different polymer matrices, polyvinylidene fluoride (PVDF) has attracted significant attention because of its excellent properties, including high piezoelectric sensitivity, biocompatibility, chemical stability, mechanical flexibility, and elastic compliance. [1]. PVDF's polar β-phase is the primary source of its piezoelectricity. β-phase nanofibers can be directly formed by electrospinning, a flexible and efficient production technique [2]. It can cause polar crystal phases to develop by aligning the molecular dipoles (-CH2 and -CF2) with the direction of the electrical field [3].

Conductive polymers like poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) are commonly used to provide electrical conductivity to insulating polymer systems like PVDF due to their high electrical conductivity, environmental stability, ease of manufacturing, and biocompatibility [4].

Vapor-phase polymerization (VPP) is regarded as a straightforward, fascinating, and easy method for making PEDOT [5]. The vaporized conducting polymer monomer comes into touch with an oxidant-containing substrate. The monomer-oxidant interface is where the polymerization reaction occurs [6].

The commercially accessible monomer 3,4-ethylenedioxythiophene (EDOT) can be polymerized into PEDOT [7]. Iron (III) chloride hexahydrate ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$), which functions as an oxidizing agent for the polymerization of the EDOT monomer, was combined with PVDF in this investigation. After that, the produced solution was electrospun to create homogeneous nanofibrous mats with the oxidant dispersed throughout the fiber structure. An efficient template for in situ polymerization is provided by these electrospun membranes.

The VPP technique was then used to directly synthesize PEDOT onto and within the PVDF/$FeCl_3$ nanofibers. In this stage, heat helps the EDOT monomer evaporate and diffuse into the fibrous matrix. A conductive PEDOT is created when EDOT undergoes oxidative polymerization in the presence of $FeCl_3$. In the end, we produced a well-integrated composite structure made up of the polymer matrix and the conducting phase.

MATERIALS AND METHODS

A. Materials

Polyvinylidene fluoride (PVDF) powder (molecular weight: 534.000 g/mol), 3,4-ethylenedioxythiophene (EDOT) (Nanografi Nano Technology, 99% purity), dimethylformamide (DMF), acetone (C3H6O) and ferric chloride hexahydrate (FeCl3.6H2O), acetone were utilized as received without further purification.

B. Electrospinning

PVDF (13wt.%) was dissolved in an acetone and DMF mixture (7:3) with continuous magnetic stirring at 60 °C. After getting a transparent solution, besides pristine PVDF, two additional solutions made through blending an 11 wt.% PVDF solution with $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ at concentrations of 0.8 wt.% and 1.2 wt.%, respectively. Subsequently, sonication and magnetic stirring were applied.

Well-prepared solutions were loaded into a plastic syringe and flow rate of 6 $mL \cdot h^{-1}$ was used for the pristine PVDF, whereas 4.0 $mL \cdot h^{-1}$ was applied to the PVDF/$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ solutions. The distance between tip and collector was 15 cm, and direct current (DC) voltages were 13 kV and 22.54 kV for pristine PVDF and PVDF/$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ solutions, respectively. Drum collector's speed was 2400 rpm, while the PVC was used as a substrate.

C. Vapour Phase Polymerisation (VPP)

As illustrated in Figure 1, the VPP chamber consists of a glass jar with a plastic lid and a small inner vessel for the EDOT solution. The electrospun mat is held within a custom 3D-printed polylactic acid (PLA) frame and suspended inside the jar. Before polymerization, the chamber is heated to 80 °C using a commercial heater, and 40 µL of EDOT monomer is added dropwise into the inner vessel.

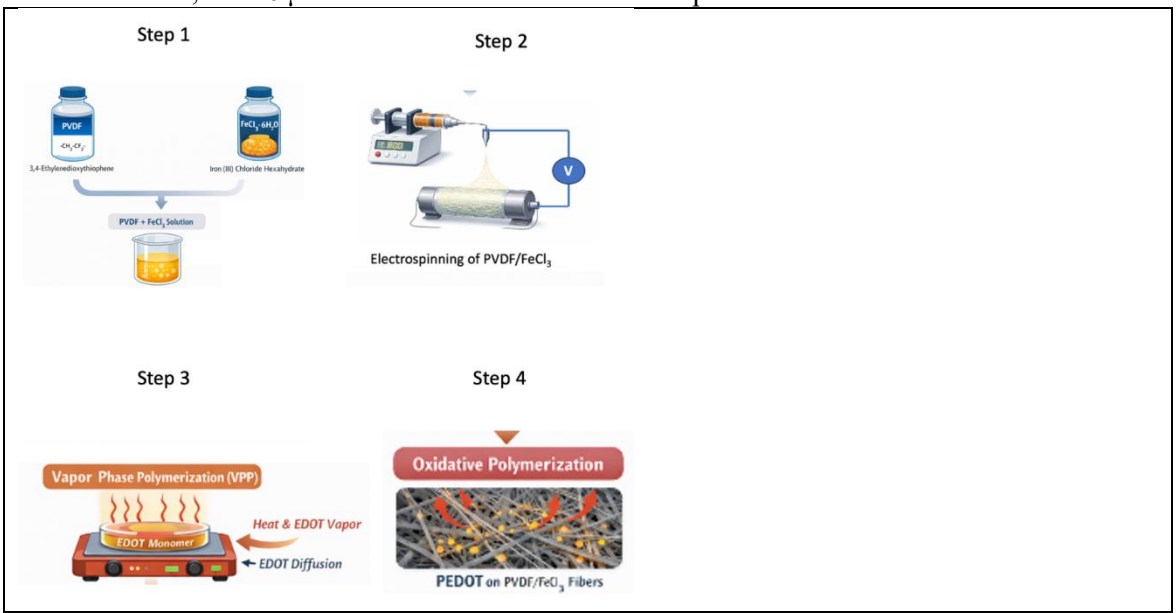


Fig. 1. Preparation of PVDF/FeCl3/PEDOT composition film

D. Characterization

FTIR spectra of all samples were recorded using a Bruker FTIR-ATR system over the range of 1600–400 cm^{-1}. The dielectric behavior and electrical conductivity of the electrospun mats were analyzed with an LCR meter (Hioki IM-3536).

Result and discussion

A. Structural Analysis

As depicted in Figure 2, the Fourier transform infrared (FT-IR) spectrum was recorded to confirm the formation of PEDOT from EDOT on the PVDF template via vapor phase polymerization (VPP).

Generally, the absorption bands in the 800–1100 cm^{-1} range are primarily characteristic of the PEDOT structure [8]. The peak at 1272 cm^{-1} is attributed to the Cβ–Cβ bonds in the PEDOT structure [9]. The vibration bands observed at 835 cm-1 [10], 971 cm-1 [9,10], and 1519 cm-1 [11] are due to the C-S bond in the thiophene ring in PEDOT in the PVDF/0.8wt.% $FeCl_3$/EDOT, and the PVDF/1.2wt.% $FeCl_3$/EDOT electrospun composites. The peaks at 1066 cm^{-1} and 1166 cm^{-1} are assigned to the C–O–C bond vibrations within the PEDOT structure [8,10].

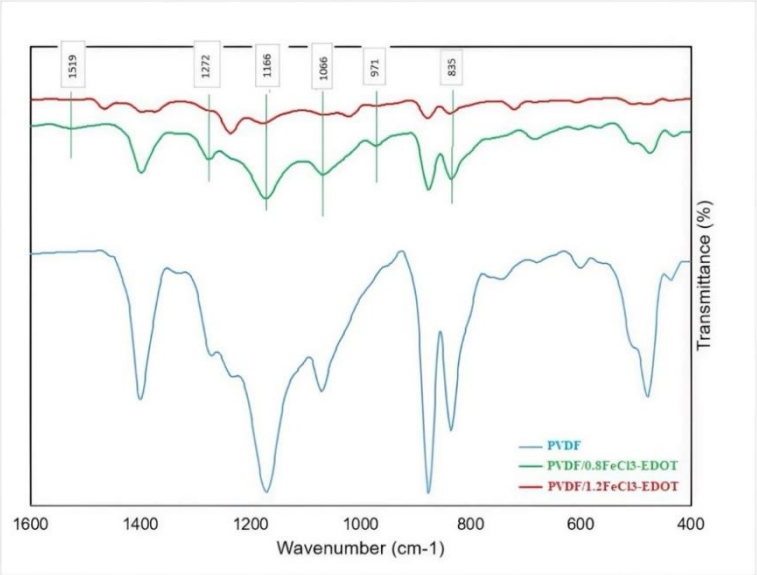


Fig. 2. FTIR spectroscopy results of the pure PVDF, PVDF/0.8 wt.% FeCl3/EDOT, and the PVDF/1.2 wt.%FeCl3/EDOT.

Figure 3 illustrates the mechanism of PEDOT formation via the oxidative polymerization of EDOT in the presence of $FeCl_3$ as the oxidizing agent. When EDOT vapor passes through the PVDF nanofibrous mat containing the oxidant, a reaction is initiated via a free-radical mechanism. In this step, Fe^{3+} ions from $FeCl_3$ are reduced to Fe^{2+} by accepting an electron from the thiophene ring of EDOT, converting it into a reactive radical cation. These activated EDOT species then undergo coupling with each other, leading to chain growth and the formation of the final polymer structure [5].

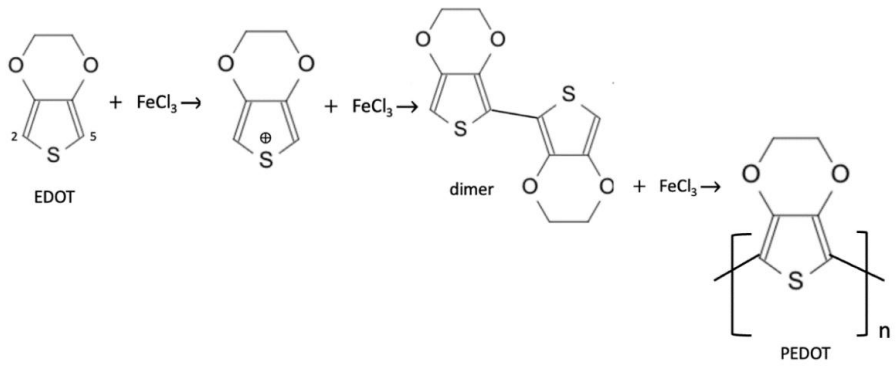


Fig. 3. Oxidative polymerization mechanism of EDOT.

B.Electrical Conductivity Properties

Figure 4 presents the electrical conductivity of pristine PVDF and PVDF/$FeCl_3$/EDOT composites. Incorporating 0.8 wt.% and 1.2 wt.% $FeCl_3$ with EDOT increased the conductivity by 2.2× (0.87 S/cm) and 1.53× (0.63 S/cm), respectively, compared to the pure PVDF (0.41 S/cm).

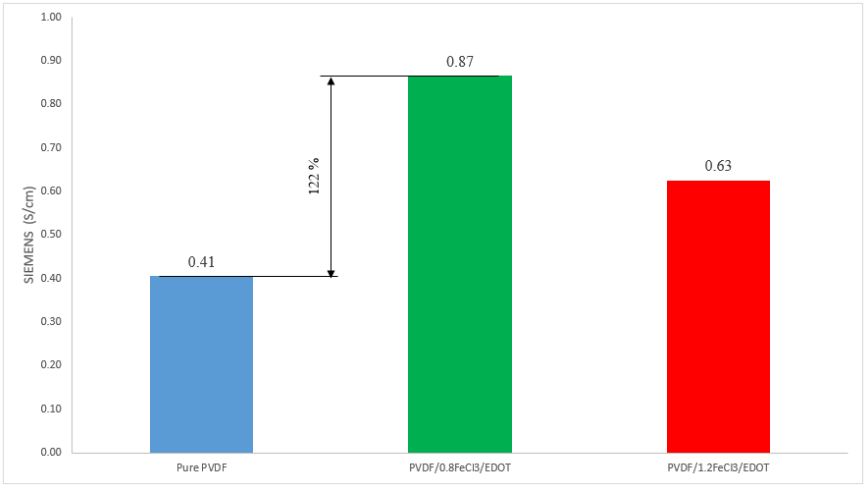


Fig. 4. Electrical conductivity values of the pure PVDF, the PVDF/0.8wt.% FeCl3/EDOT, and the PVDF/1.2wt.% FeCl3/EDOT.

C. Dielectric properties

Figure 5 presents the dielectric constant (ε_r) and loss tangent (tan δ) of the samples, calculated using relative permittivity (Eq. 1).

$\varepsilon_r(\omega) = C(\omega) \cdot D/\varepsilon_0 \cdot A$ (Eq. 1)

where D: the film thickness, A: electrode area (12.25 cm2), ε_r: the dielectric constant, ε_0: the dielectric constant of free space (8.85 x 10-12 F/m), C: the capacitance, and ω: the angular frequency.

In comparison to pure PVDF (0.36), the dielectric constant numbers for PVDF/0.8wt.%$FeCl_3$/EDOT and PVDF/1.2wt.%$FeCl_3$/EDOT composites rose by 4.1 times (1.48) and 1.55 times (0.56), respectively. The PVDF/0.8wt.%$FeCl_3$/EDOT was found to have the maximum dielectric constant and a lower loss tangent value than the pure PVDF, based on the loss tangent values displayed by all specimens shown in Fig. 5b. Because of its high dielectric constants and low loss tangents, the PVDF/0.8wt.%$FeCl_3$/EDOT nanogenerator is thought to be perfect for dielectric and piezoelectric applications.

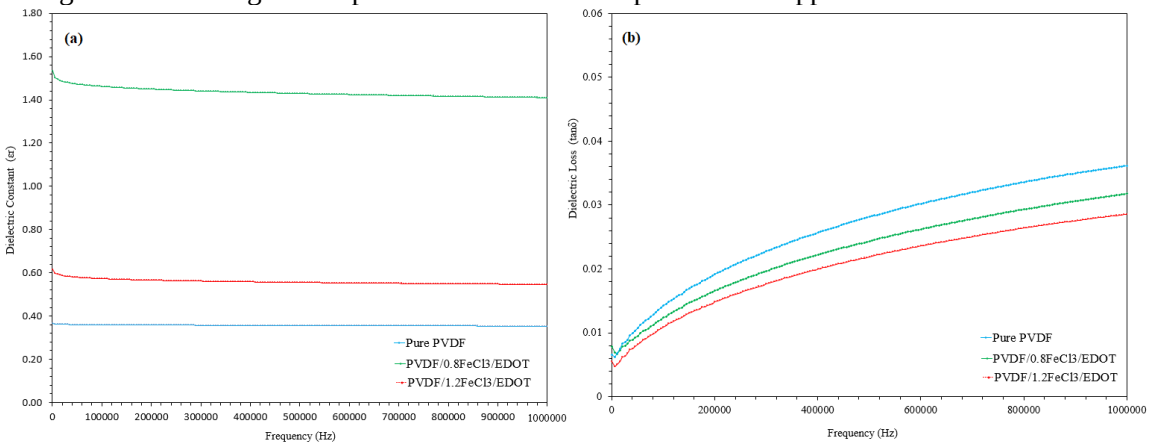


Fig. 5. Changes in dielectric constant (ε_r, a) and dielectric loss (tan δ, b) across frequencies from 1 kHz to 1 MHz for pure PVDF, PVDF/0.8 wt.% $FeCl_3$/EDOT, and PVDF/1.2 wt.% $FeCl_3$/EDOT.

CONCLUSION

In this study, PVDF-based composite materials containing 0.8 wt.% and 1.2 wt.% $FeCl_3$ with EDOT were successfully fabricated, where $FeCl_3$ acted as an oxidizing agent to facilitate the in-situ polymerization of EDOT into PEDOT. The results demonstrated that the electrical properties of the composites strongly depend on the $FeCl_3$ concentration. Among the prepared samples, the PVDF/0.8 wt.% $FeCl_3$/EDOT

composite exhibited the highest electrical conductivity of 0.87 S/cm, indicating it as the optimal composition. It is necessary to investigate the synergistic contributions that the electrical conductivity and piezoelectric properties of the PEDOT obtained in this study provide to the output performance of piezoelectric nanogenerators.

REFERENCES

1. X.Qiu,Y.Bian,X.Mei, Z.Hu, F.-Z.Xuan,Y.Xiang, Fully Transparent Flexible Piezoelectric Sensing Materials Based on Electrospun PVDF and Their Device Applications, Adv. Mater. Technol., 2024, 9, 2301494
2. Hasan Cirik, Yasemin Gündoğdu Kabakci, M. A. Basyooni-M. Kabatas, Hamdi Şükür Kiliç, Flexible Electrospun PVDF/PAN/Graphene Nanofiber Piezoelectric Sensors for Passive Human Motion Monitoring, Sensors 2026, 26, 391
3. Yang Li, Meng-han Xu, Yu-shuang Xia, Ji-ma Wu, Xiao-kai Sun, Shan Wang, Guo-hu Hu, Chuang-xi Xiong, Multilayer assembly of electrospun/electrosprayed PVDF-based nanofibers and beads with enhanced piezoelectricity and high sensitivity, Chemical Engineering Journal 2020, 388, 124205,
4. Zarrin, N., Tavanai, H., Abdolmaleki, A., Bazarganipour, M., & Alihosseini, F., An investigation on the fabrication of conductive polyethylene dioxythiophene (PEDOT) nanofibers through electrospinning. Synthetic Metals, 2018, 244, 143–149.
5. Maity, K., & Mandal, D.,All-Organic High-Performance Piezoelectric Nanogenerator with Multilayer Assembled Electrospun Nanofiber Mats for Self-Powered Multifunctional Sensors, ACS Applied Materials & Interfaces, 2018, 10(21), 18257–18269.
6. Pires, L.S.; Melo, D.S.; Borges, J.P.; Henriques, C.R. PEDOT-Coated PLA Fibers Electrospun from Solutions Incorporating Fe(III)Tosylate in Different Solvents by Vapor-Phase Polymerization for Neural Regeneration, Polymers 2023, 15, 4004.
7. Magatte N. Gueye, Alexandre Carella, Jérôme Faure-Vincent, Renaud Demadrille, Jean-Pierre Simonato, Progress in understanding structure and transport properties of PEDOT-based materials: A critical review, Progress in Materials Science, 2020, 108,100616.
8. S Mukherjee, R Singh, S Gopinathan, S Murugan, S Gawali, B Saha, J Biswas, S Lodha, and A Kumar, Solution-Processed Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Thin Films as Transparent Conductors: Effect of p-Toluenesulfonic Acid in Dimethyl Sulfoxide, ACS Appl. Mater. Interfaces 2014, 6, 20, 17792–17803
9. E Hosseini, V O Kollath and K Karan, The key mechanism of conductivity in PEDOT:PSS thin films exposed by anomalous conduction behaviour upon solvent-doping and sulfuric acid post-treatment, J. Mater. Chem. C, 2020, Vol.8, 3982-3990.
10. Y Liu, D Sun, S Askari, J Patel, M Macias-Montero, S Mitra, R Zhang, W-F Lin, D Mariotti and P Maguire, Enhanced Dispersion of TiO2 Nanoparticles in a TiO2/PEDOT:PSS Hybrid Nanocomposite via Plasma-Liquid Interactions, Scientific Reports, 2015, Article number 15765.
11. E G Langford, K D Shaughnessy, T C Devore, D Lawrence and C Constantin, E G Langford, K D Shaughnessy, T C Devore, D Lawrence and C Constantin, Analysis of PEDOT:PSS Films After Sulfuric Acid Treatment on Silicon and Fused Silica using FT-IR and UV-VIS, MRS Advances, 2016, Vol. 1 465-469.

MASSES OF NEUTRINO FLAVOUR STATES IN CASE OF NORMAL MASS HIERARCHY

Vali Huseynov Rasmiyya Gasimova Najiba Gadirli Nargiz Dashzarli
Department of Physics, Department of General Department of Physics Faculty of Department of Physics Faculty of
Baku Engineering University, Physics, Azerbaijan State Engineering, Baku Engineering Engineering, Baku Engineering
Baku, Azerbaijan, Pedagogical University, University, Baku, Azerbaijan University, Baku, Azerbaijan
vehuseynov@beu.edu.az Baku, Azerbaijan nqedirli1@std.beu.edu.az ndashzerli@std.beu.edu.az
gasimovar@yahoo.co.uk

Abstract: The work is devoted to the calculation of the masses of the neutrino flavour states. Using the experimental values of the
Pontecorvo-Maki Nakagava-Sakata matrix and the masses of the neutrino mass eigenstates, the masses of the electron neutrino,
muon neutrino and tauon neutrino are calculated in the case of the normal mass hierarchy.
Keywords*: neutrino, neutrino flavour, neutrino mass eigenstate, normal mass hierarchy*

INTRODUCTION

A neutrino is weakly interacting neutral massive particle. It is a fermion possessing the spin $\hbar/2$. The Pauli exclusion principle is satisfied for a neutrino. Therefore, it obeys the Fermi-Dirac statistics. The existence of a neutrino was firstly hypothesized by W. Pauli. One of the most important problems in Particle Physics is the determination of a neutrino mass. A neutrino is produced in a flavour state. There are three flavour states of a neutrino: an electron neutrino ν_e , a muon neutrino ν_μ and a tauon neutrino ν_τ. Each neutrino flavour consists of the superposition of three various mass eigenstates of a neutrino. There are the following mass eigenstates of a neutrino: ν_1, ν_2 and ν_3. The flavour states are expressed via the mass eigenstates as follows [1]:

$|\nu_e\rangle = U_{e1}\,|\nu_1\rangle + U_{e2}\,|\nu_2\rangle + U_{e3}\,|\nu_3\rangle$, (1)

$|\nu_\mu\rangle = U_{\mu1}\,|\nu_1\rangle + U_{\mu2}\,|\nu_2\rangle + U_{\mu3}\,|\nu_3\rangle$, (2)

$|\nu_\tau\rangle = U_{\tau1}\,|\nu_1\rangle + U_{\tau2}\,|\nu_2\rangle + U_{\tau3}\,|\nu_3\rangle$, (3)

The relations (1)-(3) can be written in a compact form

$|\nu_l\rangle = \sum_{i=1}^{3} U_{li}\,|\nu_i\rangle$, (4)

where U_{li} is the Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata matrix [2]. The experimental observation of neutrino oscillations, the existence of which was postulated by B. Pontecorvo [3], indicates that a neutrino has a non-zero mass. The latest results of the KATRIN experiment at the Karlsruhe Institute of Technology (Germany) show that $m_{\nu_e} < 0.8\ eV/c^2$ [4].

The purpose of the presented work is to calculate the masses of each neutrino flavour in the case of a normal mass hierarchy [2]

$m_{\nu_1} \ll m_{\nu_2} < m_{\nu_3}$. (5)

I. MASSES OF NEUTRINO MASS EIGENSTATES AND NEUTRINO FLAVOUR STATES IN NORMAL MASS HIERARCHY

In the case of a normal mass hierarchy, it was experimentally determined that the masses of the neutrino mass eigenstates satisfy the following relations:

$m_{\nu_2} \simeq \sqrt{\Delta m_{21}^2} \sim 8.6 \times 10^{-3}\ eV$, (6)

$m_{\nu_3} \simeq \sqrt{\Delta m_{32}^2 + \Delta m_{21}^2} \sim 0.05\ eV$. (7)

where $\Delta m_{21}^2 = m_{\nu_2}^2 - m_{\nu_1}^2$, $\Delta m_{32}^2 = m_{\nu_3}^2 - m_{\nu_2}^2$.
To calculate the effective mass of the neutrino flavour, we use the formula [1]

$m_{\nu_l}^{eff} = \left(\sum_{i=1}^{3} |U_{li}|^2 m_{\nu_i}^2\right)^{1/2}$. (8)

In the case of the normal mass hierarchy, $|U_{li}|^2$ is given by the following matrix [5]:

$$|U_{li}|^2 = \begin{pmatrix} 0.681 & 0.207 & 0.0214 \\ 0.109 & 0.352 & 0.539 \\ 0.210 & 0.351 & 0.439 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

If we consider the cases where $m_{\nu_1} \lesssim 10^{-1} m_{\nu_2}$ and $m_{\nu_1} \lesssim 10^{-2} m_{\nu_2}$, we obtain the corresponding values for the masses of the neutrino flavour. We present the results obtained for the masses of the neutrino flavour in Table 1.

Table 1. The masses of the neutrino flavours in *eV*

m_{ν_l}	$m_{\nu_1} \lesssim 10^{-1} m_{\nu_2}$	$m_{\nu_1} \lesssim 10^{-2} m_{\nu_2}$
m_{ν_e}	0.0087	0.0087
m_{ν_μ}	0.0371	0.0372
m_{ν_τ}	0.0335	0.0336

II. CONCLUSION

Thus, as can be seen from the Table 1, the mass of the lightest neutrino flavour belongs to an electron neutrino, i.e. $m_{\nu_e} \approx 0.0087 eV = 8.7 \times 10^{-3}\ eV$ and the mass of the heaviest neutrino flavour belongs to a muon neutrino, i.e. $m_{\nu_\mu} \approx 0.0372\ eV \approx 3.7 \times 10^{-3}\ eV$. The result obtained for an electron neutrino mass does not contradict to the result of the KATRIN experiment. Despite the fact, the mass of a tau-lepton ($m_\tau \approx 1.73\ GeV/c^2$) is much heavier than the mass of a muon ($m_\mu \approx 105.66\ MeV/c^2$), the mass of tau-neutrino is less than the mass of a muon neutrino.

REFERENCES

[1] C. Giunti and C. W. Kim, Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics, (Oxford University Press Inc.,
New York, the USA, 2007).
[2] S. Navas et al., (Particle Data Group), Phys. Rev. D **110**, 030001 (2024).
[3] B. Pontecorvo, Zh. Eksp. Teor. Fiz. **33**, 549 (1957) [Sov. Phys. JETP **6**, 429 (1957)].
[4] M. Aker et al., (KATRIN Collaboration). Nature Physics **18**, 160 (2022).
[5] E. Vitagliano, I. Tamborra and G. Raffelt, Rev. Mod. Phys. **92**, 45006 (2020).

AG PEG ULDUZUNUN 1990-2025-Cİ İLLƏR ÜÇÜN FOTOMETRİYASI

Ruslan Məmmədov
Naxçıvan Dövlət Universiteti Batabat Astrofizika Rəsədxanası
Naxçıvan, Azərbaycan
0000-0001-5879-1368 *ruslan_rtm@yahoo.com*

Xıdır Mikayılov
Bakı Dövlət Universiteti
Bakı, Azərbaycan
0000-0003-1277-7370 *mikailov.kh@gmail.com*

Aysel Rüstəmova
ETN N. Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanası
Bakı, Azərbaycan
0009-0003-9043-985X *aysel.rustemova@yahoo.com*

***Xülasə*:** Məqalədə girişdə simbiotik ulduzlar haqqında məlumat verilir. AAVSO (American Association of Variable Star Observers) fotometrik məlumat bazasında fotometrik məlumatların yüklənməsi qaydası göstərilir. AG Peg simbiotik ulduzun AAVSO fotometrik məlumat bazasından istifadə edilərək 35-illik (1990-2025-ci illər) dövr üçün Vis filtrdə parlaqlıq əyrisi qurulmuş və ulduzda gedən fiziki proseslər öyrənilmişdir.

Açar sözlər: *ulduzlar, simbiotik ulduzlar, ulduz ölçüsü, Ag Peg, fotometriya, parlaqlıq əyrisi.*

GIRIŞ

Tədqiq olunan AG Peg simbiotik ulduzu "General Catalogue of Variable Stars" (GCVS 5.1) kataloqunda qeydiyyata alınmış dəyişən ulduzdur [1]. Simbiotik ulduzlar, bir-birinə bağlı olan və müxtəlif növ ulduzlardan ibarət sistemlərdir. Simbiotik ulduzlar qoşa ulduz sisteminin bir növüdür. Onlar adətən Ağ cırtdan (WD- white dwarf) və Qırmızı nəhəngdən (RG-red giant) ibarət olur [2, 3, 4, 5]. Qırmızı nəhəng ulduz öz maddəsini ulduz küləyi vasitəsilə itirir, bu maddə isə adətən bir akresiya diski yaradaraq isti kompakt ulduzun üzərinə axır. Dumanlığın material mənbəyi öz maddəsini ulduz küləyi və ya pulsasiya vasitəsi ilə itirən qırmızı nəhəng, enerji mənbəyi isə isti ağ cırtdan hesab olunur Simbiotik ulduzları fotometrik və spektral davranışlarına görə kataklizmik və bəzən də eruptiv dəyişən ulduzlar qrupuna aid edirlər [6, 7].

Simbiotik ulduzların quruluşunu ümumiləşmiş formada aşağıdakı kimi təsvir etmək olar: Soyuq komponent + isti komponent + dumanlıq = simbiotik ulduz.

Simbiotik ulduzun soyuq komponenti
- Qırmızı nəhəng
- Sarı nəhəng
- İfrat nəhəng (pulsasiya edən dəyişən) ola bilər.

Simbiotik ulduzun isti komponenti isə
- Ağ Cırtdan ulduz
- Neytron ulduz ola bilər.

Təxminən 250-dən çox simbiotik ulduz məlumdur. Simbiotik ulduzlardan AG Peg bir çox xüsusiyyətlərinə görə tədqiqatçıların diqqətini cəlb etməkdədir [8, 9]. Bu ulduz qırmızı nəhəng və ağ cırtdandan ibarət sıx qoşa sistemdir. Sistem bütövlükdə qaz-toz dumanlığı ilə əhatə olunmuşdur.

AG Peg XIX əsrin ortalarından tədqiq olunur. AG Pegasi (AG Peg) ulduzu Fleminqin [10] apardığı ilk spektral müşahidələrlə astronomların diqqətini çəkən ən qədim simbiotik ulduzdur. Lundmark [11] göstərmişdir ki, 19-cu əsrin ortalarında ulduzun vizual ulduz ölçüsü (parlaqlığı) təxminən 9 idi. Maksimum parlaqlıq səviyyəsinə (təxminən 6 ulduz ölçüsü) 1870-ci illərdə çatmışdır. [8, 12, 13, 14]. Bundan sonra ulduzun parlaqlığı tədricən azalmış və partlayışdan əvvəlki səviyyəyə çatması təxminən 130 il davam etmişdir. Ulduzun orbital dolanma ~ 818 gün qəbul olunur [8, 15, 16]. Qırmızı nəhəngin kütləsi Günəşin

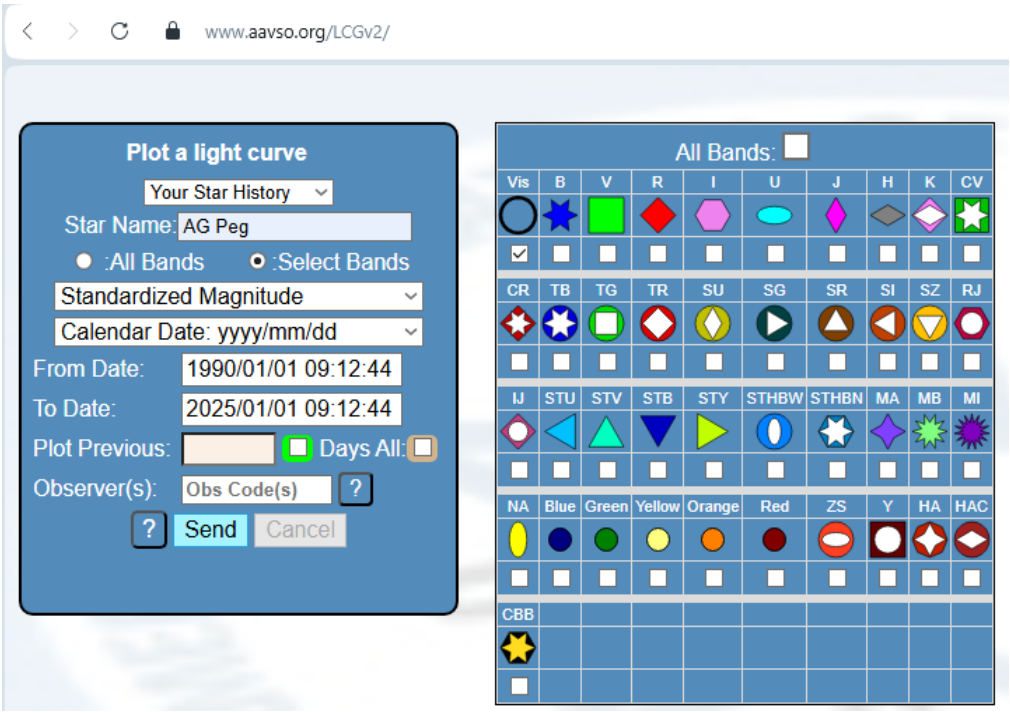
kütləsindən 2,6 dəfə böyükdür. Ağ cırtdanın kütləsi isə 0,6 Günəş kütləsi qədərdir. AG Peg ulduzunun Vis ulduz ölçüsü P=814.99^{d} periodla dəyişir [15, 16].

AG Peg simbiotik ulduzun yaxşı öyrənilməsinə baxmayaraq hər gün yeni müşahidə materiallarının alınması, yeni yanaşma metodları ulduz haqqında yeni və daha etibarlı nəticələr almağa, həm də ulduzun parametrlərinin əvəllər alınmış qiymətlərini dəqiqləşdirməyə imkan verir.

TƏDQIQAT METODU

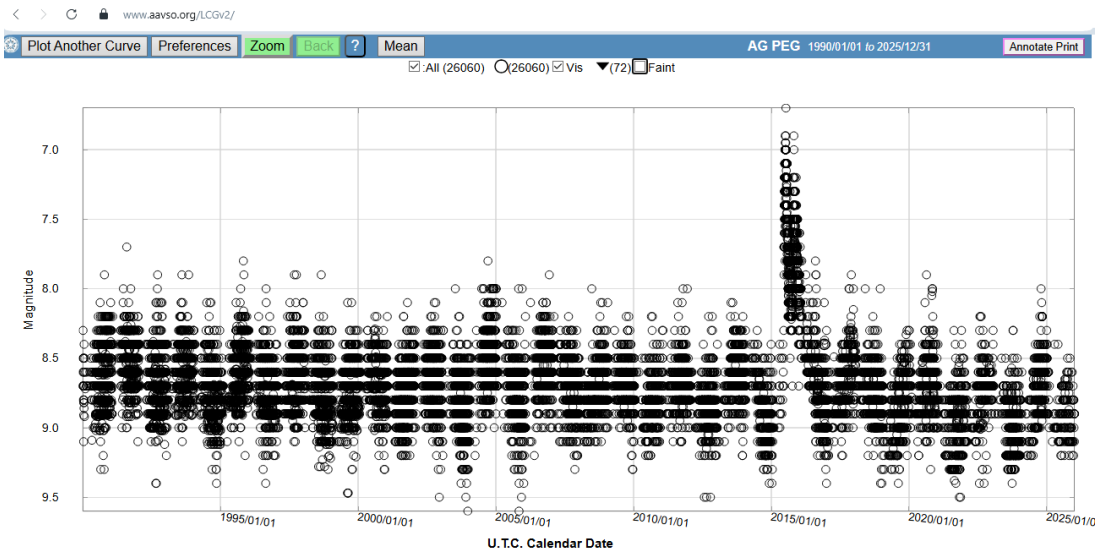
Hər hansı bir ulduzun görünən ulduz ölçüsünü tapmaq üçün ulduzun müxtəlif süzgəclərdə (UBVRİJK və s.) fotometrik müşahidələri aparılır. Dəyişən ulduzların müşahidələri adətən işıq əyrisi adlanan qrafik üzərində verilir. İşıq əyrisi bizə birbaşa imkan verir ki, ulduzun parlaqlığının dəyişməsində periodikliyi - dövrülüyü haqqında məlumat əldə edək. Tutulan qoşa ulduzların orbital periodlarını tapmağa, ulduzun requlyar və ya qeyri-requlyar püskürmələri haqqında mühakimə yürütməyə imkan verir. Parlaqlıq əyrisinin daha ətraflı təhlili ulduzların kütlə və ölçülərini hesablamağa imkan verir. Bir neçə il və ya onilliklər müşahidələr ulduzda baş verən dəyişikiyi aşkar etməyə imkan verir.

Bu işdə bizim əsas məqsədimiz AAVSO fotometrik məlumat bazasından istifadə edərək son 35 ildə AG Peg simbiotik ulduzunun parlaqlıq əyrisini qurmaq və orda baş verən prosesləri müzakirə etməkdir. məlumatların yüklənməsi üçün aşağıdakı adları çəkilən parametrlər əməliyyat sisteminə daxil edilir: ulduzun adı, seçilmiş fotometrik süzgəclər, başlanğıc və son tarixlər qeyd olunur və send komandası vurulur (şəkil 1).



Şəkil 1. Fotometrik məlumatların yüklənməsi.

Nəticədə AAVSO (American Association of Variable Star Observers) - Amerika Dəyişən Ulduz Müşahidəçiləri Assosiasiyası fotometrik məlumat bazasından istifadə edərək 35 illik dövr üçün AG Peg simbiotik ulduzun Vis filtrdə parlaqlıq əyrisi qurulmuşdur (şəkil 2) [17].

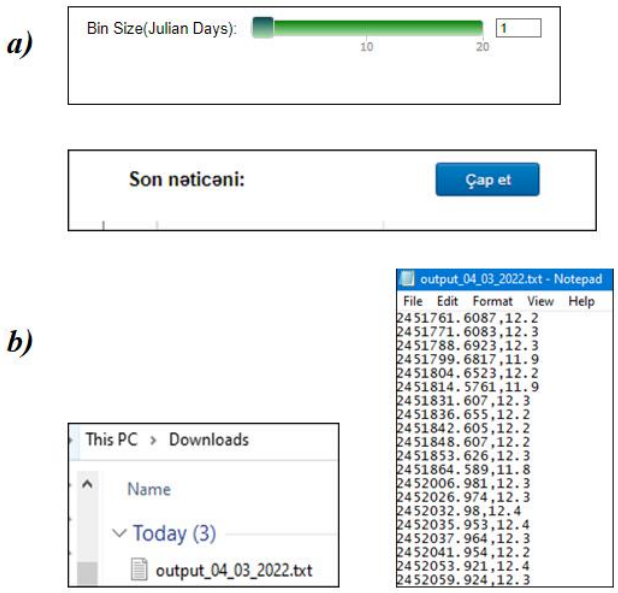


Şəkil 2. AG Peg simbiotik ulduzun 1990-2025-ci il dövrü Vis süzgəcində parlaqlıq əyrisinin bazada ümumi görüntüsü.

Şəkil https://www.aavso.org/LCGv2/ -dən götürülmüşdür. Şəkildə müşahidələrin sayı çoxluğundan biz müşahidə materiallarını aşağıdakı qaydada fotometrik məlumatları yükləyib qrafiki daha başa düşülən şəkildə qurduq. Ulduzun fotometrik müşahidə məlumatları AAVSO bazasından endirilməsi üçün "Plot a light curve" proqramının Xıdır Mikayılov tərəfindən hazırlanmış tədqiqatçı üçün daha əlverişli versiyasından istifadə olunmuşdur [3, 5, 15, 16].

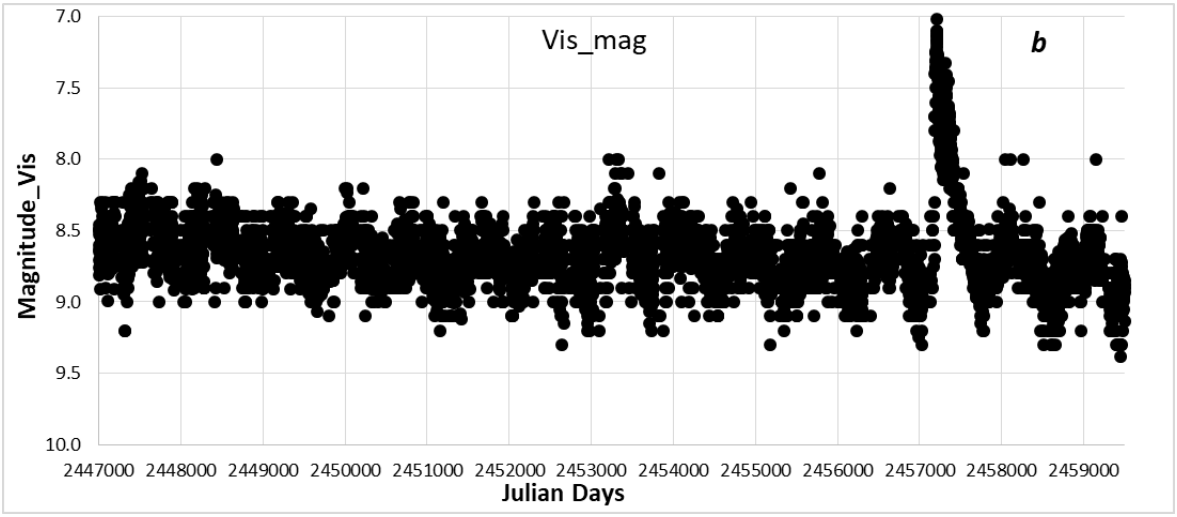
AAVSO verilər bazasından məlumatların mətn formatda yüklənməsi aşağıdakı ardıcıllıqla aparılır:

1. Zaman tezliyini seçirik. Yəni neçə gündən bir məlumat yüklənsin. Məsələn şəkil 3 *a*-da vaxt tezliyi 1 gün seçilib.
2. Çap et düyməsini sıxdıqdan sonra mətn formatında məlumatlar yüklənir (şəkil 3 *b*).



Şəkil 3. AAVSO verilənlər bazasından məlumatların mətn formatda yüklənmə ardıcıllığı.

Şəkil 4-də isə biz yuxarıdakı metoddan istifadə edərək 1990-2025-ci illər üçün (Julian tarixi ilə JD 2447000–JD 2460600) aralığı üçün parlaqlıq əyrisini qurmuşuq. Zaman intervalı 10 gün götürülmüşdür. Başqa sözlə desək hər bir nöqtə 10 günlük ölçmələrin ortalaşdırılmış qiymətidir.



Şəkil 4. AAVSO-nun məlumatlarına əsasən AG Peg simbiotik ulduzunun 1990-2025-ci il dövr üçün parlaqlıq əyrisi.

AG Peg simbiotik ulduzun kifayət qədər parlaq olması ($8^m \div 8.5^m$) onun həm fotometrik və həm də spektral olaraq yaxşı öyrənilməsinə imkan vermişdir. Şəkildən də göründüyü kimi ulduzun parlaqlığında dəyişmələr aydın gösrənir. Əvvəlki müşahidələrində məlum olduğu [14] kimi alışma zamanı ulduzun parlaqlığı 9 ulduz ölçüsündən 6 ulduz ölçüsünə qədər dəyişmişdir. Ama bu qrafikdə diqqət etsək görərik ki, ulduzun parlaqlığında müxtəlif ulduz ölçüsü qədər dəyişmələr baş verir. Yalnız 2015-ci ilin iyun-avqust aylarında ulduz müşahidə dövrünün (1990-2025-ci il aralığı üçün) ən parlaq vəziyyətində olaraq ulduz ölçüsü 8.7-dən 6.9 qədər artmışdır. Bu zaman ulduz ölçüsü 1.8 ulduz ölçüsü qədər dəyişib. Qalan vaxtlarda isə ümumi götürsək ulduzun parlaqlıq əyrisindən göründüyü kimi $1^m \div 1.5^m$ ulduz ölçüsü intervalında ulduzda kiçik modulyasiyalar, yəni dəyişmələr baş vermişdir. 2025-ci ildə isə ulduz ölçüsü 8.5 olmuşdur. Digər spektrofotometrik parametrlərlərlə birlikdə palaqlıq əyrisinin (LC-light curve) bu cür təkamülü indiyə qədər qeydə alınmış ən yavaş novaya xarakterikdir [9, 16].

NƏTICƏ

AG Peg simbiotik ulduzunun 35 illik (1990-2025-ci il) dövr üçün parlaqlıq əyrisi qurulmuşdur. Müşahidələr göstərdi ki, müxtəlif vaxtlarda ulduzda təkrarlanan aktiv prosesslər baş verir. Parlaqlıq əyrisindən müəyyən olunmuşdur ki, müşahidə müddəti ərzində ulduzda alışma baş vermiş və 1.8^m ulduz ölçüsü qədər dəyişmişdir. Ulduzda baş vermiş periodik hərəkət ulduzun orbital hərəkətilə izah olunur. Qırmızı nəhəngdən fasiləsiz olaraq ulduz küləyi ilə maddə axır və akkresiya nəticəsində ağ cırtdan ətrafında disk yaranır. Akkresiyanın sürətinin güclənməsi ulduzun parlaqlığının görünən oblastda dəyişməsinə səbəb olur.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

[79] N.N. Samus, E.V. Kazarovets, O. V. Durlevich, et al., General Catalogue of Variable Stars: Version GCVS 5.1, Astronomy Reports, 61 (1), 80-88, (2017). https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017ARep...61...80S/abstract

[80] Kh. M. Mikailov, R.T. Mammadov and I.A. Alakbarov, "750-Days Variability of the CH Cyg," Astronomıcal Journal of Azerbaıjan, 16(2) 37-43 (2021). https://aaj.shao.az/vol16_n2/AAJ_2021_V16_N2.pdf#page=36

[81] Kh. M. Mikailov, R. T. Mammadov. "Photometric flickering of the CH Cyg in 2018", East Europran Journal of Physics, 2, 38-42, (2025). https://periodicals.karazin.ua/eejp/article/view%20/25766/23443

[82] Kh. M. Mikailov, A.J. Orujova, R.T. Mammadov, I.A. Alakbarov, and O.V. Khalilov, "Analysis of spectral and photometric observations of the CH Cyg symbiotic star in 2018," Astronomıcal Journal of Azerbaıjan, 16(1) 4-21 (2021). https://aaj.shao.az/vol16_n1/AAJ_2021_V16_N1.pdf

[83] Kh. M. Mikailov, and R.T. Mammadov, "95-day variability in the light curve of the symbiotic star CH Cyg," in: *Proceedings of the XXI International Multidisciplinary Conference "Prospects and Key Tendencies of Science in Contemporary World*," (Bubok Publishing S.L., Madrid, 2022), pp. 67-71. https://www.internauka.org/conf/spain/21/343943
[84] Kh. M. Mikailov, R.T. Mammadov, B.N. Rustamov, and A.B. Rustamova, "Spectral Variability of the Symbiotic Star CH Cyg". Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: Part A: PS-671, 60(1), 9-13 (2023). https://doi.org/10.53560/PPASA(60-1)671
[85] Kh. M. Mikailov, R.T. Mammadov, I. A. Alakbarov and O. V. Khalilov, "High velocity absorption in the spectra of CH Cyg in 2017", Astronomıcal Journal of Azerbaıjan, 15(2), 82-90 (2020). https://aaj.shao.az/vol15_n2/AAJ_2020_V15_N2.pdf
[86] A. Skopal, S. Shugarov, M. Vanko, et al., "Recent photometry of symbiotic stars", Astronomische Nachrichten, 333, 242-255. (2012) https://doi.org/10.1002/asna.201111655
[87] G. Ramsay, J. L. Sokoloski, G. J. M. Luna, et al. and N.E.Nunez, "Swift observations of the 2015 outburst of AG Peg – from slow nova to classical symbiotic outburst", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 461(4), 3599-3606 (2016). https://doi.org/10.1093/mnras/stw1546
[88] Fleming W. P., 1894, Astron. Astro-Phys. (formerly The Sidereal Messen ger), 13
[89] Lundmark K., 1921, Astron. Nachr., 213, 93
[90] G. Ramsay, J. L. Sokoloski, G. J. M. Luna, et al. and N.E.Nunez, "Swift observations of the 2015 outburst of AG Peg – from slow nova to classical symbiotic outburst", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 461(4), 3599-3606 (2016). https://doi.org/10.1093/mnras/stw1546
[91] S. J. Kenyon, J. Mikolajewska, M. Mikolajewski, R. S. Polidan, & M. H. Slovak, "Evolution of the symbiotic binary system AG Pegasi - The slowest classical nova eruption ever recorded", Astronomical Journal, 106(4), 1573-1598 (1993). https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1993AJ....106.1573K
[92] T. V. Tomov, K. A. Stoyanov and R. K. Zamanov, "AG Pegasi – now a classical symbiotic star in outburst?", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 462(4), 4435-4441 (2016). https://doi.org/10.1093/mnras/stw2012
[93] X. M. Mikayılov, R. T. Məmmədov. A. B. Rüstəmova., "AG PEG simbiotik ulduzunun fotometrik müşahidəsi", Fizika, riyaziyyat və astronomiyanın müasir problemləri mövzusunda III Respublika elmi konfransının materialları, Naxçıvan Dövlət Universiteti, (Naxçıvan 12 may 2023), 175-179, https://ndu.edu.az/wp-content/uploads/Konfrans/fizika%20konfrans%20yeni%20en%20son05.02.2024.pdf
[94] Kh. M. Mikailov, R. T. Mammadov. A. B. Rustamova, L. R. Mammadova. "Photometric observations of symbiotic star AG Peg", East Europran Journal of Physics, 1, 156-160, (2026). https://periodicals.karazin.ua/eejp/article/view/28409/25013
[95] https://www.aavso.org/LCGv2/

THE FREQUENCY DEPENDENCE OF DIELECTRIC CONSTANT OF γ-İRRADİATED HDPE+ α-Al_2O_3 NANOCOMPOSITES

Aysel Nabiyeva Mammadli
MSU of Institute of Physics PLE
Baku, Azerbaijan aysel.nabiyeva21 @gmail.com

Musafir Guliyev
MSU of Institute of Physics PLE
Baku, Azerbaijan

Rafiga Ismayilova
MSU of Institute of Physics PLE
Baku, Azerbaijan

Gasimova Aygun
MSU of Institute of Physics PLE
Baku, Azerbaijan

Abstract: High-density polyethylene (HDPE) composites containing α-Al_2O_3 nanofiller were prepared by mechanical mixing at filler content of 0, 1, 3, 5, and 10 wt%. The dielectric properties of the obtained samples were investigated using dielectric spectroscopy (DS). The results indicate that the incorporation of α-Al_2O_3 nanoparticles modifies the dielectric behavior of HDPE, leading to higher dielectric parameters compared to the neat polymer. The dielectric constant (ε_r) was evaluated in the frequency range of 25 Hz–1 MHz at room temperature, and an increase in ε_r was observed with increasing filler content. These findings confirm that the addition of α-Al_2O_3 effectively influences the dielectric response of HDPE-based nanocomposites.

Keywords*: dielectric properties, irradiation, HDPE, α-Al_2O_3*

INTRODUCTION

Polymer-based nanocomposites have attracted significant attention in advanced electrical insulation systems due to their tunable dielectric performance and structural adaptability. Among them, high-density polyethylene (HDPE) is widely used as an insulating material because of its low dielectric loss, good chemical resistance, and favorable mechanical properties. However, the intrinsic dielectric characteristics of neat HDPE may not fully satisfy the increasing performance requirements of modern high-voltage [1] and microelectronic applications.

To overcome these limitations, inorganic nanofiller, silica, alumina and zinc oxide are usually incorporated into electrical insulating polymers to achieve specific electrical, mechanical, and thermal properties, in the power industry [2]. Compared to conventional microfillers, nanofillers introduce a substantially larger interfacial area between the dispersed phase and the polymer matrix, leading to the formation of an interphase region with distinct physicochemical properties. The dispersion of α-Al_2O_3 nanoparticles within a polymer matrix represents a well-established strategy for enhancing and controlling dielectric characteristics. As the filler concentration increases, the total interfacial surface area expands, significantly influencing polarization mechanisms, charge transport behavior, dielectric permittivity (ε_r), dielectric loss (tanδ). These changes are strongly dependent on external electric field frequency and temperature due to interfacial polarization and space charge effects.

In addition to filler modification, ionizing radiation particularly gamma irradiation is widely applied as a physical method for optimizing polymer structure. Gamma exposure induces competing processes such as crosslinking and chain scission, which alter molecular mobility, crystallinity, and defect density within the polymer matrix. These structural transformations directly affect dielectric relaxation behavior and electrical conductivity. Furthermore, irradiation can modify the interfacial region between HDPE and α-Al_2O_3 nanoparticles, potentially enhancing interfacial polarization depending on the absorbed dose.

Although numerous studies have examined the influence of filler content or gamma irradiation separately, their combined effect on the dielectric properties of HDPE/α-Al_2O_3 nanocomposites remains

insufficiently clarified. In particular, the interplay between filler-induced interfacial polarization and radiation-induced structural modification requires systematic investigation to optimize dielectric performance.

In this context, a systematic investigation of the combined influence of filler concentration and gamma irradiation dose is essential for optimizing HDPE/α-Al_2O_3 nanocomposites intended for electrical insulation applications.

EXPERIMENTAL

1. Materials.

The matrix polymer used in this work is a commercial white powder high density polyethylene (HDPE) with particle sizes of no more than 300μm. The various physical parameters of HDPE are as follows: density 958kg/m^3, melting temperature =130^{0}C, dielectric constant at 1 kHz = 2.3. As the filler α-Al_2O_3 with particle size 40nm was used without treatment.

2. Composite sample preparation.

In the former case [3], α-Al_2O_3 powder in the desired amount was mixed thoroughly with the HDPE powder in an agate pestle mortar for 0.5h. This process coated the α-Al_2O_3 powder on the surface of the HDPE particles, so it is referred to as prelocalization of the conductive phase. Prolonged mixing improved the homogeneity of the spatial distribution of the conductive particles and their uniform coating thickness on the HDPE particles. The tumble mixed prelocalized powders was prepared for different alumina contents of 0-10vol.%. Then, the α-Al_2O_3 composites were prepared by hot - pressing the powder mixture technique of. The mixing powder was filled in a tool steel having diameter 20mm. Then heated under pressure of 15MPa to a maximum temperature of 130^{0}C. After soaking period of 10 minutes, the samples of 20mm diameter and thickness 180-190 mkm cooled down to 0 ^{0}C in a water-ice mixture (quenching mode) at atmospheric pressure to eliminate porosity, bubbles or blisters. This procedure improves the electrical properties, minimizes the after – shrinkage and enhances the quality and appearance of the samples. Thus, composites containing 0-10vol.% α-Al_2O_3 in the HDPE matrix were prepared. The specimens were sealed in air free polyethylene bags prior to measurements to avoid atmospheric and humidity effects that may induce same changes in the conductivity of the specimens. The preparation mode of the composite makes it possible to obtain reproducible electrophysical parameters (electric resistance, capacitance, dielectric losses, Q quality) for most of some concentration. Some samples that had parameters differing from the parameters of the main group were not considered in the analysis (the number of these samples was not high).

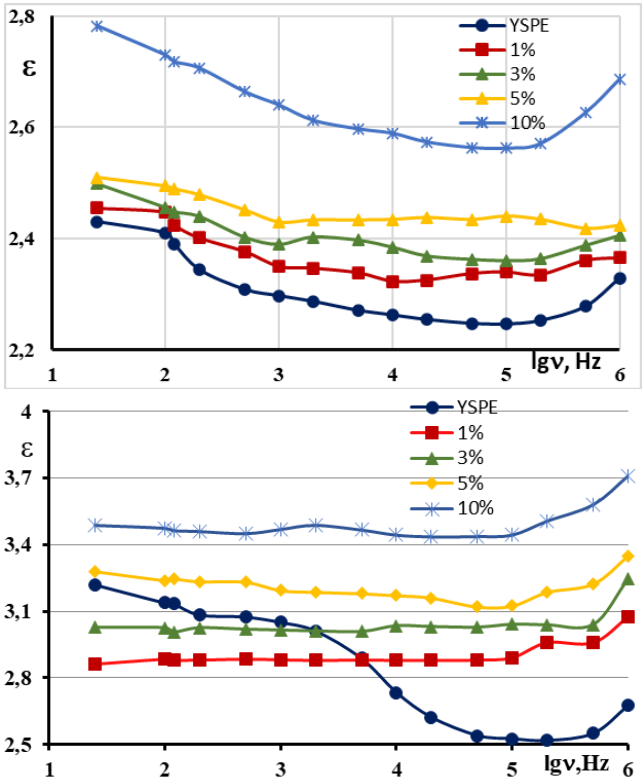
3. Measurements.

To provide better contact with measuring probe surface, the disk specimens for the dielectric and resistivity measurements were coated with conducting thin aluminum foil thickness of 7mkm at both sides as two electrodes. Samples were tested by two electrode schemes using a specially constructed sample holder shielded and grounded heated measuring cell of "sandwich" type, used for heating the samples, having system of measuring and potential electrodes with diameters of 15 mm and 20mm, respectively. For measurement the samples were clamped firmly between the clamping stainless-steel electrodes at a constant applied pressure of 5kq·sm^{-2}. The centering of the electrodes was provided by a special mandrel. For studying the dielectric properties, the capacitance (C) of the samples was measured using a broadband precision immittance meter (model E7-20, Belarus) from frequency 25 to 10^6Hz at room temperature. The dielectric constant (ε′) evaluated by the relation $\varepsilon' = CL/\varepsilon_0 S$ where ε_0 is the permittivity of the free space (8,854x10^{-12} F/m).

Results and Discussion

The influence of filler content on the frequency variations of the real part of the complex relative permittivity (ε_r) at room temperature (25ºC) can be seen in Fig1, which show before and after irradiaton. Its clearly seen from Fig1a. that ε_r values in HDPE+x%wt Al_2O_3 nanocomposites higher than in neat HDPE. For example, at 25Hz frequncy, dieletric constant of the pure HDPE, HDPE /1% α-Al_2O_3 , HDPE /3% α-Al_2O_3 , HDPE /5% α-Al_2O_3 , and HDPE /10% α-Al_2O_3 is 2,43; 2,45; 2,49; 2;51; 2,78, respectivly. The addition of nanofillers to HDPE increases the materials complex relative permittivity (ε_r) due to introduced dipoles [4]. For low content of nanofillers (0-5%) ε_r value for the unirradiated samples shows practically same curves for all the analysed frequencies.In the case of 10wt% filler level, ε_r value decreases up to 200kHz, then increases to the end of the frequency scale. This increase is due to especially at low

frequencies to the interfacial polarization induced by electrical charge at nanofiller-polymer interface, whose area grows as filler concentration increases [5]. On the other hand, as the frequency increases, the dipoles in the composite have insufficient time to align with the applied electric field, resulting in a decrease in the dielectric constant.



b)

Fig1. Frequency dependence of real part of the complex relative permittivity (ε′) of HDPE+x%wt α-Al_2O_3 a)before (D=0kGy) b) after (D=300kGy) irradiation

The results shown in Fig1b allow us to analyze the effects of the irradiation dosage from 0 to 300kGy on the dielectric behavior of the nanocomposites. It is clearly seen that dielectric constant increases with the increase of irradiation dose, for the γ-irradiated films dieletric constant of the pure HDPE, HDPE /1% α-Al_2O_3 , HDPE /3% α-Al_2O_3 , HDPE /5% α-Al_2O_3 , and HDPE /10% α-Al_2O_3 is 3,21; 2,86;3,02; 3,28; 3,48, respectivly. This increase may be associated with oxidative degradation and the presence of oxygen in air during irradiation [6]. In contrast, at higher filler content (e.g., 10 wt%), the interfacial area increases substantially, and Maxwell–Wagner–Sillars polarization becomes more pronounced. This leads to a stronger interfacial contribution to permittivity and, consequently, higher ε_r values. At low frequencies (especially in the range of 25–10^3 Hz), the dielectric response is mainly governed by interfacial polarization and space charge accumulation. As shown in Fig. 1b, the permittivity of pure HDPE exhibits a slight decrease in the 25 Hz–1 kHz frequency range, followed by a more pronounced reduction between 1 and 100 kHz. A comparison of irradiated and non-irradiated samples reveals that gamma irradiation affects the permittivity behavior of pure HDPE, whereas the permittivity curves of the nanocomposites remain nearly unchanged, indicating that the presence of nanoparticles stabilizes the dielectric response against radiation exposure. This behavior indicates a non-linear dependence of dielectric properties on α-Al_2O_3 filler concentration and suggests that the interfacial regions formed between HDPE and the nanoparticles, together with radiation-induced charge trapping, play a dominant role in governing the dielectric response of the nanocomposites.

CONCLUSION

The dielectric spectroscopy measurements showed the real part of permittivity of HDPE+ α-Al_2O_3 nanocomposites increases with increasing α-Al_2O_3 concentration for unirradiated samples. After exposure to a 300 kGy gamma dose, the permittivity increased over the entire investigated frequency range.and explained by oxidative degradation and the presence of oxygen in air during iradiationşş These results

suggest that both filler content and irradiation play a significant role in optimizing the dielectric response of HDPE+ α-Al_2O_3 nanocomposites.

REFERENCES

[1] K. Y. Lau, M. A. M. Piah. "Polymer Nanocomposites in High Voltage Electrical Insulation Perspective: A Review", Malaysian Polymer Journal, Vol. 6, No. 1, p 58-69, 2011 Available online at www.fkkksa.utm.my/mpj 58

[2] Han, J.; Garrett, R. Overview of polymer nanocomposites as dielectrics and electrical insulation materials forlarge high voltage rotating machines. NSTI-Nanotech 2008,2, 727–732

[3] Nabiyeva A.N. M.M. Guliyev, R.S. ISMAILOVA. "Effect of γ-radiation on dielectric properties of HDPE- α-Al_2O_3 nanocomposites" Journal of Baku Engineering University - Physics (2024).

[4] D. Tan, Y. Cao, E. Tuncer and P. Irwin, "Nanofiller Dispersion in Polymer Dielectrics," Materials Sciences and Applications, Vol. 4 No. 4A, 2013, pp. 6-15. doi: 10.4236/msa.2013.44A002

[5] Florin Ciuprina, Traian Zaharescu ,Ilona Pleşa. "Effects of γ-radiation on dielectric properties of LDPE–Al2O3 nanocomposites" Radiation Physics and Chemistry Volume 84, March 2013, Pages 145-150 https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.06.028

[6] M. M. Guliev, M. N. Bayramov, N. Sh. Aliyev, R. S. Ismayilova, and A. N. Nabiyeva Mammadli. "The Frequency and Dose Dependences of the Electrophysical Properties of HDPE/α-Fe_3O_4 Nanocomposites Modified by Gamma Irradiation" Vol. 62, No. 1, 2026.

APPLICATION AREAS OF INVERSE COMPTON SCATTERING

Vali Huseynov
Department of Physics Baku Engneering University, Baku, Azerbaijan
vehuseynov@beu.edu.az

Nargiz Abbasli
Department of Physics Faculty of Engineering Baku Engneering University, Baku, Azerbaijan
nabbasli4@std.beu.edu.az

Aytaj Isgandarova
Department of Physics Faculty of Engineering Baku Engneering University, Baku, Azerbaijan
aisgenderova2@std.beu.edu.az

***Abstract*:** The work is devoted to the investigation of the application areas of the inverse Compton scattering. It is noted that it is possible to get hard gamma-rays due to the scattering of soft photons by high and ultra-high energy electrons. It was clarified that using soft gamma rays it is possible to get high energy laser beam due to the inverse Compton scattering. It was also determined the inverse Compton scattering is responsible for X-ray and even gamma-ray radiation of the cosmic objects. The inverse Compton scattering can be applied effectively for obtaining the extremely high energy laser beam.

***Keywords**: Inverse Compton scattering, soft photons, hard photons, X-rays, gamma rays*

INTRODUCTION

One of the basic problems of modern Physics is to obtain extremely high energy laser beam. The extremely high energy photons are coming to the Earth from cosmic objects, including blazars. The other one of the most important problems in modern Physics is connected with the increasing of the energies of the cosmic microwave background radiation and extremely low-energy photons. All the above-mentioned problems are connected with increasing of the energy of the incident photons. These problems can be solved in the framework of the inverse Compton scattering. For this purpose, the scattering of a soft photon by a high-energy (even ultra-high) electron is considered. This process is resulted in significant increasing the energy

of the scattered photons. A lot of work are devoted to the investigation of the inverse Compton scattering [1-4]. The purpose of the presented work is to investigate the application areas of the inverse Compton scattering.

INVERSE COMPTON SCATTERING

When a high-energy photon scatters by an electron (positron) at rest, the wavelength (frequency) of the scattered photon increases (decreases). This phenomenon is called the Compton scattering [4-6]. The increase (decrease) of the wavelength (frequency) of the scattered photon is called the Compton effect. However, in the inverse Compton scattering a low-energy photon (a soft photon) scatters by a high-energy (even by an ultra-high energy) electron (positron)

$\gamma_{low} + e^{\pm} \rightarrow \gamma_{high} + e^{\pm}$ (1)

or a high-energy (even an ultra-high energy) electron (positron) scatters by a soft photon

$e^{\pm} + \gamma_{low} \rightarrow e^{\pm} + \gamma_{high}$ (2)

that results in increasing (decreasing) the frequency (wavelength) of the scattered photon. According to the formula

$\varepsilon_{\gamma'} = \hbar\omega$, (3)

the increase of the frequency of the scattered photon is equivalent to the increase of its energy where $\gamma' = \gamma_{high}$ denotes the photon in final state, ω is the circular frequency of the photon in the final state and $\hbar = 1.05 \times 10^{-34}\, J \cdot s$ is the reduced Planck constant.

III. ENERGY OF THE SCATTERED PHOTONS

Here, we consider the inverse Compton scattering of the ultra-relativistic electron by a "soft" photon. The results

of the investigations on the inverse Compton scattering □□□□show that when the kinematic parameter

$\kappa = \frac{2kp}{m_e^2} = \frac{2\omega(\varepsilon+|\vec{p}|)}{m_e^2} = \frac{4\omega\varepsilon}{m_e^2}$, (4)

the maximum energy of the scattered ("hard") photon is given by the formula □□□

$\varepsilon_\gamma = \frac{\kappa}{\kappa+1}\varepsilon$ (5)

where k and p are 4-momenta of the photon and electron in the initial state, respectively, m_e is the electron mass. When $\kappa \gg 1$ ($\varepsilon \gg m_e^2/\omega$), the maximum energy of the scattered ("hard") photon is close to the energy of the electron in the initial state $\varepsilon_\gamma \approx \varepsilon$.

We consider a head-on collision where the incident photons and electrons move toward each other, such that their momentum vectors are oppositely directed ($\vec{k} \uparrow\downarrow \vec{p}$). As a result of this interaction, a beam of "hard" (high- energy) photons is generated in the direction of the electron's initial momentum $\vec{p}$.

The differential cross-section for the scattered photons, which describes the intensity of the radiation at different energies, is given by [4]

$$\frac{d\sigma}{d\omega'} = \frac{2\pi r_0^2}{\kappa\varepsilon} = \left[1 + \frac{\omega'^2}{\varepsilon(\varepsilon-\omega')} + \left(\frac{2\omega'}{\kappa(\varepsilon-\omega')} - 1\right)^2\right] \quad (6)$$

where $r_0 = e^2/(m_e c^2)$ is the classical radius of an electron. This spectrum is monotonically increasing, reaching its peak at the maximum frequency ω'_m. For very high energies ($\kappa \gg 1$), the peak is extremely sharp at $\omega' \simeq \varepsilon$, concentrated near the initial electron energy ε.

IV. CONCLUSIONS

The study of the Inverse Compton scattering in the ultra-relativistic regime is crucial for understanding high-energy phenomena. Whether in the vicinity of pulsars or within particle accelerators, the efficient conversion of electron kinetic energy into high-energy photons remains a fundamental process in modern physics. The inverse Compton scattering is accepted as one of the main mechanisms responsible for the non-thermal emission of ultra-high-energy gamma-rays from the Crab Nebula.

This effect is also responsible for the explanation of the source of extremely high-energy gamma rays originated from blazars.

Since the Inverse Compton scattering enables the experimentalists to obtain "hard" photons, it can be applied effectively for obtaining the extremely high energy laser beam.

REFERENCES

[1] C. Curatolo et al. Physical Review Accelerators and Beams, 2017, vol. 20, Issue 8, id.080701.

[2] N. Ranjan et al. Physical Review Accelerators and Beams, 2018, vol. 21, Issue 3, id.030701

[3] L. Serafini and V. Petrillo. Physical Review Accelerators and Beams, 2024, vol. 27, Issue 8, id.080701.

[4] A.A. Sokolov, I. M. Ternov, V. Ch. Zhukovskii, A. V. Borisov. Kvantovaya elektrodinamika (in Russian). Moscow University Press, 1983.

[5] A.H. Compton. Physical Review, 1923, vol. 21, p.483. https://doi.org/10.1103/PhysRev.21.483

[6] I. Akhiezer, V. B. Berestetskii. Quantum Electrodynamics (in Russian). Moscow: Nauka, 1969.

EFFECT OF SEMICONDUCTOR FILLERS AND GAMMA IRRADIATION ON THE STRUCTURE OF PVA-BASED NANOCOMPOSITES

Aygun Gasimova
MSU of Institute of Physics PLE
Baku, Azerbaijan
a.a7787@mail.ru

Musa Nuriyev
MSU of Institute of Physics PLE
Baku, Azerbaijan

Aysel Nabiyeva Mammadli
MSU of Institute of Physics PLE
Baku, Azerbaijan

***Abstract*:** The present study is devoted to the investigation of the effect of nanofillers and gamma irradiation on the structural properties of PVA/CdS nanocomposites based on polyvinyl alcohol (PVA). The structural changes induced in the polymer matrix by the size and concentration of nanoparticles were studied using the small-angle X-ray scattering (SAXS) technique. The obtained results demonstrate that the size limitation of pores formed within the PVA matrix prevents the formation of large aggregates of CdS nanoparticles synthesized by the layer-by-layer chemical sorption method. This leads to the formation of a structurally stable and homogeneous nanoscale dispersion within the nanocomposite system.

***Keywords**: Polyvinyl alcohol (PVA), Small-angle X-ray scattering (SAXS), nanoparticles*

INTRODUCTION

Research on polymer-based nanocomposite materials remains one of the most relevant directions in modern materials science due to their tunable structure and multifunctional properties. In polymer–semiconductor composites, the size, dispersion, and spatial distribution of nanoparticles formed *in situ* within the polymer matrix critically determine the resulting physical properties, particularly when synthesis is carried out via layered ion sorption in pre-formed porous structures. Understanding the mechanisms of nanoparticle formation and the surface interactions with polymer chains is of great importance for expanding potential applications under harsh conditions, such as high temperatures and ionizing radiation. The investigation of the behavior of polymer–semiconductor nanocomposites under severe conditions, including high temperature and ionizing radiation, is of particular interest.

This is because the formation of nanoscale CdS particles within the polymer matrix and their exposure to gamma irradiation may lead to modifications in the structural organization, radical generation, and recombination processes, thereby influencing the physicochemical properties of the composites. In addition, the incorporation of chalcogenide nanoparticles not only increases the crystallinity, thermal stability, and mechanical strength of the polymer matrix, but also imparts optoelectronic functionality. In determining the size and agglomeration characteristics of nanoparticles, the small-angle X-ray scattering (SAXS) technique is considered a more effective and universal approach compared with electron

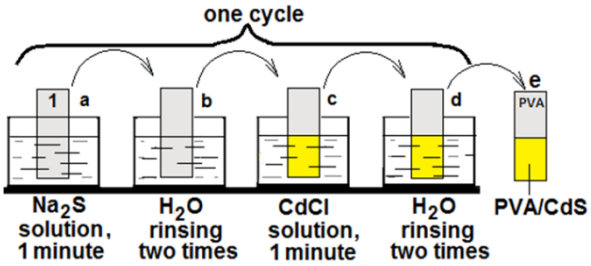
microscopy and conventional X-ray diffraction methods. Thus, the present study is devoted to the investigation of the structural characteristics of PVA/CdS nanocomposites obtained on the basis of polyvinyl alcohol (PVA), as well as to the effect of nanofiller and gamma irradiation, using the small-angle X-ray scattering (SAXS) technique. The nanocomposites were exposed to gamma irradiation from a Co-60 source at room temperature.

EXPERIMENTAL METHODS

Polymeric films for the formation of nanocomposites were cast into Petri dishes from a 1% solution of polyvinyl alcohol (PVA) in water with further drying. The nanoparticles in the volume of polyvinyl alcohol were formed by layered chemical sorption of ions from an aqueous solution of the corresponding salts into the pores of the PVA matrix pre-swollen in water. At this time, Cd^{+} ions from ~0.1 M solution of $CdCl_2$ salt in water are sorbed into the matrix as cations and S^{-} ions from ~0.05 M solution of Na_2S salt in water as anions. Finally, the following reaction results in the formation of CdS nanoparticles in the pores of the matrix and results in PVA/CdS nanocomposites.

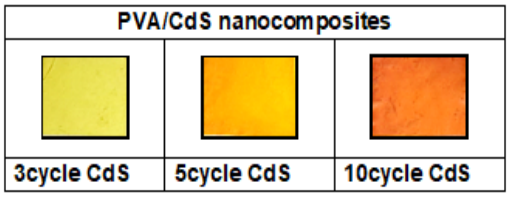
$CdCl_2 + Na_2S = CdS + 2NaCl$

After each ion sorption, the polymer films must be rinsed at least twice with distilled water to remove excess electrolyte. One cycle of nanoparticle formation corresponds to one act of sorption of cations and anions from each solution. The stages of nanocomposite formation and the obtained samples are described below (Figure 1).



The sequence of stages performed for one cycle during the formation of nanoparticles in a polymer matrix using the layered chemical sorption method: 1 - PVA layer; a - sorption of sulfur ions; b - double washing of the layer in distilled water; c - sorption of cadmium ions and formation of CdS nanoparticles; d - repeated double washing of the layer in distilled water; e - PVA/CdS nanocomposite.

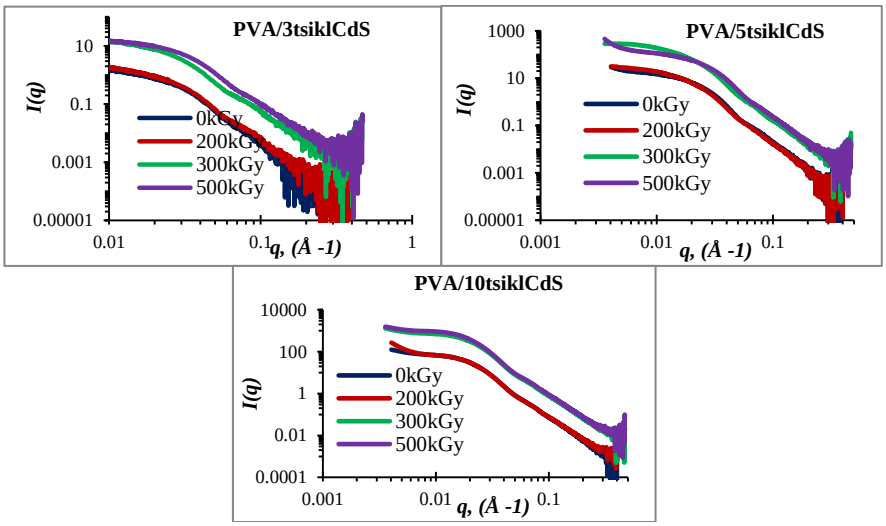
During the formation of PVS/CdS nanocomposites in one cycle, the sorption time of anions and cations from each solution was t = 1 min. The initial control of the formation of CdS nanoparticles in the PVA matrix was carried out by the colour change of nanocomposites after each cycle. Depending on the number of formation cycles, the colour of PVA/CdS nanocomposites varies from light yellow to orange. (Figure 2).



PVA/CdS nanocomposites formed in different cycles

RESULTS AND DISCUSSIONS

Small-angle X-ray scattering (SAXS) is one of the advanced techniques that enables the determination of the sizes of lamellar structures in polymer matrices as well as aggregates and nanoparticles distributed throughout the volume. A comparative analysis of the results obtained from the processing of the SAXS spectra of PVA/CdS nanocomposites in the Guinier ($0.004\ Å^{-1} \le q \le 0.01\ Å^{-1}$) and Porod ($0.04\ Å^{-1} \le q \le 0.1\ Å^{-1}$) regions is presented. In this context, an attempt is made to explain the changes occurring in the structure and properties of the PVA/CdS nanocomposites under the influence of the amount of formed nanoparticles and the gamma irradiation dose. A graphical representation of the obtained results is presented in the following figure (Figure 3).

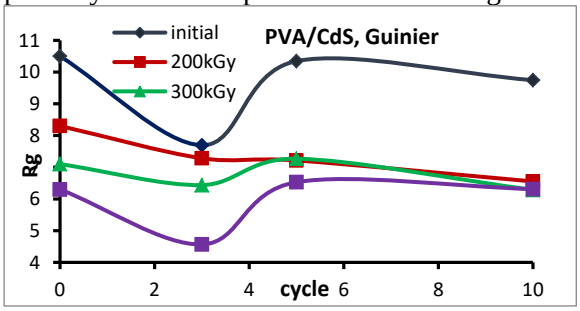


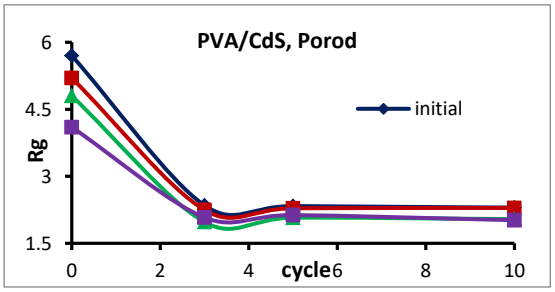
SAXS spectra of initial and irradiated PVA/CdS nanocomposites with different compositions.

The structural characteristics of PVA/CdS nanocomposites synthesized by the chemical sorption method were investigated in detail based on the results of small-angle X-ray scattering (SAXS) analysis. The analysis of SAXS intensity spectra, describing the dependence of scattering intensity *I(q)* on the scattering vector *q*, provides important information about the influence of the internal porous structure of the matrix on the size distribution and morphological features of nanoparticles formed as a result of chemical sorption. Calculations performed for the SAXS spectra of PVA/CdS nanocomposites using the parameters corresponding to the Guinier region ($0.004\ Å^{-1} \le q \le 0.01\ Å^{-1}$) made it possible to determine the characteristic radius of gyration (R_g) of nanoparticles confined within the pores of the matrix. The dependence of the obtained R_g values, corresponding to the nanoparticle size, on the number of synthesis cycles indicates that the formed particles possess a limited size distribution range. This suggests the absence of large aggregates in the sample and confirms that the structural elements are predominantly at the nanoscale. With increasing gamma irradiation dose (200 → 300 → 500 kGy), a general decrease in the R_g values is observed at all sorption stages. This behavior likely indicates a transition of the nanocomposite system toward a denser and more compact structure as a result of crosslinking processes induced by gamma radiation. Gamma irradiation leads to an increase in the concentration of crosslinks both between the polymer chains within the matrix and in the interfacial layer between the matrix and CdS phases. As a consequence, the distance between particles decreases and the void fraction is reduced. Since these structural changes occur not only at the surface but throughout the entire volume of the material, it can be concluded that the process exhibits a mass fractal character.

The analysis of SAXS results in the Porod region provides important information about the surface morphology and structural changes of nanoparticles in the PVA/CdS nanocomposite system. The Porod region corresponds to the range of $0.04\ Å^{-1} \le q \le 0.1\ Å^{-1}$, where the variation of the scattering intensity follows a power-law dependence ($I(q) \sim q^{-n}$), which characterizes the properties of surface interfaces.

According to the classical Porod law, the slope should be $n \approx 4$ for ideally smooth surfaces. However, the Porod parameter observed in the presented graph is noticeably smaller than this value for all samples. This indicates the presence of a surface fractal structure in the system and demonstrates that the surface is not perfectly smooth but possesses a certain degree of roughness.





Dependence of the mass and surface fractal dimensions, calculated from the Guinier and Porod regions of the SAXS spectra, on the number of cycles

Based on the results presented in the figure, no significant decrease in the Porod region is observed with increasing gamma irradiation dose compared to the matrix. This indicates that the interfacial surface in the nanocomposite structure becomes more complex and irregular. In other words, under the influence of irradiation, a structural reorganization process occurs at the surface of CdS nanoparticles located in the PVA pores and in the interfacial region between the nanoparticles and the matrix, associated with crosslinking and/or destruction processes. This observation suggests that CdS nanoparticles are more uniformly dispersed within the PVA matrix rather than forming clusters, and that the formation of large aggregates is limited.

CONCLUSION

In conclusion, the analysis performed in the Porod region shows that the size limitations of the porous structure and the configuration of the polymer matrix prevent the formation of large nanoparticle aggregates and promote the formation of a more stable and homogeneous nanoscale structure in the system. These results also indicate that, as a result of the sorption of CdS into the PVA matrix, the radius of gyration (R_g) of the structural elements decreases and subsequently stabilizes. An increase in the gamma irradiation dose leads to a transition of the surfaces toward a more compact and smoother state. The fact that the changes in R_g mainly occur at the initial stage and then become stabilized at later stages suggests that the process is characterized not by a mass fractal nature but predominantly by a surface fractal character**.**

REFERENCES

[1] Sebastian Jaksch, Small-Angle Scattering, European Spallation Source (ESS), Lund, Sweden September 22, 2023, 39 pp.; https://doi.org/10.48550/arXiv.1901.07353

[2] Remiš, T.; Bˇelský, P.; Kováˇrík, T.; Kadlec, J.; Ghafouri Azar, M.; Medlín, R.; Vavru ˇnková, V.; Deshmukh, K.; Sadasivuni, K.K. Study on Structure, Thermal Behavior, and Viscoelastic Properties of Nanodiamond-Reinforced Poly (vinyl alcohol) Nanocomposites. Polymers 2021, 13, 1426. https://doi.org/10.3390/polym13091426

GRAVITATIONAL LENSING AND THE ROLE OF DARK MATTER

Nabi Shadiyev
Baku Engineering University
Engineering
Baku, Azerbaijan
nshadiyev@std.beu.edu.az

Abstract: Gravitational lensing is a phenomenon in which images of distant objects are distorted, multiplied, or intensified due to the gravity of massive structures. The path of light can be bent by gravitational field of objects with high mass, resulting in the effect known as gravitational lensing. Dark matter is a form of matter that cannot be observed, but it still has mass and creates a gravitational field. It plays an important role in many cosmic phenomena, including gravitational lensing.

Keywords*: gravitational lensing, dark matter, WIMPs, cosmic structures*

INTRODUCTION

Gravitational lensing is one of the many effects used by astronomers to study our universe and its history. Just like a normal lens, gravitational lensing bends light, thereby multiplying the object's image or intensifying its luminosity. Dark matter is a hypothetical type of matter that does not emit light, but can be detected through its gravitational influence in such processes as the formation of galaxies, the motion of

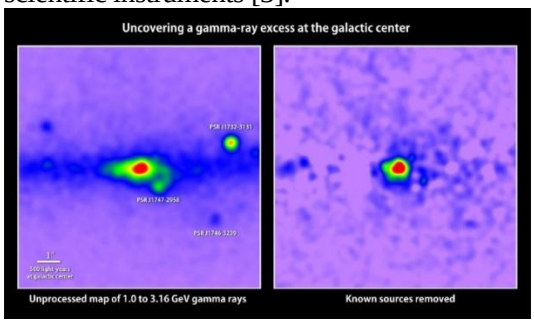
galaxies within galaxy clusters, and gravitational lensing. Gravitational lensing, the nature of which will be explained in this article, is one of the key effects that support the existence of such invisible dark matter.

WHAT IS DARK MATTER

In modern astronomy, dark matter is a non-luminous (does not emit, reflect, or absorb light) form of matter that cannot be observed using telescopes, but can show its presence by its gravitational pull. In the standard model of modern cosmology, dark matter makes up 85% of the total mass of our universe [5]. We can observe its gravitational influence in numerous phenomena. For example, the density of luminous matter of spiral galaxies decreases as we move from the center. Therefore, the rotational velocity should decrease as the distance from the center increases. But in real-life examples we observe that the velocity remains approximately constant. This effect supports the existence of non-luminous dark matter in spiral galaxies [6].

PHYSICAL NATURE OF DARK MATTER

In modern physics, there is no exact explanation for the nature of dark matter. One of the leading hypotheses suggests WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles) as particles that may constitute dark matter. When WIMPs collide, there are two possible outcomes. This collision can annihilate both particles or create an intermediate decaying particle. More importantly, this collision may result in the production of the most energetic form of electromagnetic radiation – gamma rays. These rays can be detected by scientific instruments [3].



Gamma radiation comparison [3]

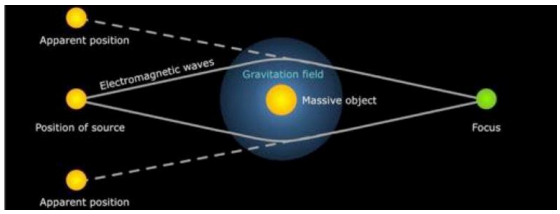
In 2014, researchers analyzed all gamma-ray radiation from near the center of our galaxy and subtracted all of the known gamma-ray radiation sources. As a result, they could still observe a remaining signal (Figure 1), which is considered a possible indication of dark matter, although this proof still remains debatable [3].

LIGHT AND GRAVITY

To understand the concept of gravitational lensing, we first need to explain the nature of light and gravity. Light is an electromagnetic wave that travels at the speed of 299,792,458 m/s in a vacuum. Light can be described both as a wave and a particle (photon) and it has no rest mass. With no gravity present, light moves in a straight line, and the path light follows does not depend on its mass. However, gravitational curvature of spacetime can curve the line that light follows, therefore, changing its path. Gravity is a fundamental interaction that can be described either as a curvature of a four-dimensional spacetime. Objects with high mass can bend the spacetime, therefore creating a gravitational field. When light passes such massive objects, its direction can change, which is the key principle for understanding gravitational lenses [4].

GRAVITATIONAL LENSING

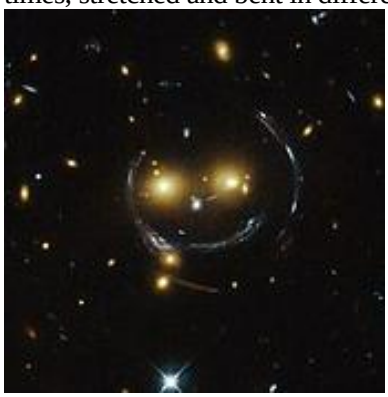
Gravitational lensing is a phenomenon of objects or structures with mass warping spacetime and acting as a lens that bends light from a distant source (Figure 2). This phenomenon is predicted by Einstein's theory of General Relativity. Depending on the mass of the object acting like a lens, the effect can be weak or strong.



Gravitational Lensing [2]

A. STRONG GRAVITATIONAL LENSING

Strong gravitational lensing occurs when the mass of the object that acts as a lens is very high, such as galaxies or galaxy clusters. This effect results in the image of the distant object being duplicated several times, stretched and bent in different ways or appearing brighter due to the increased luminosity [8].



Galaxy cluster SDSS J1038+4849 [2]

For example, Figure 3 shows a galaxy cluster called SDSS J1038+4849, which is famous for its appearance resembling a smiley face. Actually, the eyes are elliptical galaxies, while the arcs are distant galaxies that were gravitationally lensed. The gravitational lensing effect distorts the image of distant galaxies, stretching their shapes. This is the result of light from those galaxies being bent under the influence of the gravitational field created by massive objects [2].

B. WEAK GRAVITATIONAL LENSING

Unlike strong gravitational lensing, which severely distorts or even multiplies the image of an object, weak gravitational lensing results in only slight distortions. The effect of weak lensing can only be detected statistically over large populations of galaxies. Despite the fact that this effect can at first be unnoticeable, weak gravitational lensing is one of the main techniques used for studying dark matter [7].

ROLE OF DARK MATTER

The mass of visible matter alone often is not sufficient to produce strong gravitational lensing. In such cases, dark matter plays a crucial role; its high mass creates additional gravitational influence that becomes enough to bend the direction of light and create a gravitational lensing effect. By analyzing the effect of gravitational lensing, scientists can calculate the mass, density, and distribution of dark matter. Both weak and strong lensing effects provide enough information to map the distribution of dark matter even in regions where no luminous matter is present. Knowing the distribution of dark matter can help us better understand its nature and large-scale structure of the universe [1].

CONCLUSION

In conclusion, gravitational lensing is a powerful tool and an exceptional phenomenon that helps us understand the universe better. By using this effect, we can calculate the mass of distant objects and detect the presence of dark matter. Although we cannot see dark matter and its true nature is yet to be discovered, it still shows its presence by gravitational interactions with cosmic structures. Understanding the nature of dark matter is important for advancing our knowledge of the structure of our universe.

References

[1] J. Kazmierczak and B. Mattson, “How gravity warps light,” NASA Universe Web Team. [Online]: https://science.nasa.gov/universe/how-gravity-warps-light/

[2] NASA, “Hubble gravitational lenses,” 2024. [Online]: https://science.nasa.gov/mission/hubble/science/science-behind-the-discoveries/hubble-gravitational-lenses/

[3] F. Reddy, “Fermi data tantalize with new clues to dark matter,” NASA, 2014. [Online]: https://www.nasa.gov/universe/fermi-data-tantalize-with-new-clues-to-dark-matter/

[4] P. Gibbs, “Does light have mass?” DESY, 1997. [Online]: https://www.desy.de/user/projects/Physics/Relativity/SR/light_mass.html

[5] NASA, “Hubble dark matter,” 2024. [Online]: https://science.nasa.gov/mission/hubble/science/science-behind-the-discoveries/hubble-dark-matter/

[6] P. Salucci, “The distribution of dark matter in galaxies,” arXiv:1811.08843, 2018.

[7] J. Prat and D. Bacon, “Weak gravitational lensing,” arXiv:2501.07938, 2025.

[8] R. Massey, T. Kitching, and J. Richard, “The dark matter of gravitational lensing,” Reports on Progress in Physics, arXiv:1001.1739, 2010.

GeS LAYLI KRİSTALIN ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİNƏ MÜXTƏLİF DOZALI QAMMA ŞÜALARIN TƏSİRİ

Aydın Ələkbərov Fidan Əmirova
Bakı Mühəndislik Universiteti Bakı Mühəndislik Universiteti
Fizika kafedrası Fizika kafedrası
Xırdalan, Azərbaycan Xırdalan, Azərbaycan
aelakberov@beu.edu.az famirova@beu.edu.az

Xülasə: GeS laylı monokristalı spektrin görünən və yaxın infraqırmızı oblastlarında fotohəssas yarımkeçirici birləşmə olduğundan fotodetektorların, elektron açarların, sperkondensatorların hazırlanmasında perspektivli maddə hesab olunur. Onun praktiki tətbiq imkanlarını genişləndirmək üçün müxtəlif üsullardan istifadə olunur. Belə yanaşmalardan biri də aşağı dozalı qamma şüalarının təsiridir. Tədqiqat işində GeS laylı monokristalının elektrik keçiriciliyinə müxtəlif dozalı (30÷100 krad) qamma şüaların təsiri öyrənilmişdir.

Açar sözlər: *laylı monokristal, yarımkeçiricilər, elektrik keçiriciliyi, qamma şüalanma, şüalanma dozası, radiasiya defektləri*

1. GİRİŞ

Laylı monokristallar fiziki-kimyəvi xassələrinə görə yarımkeçirici maddələr arasında xüsusi yer tutur. Yüksək cilalanma səthinə, laylar arasına böyük ion radiusuna malik keçid elementlərinin interkalyasiya edilməsinin mümkünlüyünə, maraqlı səth və aşırma hadisələrinə malik olması onlardan müxtəlif təyinatlı elektron cihazlar hazırlamaq imkanları yaradır [1]. Son on beş il müddətində ABŞ-ın Şimali Korolina Universitetinin alimlərinin GeS kristalından superkondensator, nanotranzistor hazırlamaları onun perspektivli yarımkeçirici birləşmə olduğunu sübut edir [2-5].

Yarımkeçiricilər fizikasının inkişafı göstərdi ki, çox geniş tətbiq imkanlarına malik maddələrin praktiki tətbiq imkanlarını genişləndirmək, onlarda baş verən elektron proseslərini idarə etmək üçün müxtəlif yanaşmalardan istifadə olunmuşdur. Belə yanaşmalardan biri də yarımkeçirici maddələrə və strukturlara müxtəlif təbiətə və intevsivliyə malik zərrəciklər seli vasitəsi ilə təsir etməkdir.

İyirminci əsrin 80-ci illərinə qədər hesab edilirdi ki, müxtəlif təbiətli radiasiya şüaları kristalların və amorf maddələrin strukturunu deqradasiya etməklə onların fiziki-kimyəvi xassələrini dəyişdirir, cihaz və strukturları praktiki baxımından əhəmiyyətsiz edir. Lakin sonradan aparılan çoxsaylı tədqiqatlar göstərdi ki, şüalanmanın növündən, dozasından asılı olaraq belə təsirlər nəinki strukturu deqradasiya edir, əksinə orada mövcud olmuş müxtəlif defektləri (Şottki, Frenkel defektlərini, dislokasiyaları və s.) aradan qaldırmaqla nizamlı struktur yaradır [6-8].

$A^{IV}B^{VI}$ tip yarımkeçirici maddələr qrupuna daxil olan GeS birləşməsi kristal halında həm laylı, həm də iynəşəkilli formada, nazik təbəqələri isə kristallaşmaya meyilli amorf halda mövcuddur. Maddənin belə geniş modifikasiyada, spektrin görünən və yaxın infraqırmızı oblastlarında fotohəssas yarımkeçirici maddə olması onun tətbiq imkanlarını daha da genişləndirir [9].

2. EKSPERİMENTİN METODİKASI

GeS polikristalını sintez etmək üçün xüsusi müqaviməti 50 Om·sm olan Ge monokristalından, təmizlik dərəcəsi 99,999% olan B5 markalı kükürddən istifadə olunmuşdur. Sintez prosesi СУОЛ-1 markalı elektrik sobasında aparılmışdır.

GeS monokristalı Bricmen sobasında yetişdirilmişdir. Yuxarı zonanın temperaturu GeS kristalının ərimə temperaturundan (658° C) 50° C yuxarı, aşağı zonanın temperaturu 50° C seçilmişdir. Kvars ampulanın sobada hərəkət sürəti 2 mm/saat olmuşdur. Yetişdirilmiş GeS monokristalları 450° C-də, 100 saat müddətində termik dəmləməyə qoyulmuşdur.

Monokristal РХУНД-20000 qurğusunda, Co^{60} mənbəyindən şüalandırılmışdır.

Nümunələrin volt-amper xarakteristikasında B7-27 markalı unversal voltmetrindən, ИВН-2000 markalı sabit cərəyan mənbəyindən istifadə olunmuşdur.

Nümunələr otaq temperaturunda aparılmış, omik kontaktların vurulması üçün gümüş pastasından istifadə olunmuşdur.

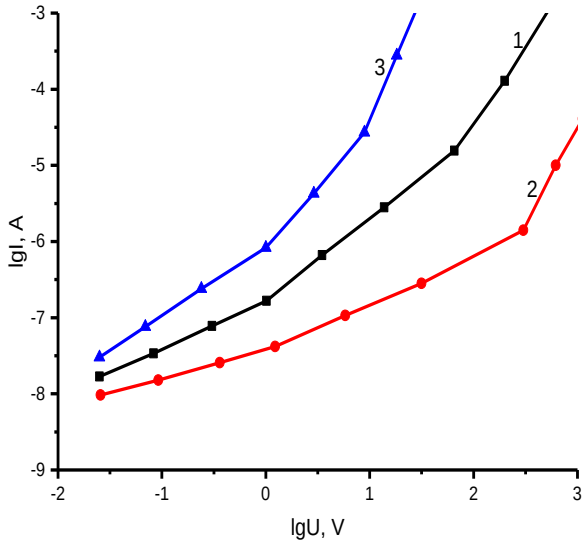
3. EKSPERİMENTİN TƏHLİLİ

1-ci şəkildən görünür ki, müxtəlif dozalı şüalanmadan əvvəl və sonra kristalın volt-amper xarakteristikasında (VAX) əsaslı dəyişiklər baş verir. Gərginliyin eyni qiymətində 30 krad şüalanmaya məruz qalmış laylı kristalda cərəyan şiddəti, digər kristallarla müqayisədə bir neçə tərtib artır.

GeS kristalına 30 krad dozada qamma şüaları ilə təsir etdikdə, Kompton effekti nəticəsində səpilən elektronlar məxsusi defektləri kristalda miqrasiya etdirərək kation vakansiyalarını annihilyasiya edir. Nəticədə yükdaşıyıcıların konsentrasiyası kəskin azalır, yükdaşıyıcıların yürüklüyü artır. Şüalanmanın təsiri nəticəsində yaranan radiasiya defektlərinin bir hissəsi ya kristalda rekombinasiya olunur, ya da müxtəlif təbiətli səpilmə mərkəzləri yaradır. Xarici sahənin təsiri ilə elektrodlardan qopan yükdaşıyıcılar çox az sayda aşqarlardan səpildiyindən cərəyan şiddətinin kəskin artmasına səbəb olur.

Şüalanma dozasını 60 krad etdikdə kristalın strukturunda yeni nəsil defektlərin–radiasiya defektlərinin yaranması elektrik keçiricilik mexanizminə mənfi təsir etdiyindən cərəyan şiddətinin kəskin azalması qeydə alınır. 100 krad dozada qamma şüaların təsirinə məruz qoyulmuş GeS laylı monokristalının səth morfologiyasının, rentgen-quruluş analizinin təhlili göstərir ki, həmin kristalın quruluşunun deqradasiya olunmasına onun və tətbiq imkanlarının məhdudlanmasına səbəb olur.

Aparılan kompleks təhlillər onu göstərir ki, şüalanmanın dozasının maddənin fiziki-kimyəvi xassələrinə təsiri həmin maddənin növündən, kimyəvi rabitənin təbiətindən, kristalın fəza simmetriyasından asılıdır. Bu səbəbdən də, verilmiş kristal üçün, şərti olaraq aşağı dozalı qamma şüaları kristalda defektlərin annihilyasiya olunmasına, onların kristal boyu miqrasiya olunmaqla nizamlı strukturun yaranmasına şərait yaradır. Belə şüalanmadan sonra struktur və cihazın parametrlərini yaxşılaşdırmaq üçün əlavə olaraq termik və lazer dəmləmələri (temperatur və müddətini nəzərə almaqla) aparıldıqda onların etibarlılığını və istismar müddətini aparmaq mümkün olur [10-12].



Şəkil 1. *GeS laylı monokristalının volt-amper xarakteristikası.*
1-D=0; 2-D=30krad; 3-D=60krad.

4. NƏTİCƏ

GeS laylı monokristalının elektrik keçiriciliyinə (otaq temperaturunda) müxtəlif dozalı (30÷100 krad) qamma şüalarının təsirini tədqiq etmək üçün aparılmış ekesperimentdən aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

–aşağı dozalı (30 krad) qamma şüalanma strukturdakı müxtəlif təbiətli defektləri kristal boyu miqrasiya etdirməklə annihilyasiya etdirərək nizamlı struktur yaratmaqla elektrik keçiriciliyini kəskin şəkildə artırır;

–yuxarı dozalı qamma şüalanma kristalda yeni nəsil radiasiya defektləri yaratmaqla elektrik keçiriciliyinin kəskin azalmasına, kristalın struktunun deqradasiya olunmasına səbəb olur;

–kristalların şüalanmasının optimal dozası kristalın tərkibindən, fəza simmetriyasından və kimyəvi rabitənin təbiətindən asılıdır.

ƏDƏBİYYAT

[1] Г.П.Ковтун, А.А.Веревкин, "*Наноматериалы: технология и материаловедение,"* Харьков: ННЦ, ХФТИ, 2010, 73 с.
[2] Parthiban R., Dohyun K., Da-Hye L., Hyun-Soo R and Jong-Soo L, "Solution Synthesis of GeS and GeSe Nanosheets for High-Sensitivity Photodetectors," Journals of Materials Chemistry C, 2016, V.4, pp. 479-485.
[3] Rajesh K.U., Yi-Ying L., Chia-Yung K., Srinivasa R.T., Raman S., Karunakara M.B., Ankur A., "High Photosensivity and Broad Spectral Response of Multi-Layered Germanium Sulfide Transistors," Nanoscale, 2016, V.8, pp.2284-2292.
[4] Shu M.T., Chun K.Ch., David S., Zdenek S and Martin P, "Electro-chemistry of Layered GaSe and GeS: Applications to ORR, OER and HER," Physical Chemistry Chemical Physics, 2016, V.18, pp. 1699-1711.
[5] Li Chun, Huang, Snigdha Pondur Gayatri, Yu Yifi and Cao Linyou, "Role of Boundary Layer Diffusion in Vapor Deposition Growth of Chalcogenide Nanosheets," ACS Nano, 2012, Vol. 6, No. 10, pp. 8868-8883.
[6] В.Т.Мак, "Новая модель эффекта малых доз полупроводниках," Письма в ЖТФ, 1989, Vol. 15, No. 4, p.17.
[7] В.Т.Мак, "Зависимость темновой проводимости монокристаллов CdS от энергии облучающих электронов," ФТП, 1996, Vol. 30, No. 2, p. 292.
[8] А.П.Мамонтов, И.П.Чернов , "Эффект малых доз ионизирующего излучения," Дельтаплан, Томск, 2009, 209 с.
[9] Р.С.Мадатов, А.С.Алекперов, О.М.Гасанов, "Эффект переключения и памяти в слоистых кристаллах GeS," Прикладная физика, 2015, No. 4.
[10] R.S.Madatov, A.S.Alekperov, G.S.Mikailova, "The Influanse of Gamma Irradiation on GeS Monocrystal Solar Converter," The Seventh Eurasion Conference Nuclear Sciense and its Application, Book of Abctracts, 2014.
[11] Р.С.Мадатов, А.С.Алекперов, О.М.Гасанов, "Влияние примеси Nd на спектр фотопроводимости и оптического поглощения монокристалла GeS," Журнал прикладной спектроскопии, Vol. 84, No. 1, p. 989.
[12] R.S.Madatov, A.S.Alekperov, "VII Eurasion Conference Nuclear Sciense and its," Application Book of Abctracts, Baku, 2014, p. 157.

SiO_2 NANOPARTICLES AS A CATALYTIC AGENT IN RADIATION–THERMOHETEROGENEOUS HYDROGEN GENERATION FROM WATER

Tubu Soltanova
Baku State University
Physics/Radiation Materials Science
Baku, Azerbaijan
soltanovatubu@gmail.com
ORCID: 0009-0008-1009-0245

Abstract: The present work examines how silicon dioxide nanoparticles function as a catalytic medium when water is decomposed by combined radiation and thermal action, an approach particularly relevant for hydrogen-oriented small modular reactor (SMR) applications. While direct radiolysis of bulk liquid water yields only $G(H_2) \approx 0.45–0.50$ molecules per 100 eV — a value limited by rapid back-reactions of H and OH species — the introduction of nanoscale SiO_2 markedly alters this picture. When the radius R of the oxide grain becomes equal to or smaller than the average travel distance λ of secondary electrons (typically within the 3–40 nm window), charge carriers generated inside the particle escape to the interfacial region before recombining and trigger surface-mediated water dissociation. Under thermally activated regimes ($T \geq 673$ K) using nano-SiO_2 dispersed in water, the molecular hydrogen yield rises to 13–15 molecules per 100 eV, with a process efficiency reaching $\eta \approx 39–42\%$. These findings indicate that nano-SiO_2 acts as a coupled radiation–thermal energy converter, suitable for integration with fourth-generation high-temperature SMR units. For hydrocarbon-rich economies such as Azerbaijan, this provides a technically grounded route toward decentralized clean hydrogen production.

Keywords: silicon dioxide nanoparticles, radiation catalysis, thermoheterogeneous decomposition, molecular hydrogen, small modular reactor, nanoscale size effect, hydrogen energy

I. INTRODUCTION

Diversifying nuclear energy use beyond purely electrical generation has gained considerable importance in current energy policy debates. Among advanced concepts, fourth-generation small modular reactors (SMRs) operate at outlet temperatures of 873–1000 K and supply not only electrical power but also high-grade heat well suited to driving chemical, metallurgical, and petrochemical conversions - most notably the splitting of water into molecular hydrogen [1], [2], [3]. One of the most attractive routes for such conversion is the simultaneous use of ionizing radiation (γ-quanta or accelerated electrons) and thermal

energy on water that is in contact with a solid-state catalyst, a scheme commonly referred to as radiation-thermoheterogeneous decomposition.

Direct γ-radiolysis of bulk water produces hydrogen at a relatively modest rate of about 0.45–0.50 molecules per 100 eV [4], [5]. This limitation arises mainly because the primary reactive intermediates H atoms and OH radicals - recombine quickly within the spur. To circumvent this bottleneck, oxide materials such as BeO, ZrO_2, Al_2O_3 and SiO_2 have been explored as solid-state energy converters that channel absorbed radiation energy toward useful chemistry [6], [7], [8]. SiO_2 stands out among these candidates because of its wide band gap, robust radiation tolerance, mechanical durability at elevated temperatures, abundance and low production cost. When SiO_2 is reduced to the nanoscale, an additional and rather striking phenomenon emerges - a size-dependent enhancement of hydrogen yield, attributed to the interplay between charge-carrier mean free path and particle dimension [9], [10]. The aim of the present paper is to outline the physico-chemical basis of this catalytic action and to illustrate why nano-SiO_2 represents a particularly promising converter material for hydrogen-oriented SMR concepts.

II. PHYSICO-CHEMICAL MECHANISM IN THE SiO_2–H_2O SYSTEM

Exposure of the SiO_2–H_2O system to ionizing radiation initiates a cascade of processes whose timescales differ by several orders of magnitude. During the initial physical stage ($\tau \approx 10^{-11}$ to 10^{-13} s), the absorbed energy creates non-equilibrium charge carriers and excited states inside the oxide lattice conduction electrons (n), valence holes (p), excitons (ex), and structural defects (s_D) [1], [11]:

$$SiO_2 \rightarrow n + p + ex + S_D \quad (1)$$

The volumetric concentration of generated electron–hole pairs can be estimated as $N_{pair} = E_{abs} / E_{th}$, with a threshold energy $E_{th} \approx 2E_g$ characteristic of dielectric oxides. The cumulative formation rate of carriers in SiO_2, summed over electronic and excitonic channels, lies near 7–8 species per 100 eV [1], [11]. Once produced, these carriers diffuse through the lattice and migrate toward the interfacial region of the grain, where they interact with chemisorbed water molecules. The dominant elementary steps can be summarized as:

$$H_2O + p \rightarrow H_2O^+$$
$$H_2O^+ + e \rightarrow H_2O^* \rightarrow H + OH$$
$$H + H \rightarrow H_2\#(2)$$

When the operating temperature exceeds roughly 673 K, an additional endothermic pathway becomes thermodynamically permissible: $H + H_2O \rightarrow H_2 + OH$. This reaction further enhances the molecular hydrogen output to about 8 molecules per 100 eV [1]. The total hydrogen production rate may thus be expressed as a sum of two contributions - a radiation-driven term and a purely thermal term:

$$W_{RT}(H_{2)} = W_R(H_2) + W_T(H_2) \quad (3)$$

III. NANOSCALE SIZE EFFECT

A defining feature of nanostructured oxide catalysts is the so-called size effect. As the diameter of the SiO_2 grain approaches the mean free path of the secondary electron cloud ($R \leq \lambda$), an increasing fraction of the photogenerated carriers can travel from the bulk to the surface without dissipating their energy through phonon coupling [9], [10], [12]. For typical oxide systems this critical regime is realized when the particle radius lies in the range of approximately 3–40 nm. The size dependence of the hydrogen yield can be approximated by:

$$G_i(H_2) = G_0(H_2) \cdot [1 - (1 - \lambda_{eV}/R)^3 \quad (4)$$

Experimentally, this enhancement is observable only for particle dimensions below roughly 100 nm [9]. For the surface-confined reaction n-SiO_2 + $H_2O_s \rightarrow H_2 + ½\ O_2$, the recorded yield falls within $G(H_2) \approx 0.3$-1.0 molecules per 100 eV when only adsorbed water is present [10], [13]. However, when nano-SiO_2 is dispersed as a colloidal suspension and inter-particle pore volumes become saturated with bulk water, the secondary electron flux escaping into the surrounding medium contributes substantially to radiolysis, pushing the yield to as high as 13-14 molecules per 100 eV [10], [14], [15]. A summary of representative regimes is given in Table 1.

TABLE 1. COMPARISON OF MOLECULAR HYDROGEN YIELD $G(H_2)$ UNDER DIFFERENT DECOMPOSITION REGIMES

System / Regime	$G(H_2)$, molec./100 eV	Conditions
Pure water (homogeneous radiolysis)	0.45–0.50	$T \approx 295$ K, γ-radiation
n-SiO_2 with adsorbed H_2O	0.3–1.0	Surface-bound water layers
n-SiO_2 aqueous suspension	13–14	T = 373–573 K
Combined radiation–thermal (optimal)	13–15	$T \geq 773$ K, $R \leq \lambda$

IV. INTEGRATION WITH SMALL MODULAR REACTORS

The most attractive technological niche for nano-SiO_2 catalytic converters is its coupling with high-temperature small modular reactors of the IV generation, which deliver outlet temperatures in the range 873–1000 K [1], [16]. Such reactors simultaneously supply both the ionizing radiation field and the high-grade thermal energy required for the combined cycle. Under such operating conditions the elementary efficiency of converting absorbed radiation energy into chemical bonds reaches $\mu \approx 3 \cdot G(H_2) \approx 24–25\%$, while the overall useful efficiency of a coupled hydrogen–electricity scheme can attain $\eta \approx 39–42\%$ [1], [16]. Reported hydrogen production rates under such regimes are of the order $W(H_2) \geq 10^{15}–10^{16}$ molecules $\cdot g^{-1} \cdot s^{-1}$. For the Republic of Azerbaijan, where extensive hydrocarbon resources coexist with growing decarbonization commitments, this technological pathway offers a dual strategic benefit: clean hydrogen output that can be used either as fuel or as feedstock for petrochemical processes.

V. CONCLUSION

Silicon dioxide nanoparticles function as an effective radiation-thermal catalyst, dramatically improving the molecular hydrogen yield obtained from radiation-driven decomposition of water. Three coupled factors govern this catalytic behavior: first, the generation of non-equilibrium charge carriers and excitons within the SiO_2 lattice when subjected to ionizing radiation; second, the size-dependent escape of these carriers to the particle surface in the regime $R \leq \lambda$ (3–40 nm); and third, the thermal activation of the endothermic step $H + H_2O \rightarrow H_2 + OH$ at temperatures above approximately 673 K. Together these mechanisms raise the hydrogen yield from $G(H_2) \approx 0.45$ in pure water to 13–15 molecules per 100 eV, equivalent to an overall efficiency of about 39–42%. When integrated with high-temperature small modular reactors of the next generation, nano-SiO_2-based catalytic systems open a credible technological route toward scalable, low-emission hydrogen generation - a direction that aligns particularly well with the long-term energy strategy of hydrocarbon-rich nations such as the Republic of Azerbaijan.

REFERENCES

[1] A. Garibov, Practical Neutron and Nuclear Reactor Physics. Baku, Azerbaijan, 2022, pp. 644–658.

[2] A. A. Garibov, T. N. Agayev, and G. T. Imanova, "Nanostructured materials based on nano-ZrO_2 in nuclear power engineering," Journal of Radiation Researches, vol. 1, no. 1, pp. 49–55, 2014.

[3] V. A. Legasov, N. N. Ponamarev-Stepnoy, A. N. Protsenko et al., "Atomic-hydrogen energy: development outlook," in Atomno-Vodorodnaya Energetika i Tekhnologiya, Moscow: Atomizdat, 1978, vol. 1, pp. 11–60. (in Russian)

[4] J. A. LaVerne and S. M. Pimblott, "New mechanism for H_2 formation in water," Journal of Physical Chemistry A, vol. 104, no. 44, pp. 9820–9822, 2000.

[5] G. V. Buxton, C. L. Greenstock, W. P. Helman, and A. B. Ross, "Critical review of rate constants for reactions of hydrated electrons, hydrogen atoms and hydroxyl radicals in aqueous solution," Journal of Physical and Chemical Reference Data, vol. 17, no. 2, pp. 513–886, 1988.

[6] J. A. LaVerne and L. Tandon, "H_2 production in the radiolysis of water on CeO_2 and ZrO_2," Journal of Physical Chemistry B, vol. 106, no. 2, pp. 380–386, 2002.

[7] J. A. LaVerne and S. E. Tonnies, "H_2 production in the radiolysis of aqueous SiO_2 suspensions and slurries," Journal of Physical Chemistry B, vol. 107, no. 30, pp. 7277–7280, 2003.

[8] S. Le Caër, "Water radiolysis: influence of oxide surfaces on H_2 production under ionizing radiation," Water, vol. 3, no. 1, pp. 235–253, 2011.

[9] H. Ouerdane, B. Gervais, H. Zhou, M. Beuve, and J. P. Renault, "Radiolysis of water confined in porous silica: a simulation study of the physicochemical yields," Journal of Physical Chemistry C, vol. 114, no. 29, pp. 12667–12674, 2010.

[10] T. Schatz, A. R. Cook, and D. Meisel, "Charge carrier transfer across the silica nanoparticle/water interface," Journal of Physical Chemistry B, vol. 102, no. 37, pp. 7225–7230, 1998.

[11] A. A. Garibov, Ya. D. Jafarov, M. A. Aliyev, and S. M. Iskenderov, "Calculation of absorbed energy of gamma quanta in oxide dielectrics," Preprint No. 253, Institute of Physics, Academy of Sciences of Az.SSR, Baku, 1987, 23 p. (in Russian)
[12] B. H. Milosavljevic, S. M. Pimblott, and D. Meisel, "Yields and migration distances of reducing equivalents in the radiolysis of silica nanoparticles," Journal of Physical Chemistry B, vol. 108, no. 22, pp. 6996–7001, 2004.
[13] P. Rotureau, J. P. Renault, B. Lebeau, J. Patarin, and J.-C. Mialocq, "Radiolysis of confined water: molecular hydrogen formation," ChemPhysChem, vol. 6, no. 7, pp. 1316–1323, 2005.
[14] A. A. Garibov, Ya. D. Jafarov, S. M. Bashirova, and K. T. Eyubov, "Influence of mass and size effects of silicon on water radiolysis in the Si/H_2O system under gamma quanta," Voprosy Atomnoy Nauki i Tekhniki, Ser.: Physics of Radiation Damage and Phenomena in Solids, no. 2(120), pp. 35–39, 2018. (in Russian)
[15] A. A. Garibov, K. B. Gezalov, and A. M. Gasanov, "Heterogeneous radiolysis of water in the presence of KSK silica gel and NaX zeolite," Khimiya Vysokikh Energii (High Energy Chemistry), vol. 25, no. 1, pp. 48–53, 1991. (in Russian)
[16] A. A. Garibov, T. N. Agayev, S. Z. Melikova, G. T. Imanova, and I. A. Faradjzade, "Radiation and catalytic properties of n-ZrO_2 + n-Al_2O_3 systems in the process of hydrogen production from water," Nanotechnologies in Russia, vol. 12, no. 5–6, pp. 252–257, 2017.

ZnSe MONOKRİSTALLARINDA DİELEKTRİK RELAKSASİYA PROSESLƏRİNİN İMPEDANS SPEKTROSKOPİYASI

Məryəm R. Hacıyeva
Ümumi fizika kafedrası Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Bakı, Azərbaycan
haciyevamaryam4@gmail.com

Çinarə A. Məmmədli *STEAM mərkəzi*
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Bakı, Azərbaycan
chinara_mammadli@mail.ru

Azər M. Allahverdiyev
Ümumi fizika kafedrası Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti Bakı, Azərbaycan
cahangir.adpu@mail.ru

Cahangir İ. Hüseynov
Ümumi fizika kafedrası Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Bakı, Azərbaycan
jahangirhuseynov1958@gmail.com

İbrahim İ. Abbasov
Fizika kafedrası
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
Bakı, Azərbaycan
ibrahimabbasov179@gmail.com

Xülasə: Bu işdə ZnSe monokristallarında dielektrik nüfuzluğun həqiqi (ε′) və xəyali (ε″) hissələrinin geniş tezlik (25 Hz – 1 MHz) və temperatur (20–180°C) intervalında dəyişmə qanunauyğunluqları impedans spektroskopiyası üsulu ilə tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, aşağı tezliklərdə ε′ yüksək qiymətlər alır və temperatur artdıqca kəskin şəkildə artır, tezlik yüksəldikcə isə sabit qiymətə yaxınlaşır. Bu davranış müxtəlif polyarizasiya mexanizmlərinin – dipol, ion və Maksvell–Vaqner tipli fəza yükü polyarizasiyasının tezlikdən asılı aktivliyi ilə izah olunur. Eksperimental nəticələr Debay modeli ilə ilkin olaraq təhlil edilmiş, lakin müşahidə olunan yayınmalar relaksasiya vaxtlarının paylanmasını nəzərə alan Cole–Cole modeli ilə daha adekvat izah edilmişdir. Arrhenius analizi nəticəsində relaksasiya prosesinin aktivləşmə enerjisi E_a≈0.023 eV olaraq qiymətləndirilmişdir ki, bu da prosesin əsasən lokal elektron keçidləri və defekt

səviyyələri ilə əlaqəli olduğunu göstərir. Alınan nəticələr ZnSe kristallarında dielektrik relaksasiya mexanizmlərinin çoxkomponentli xarakter daşıdığını təsdiq edir.

Açar sözlər: ZnSe, dielektrik relaksasiya, impedans spektroskopiyası, Debay modeli, Cole–Cole modeli, Maksvell–Vaqner polyarizasiyası, aktivləşmə enerjisi

GİRİŞ

Sink selenidi (ZnSe) optoelektron cihazlarda, infraqırmızı optikada və radiasiya detektorlarında geniş istifadə olunan II-VI yarımkeçiricisidir. Bu materiallarda dielektrik cavabın xüsusilə həqiqi və xəyali hissələrinin (ε″) dəyişən elektrik sahəsi altında enerji itkilərini xarakterizə edir və onun tezlik–temperatur asılılığı yükdaşıma mexanizmlərinin təbiətini müəyyənləşdirmək üçün kritik informasiya verir [1].

Yarımkeçiricilərdə dielektrik relaksasiya hadisələri tez-tez dipol polyarizasiya, fəza yükünün yığılması və qüsur vasitəçiliyi ilə keçirilən keçiricilik daxil olmaqla birdən çox mexanizmlə idarə olunur. Heterogen sistemlərdə Maksvell-Vaqner interfeys polyarizasiyası, xüsusən də aşağı tezliklərdə mühüm rol oynayır [2].

ZnSe üzərində geniş tədqiqatlara baxmayaraq, tezlik və temperaturun dielektrik itkiyə birgə təsiri və onun qüsur dinamikası ilə əlaqəsi hələ də kifayət qədər araşdırılmayıb. Bu işdə, geniş temperatur diapazonunda ZnSe kristallarının tezlikdən asılı dielektrik itki davranışını araşdırmaq üçün impedans spektroskopiyasından istifadə olunur [3].

Dielektrik xassələrin tezlikdən asılılığı yarımkeçirici materiallarda yük daşıyıcılarının dinamikası, defekt səviyyələri və struktur heterogenliyi haqqında mühüm informasiya verir. Bu baxımdan ZnSe kristallarının dielektrik davranışının sistemli analizi həm fundamental, həm də tətbiqi baxımdan aktualdır. Bu işdə ZnSe monokristallarında dielektrik nüfuzluğun həqiqi (ε') və xəyali hissələrinin (ε'') geniş tezlik intervalında və müxtəlif temperaturlarda (20–180°C) dəyişmə qanunauyğunluqları tədqiq olunur. Məqsəd materialda baş verən polyarizasiya mexanizmlərini, relaksasiya proseslərini və onların temperaturdan asılılığını müəyyən etməkdir.

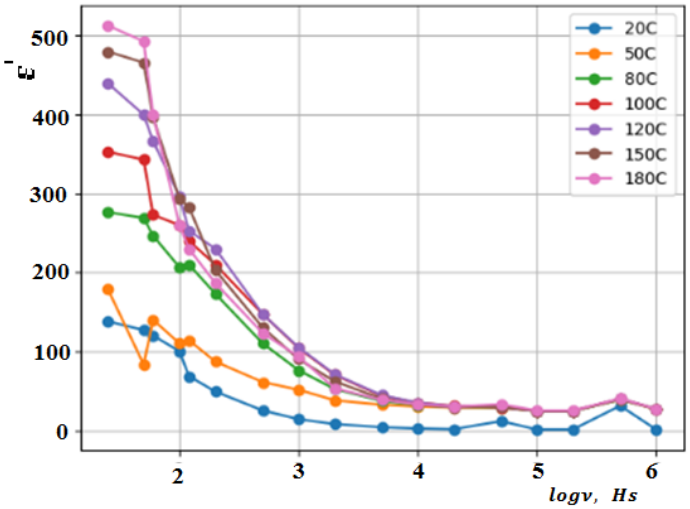
EKSPERİMENTİN METODİKASI

Dəyişən elektrik sahəsində ZnSe kristallarının kompleks keçiriciliyinin real və xəyali hissələri E7-20 rəqəmsal cihazı (25 ± 10^6 Hz) istifadə edilərək ölçülmüşdür. E7-20 cihazı sınaq nümunəsinin kompleks impedansının tutumunu (C), aktiv müqavimətini (R), kompleks impedans modulunu (Z), keyfiyyət faktorunu (Q), itki tangensini (tgδ) və faza sürüşməsini ölçür [4].

TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Müxtəlif temperaturlar aparılmış ölçmələr nəticəsində ZnSe kristallarının dielektrik nüfuzluğun həqiqi hissəsinin tezliyin loqarifmindən asılılıq qrafikləri şəkil 1-də təsvir edilmişdir. Qrafiklərin analizi aşağıdakı əsas qanunauyğunluqları aşkar edilmişdir: aşağı tezlik sahəsində ε′ böyük qiymətlər alır; tezlik artdıqca ε′ kəskin azalır; yüksək tezliklərdə ε′ sabit qiymətə yaxınlaşır; Temperatur artdıqca ε′ xüsusilə aşağı tezliklərdə əhəmiyyətli dərəcədə artır.

Bu davranış müxtəlif polyarizasiya mexanizmlərinin tezlikdən asılı olaraq aktivliyinin dəyişməsi ilə əlaqədardır. Aşağı tezliklərdə elektron, ion, dipol və məkan yükləri polyarizasiyası iştirak etdiyi halda, yüksək tezliklərdə yalnız sürətli elektron və qismən ion polyarizasiyası qalır.



Şəkil1. ZnSe kristalında dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin tezlik asılılığı

Eksperimental nəticələrin ilkin təhlili üçün klassik Debay modeli tətbiq edilmişdir [5]:

$\varepsilon' = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_S - \varepsilon_\infty}{1+\omega^2\tau^2}$

burada ε_S – statik dielektrik sabiti, ε_∞ – yüksək tezlik limiti, τ – relaksasiya vaxtıdır. Uyğunlaşdırma nəticəsində relaksasiya vaxtları müəyyən edilmiş və relaksasiya tezliyi aşağıdakı ifadə ilə hesablanmışdır:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\tau}$$

Alınan nəticələr göstərir ki, 20–100°C temperatur intervalında relaksasiya tezliyi artır, 100°C-dən sonra isə azalır. Bu qeyri-monoton dəyişmə sistemdə müxtəlif relaksasiya mexanizmlərinin mövcudluğunu göstərir. Relaksasiya vaxtının temperaturdan asılılığı Arrhenius qanunu ilə təhlil edilmişdir:

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{E_a}{kT}}$$

Buradan $ln\,\tau - \frac{1}{T}$ asılılığı qurulmuş və aktivləşmə enerjisi təyin edilmişdir: $E_a \approx 0.023\,eV$. Alınan qiymətin kiçik olması göstərir ki, relaksasiya prosesi əsasən: lokal elektron keçidləri, defekt səviyyələri və tələlər ilə əlaqədardır. Eyni zamanda Arrhenius qrafikinin qeyri-xətti xarakter daşıması sistemdə tək aktivasiya enerjisinin olmadığını və prosesin çoxkomponentli olduğunu göstərir.

Eksperimental nəticələrin Debay modelindən kənara çıxması relaksasiya vaxtlarının paylanmasını nəzərə alan Cole–Cole modeli ilə izah olunur [3]:

$$\varepsilon^*(\tau) = \frac{\varepsilon_S - \varepsilon_\infty}{1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}}$$

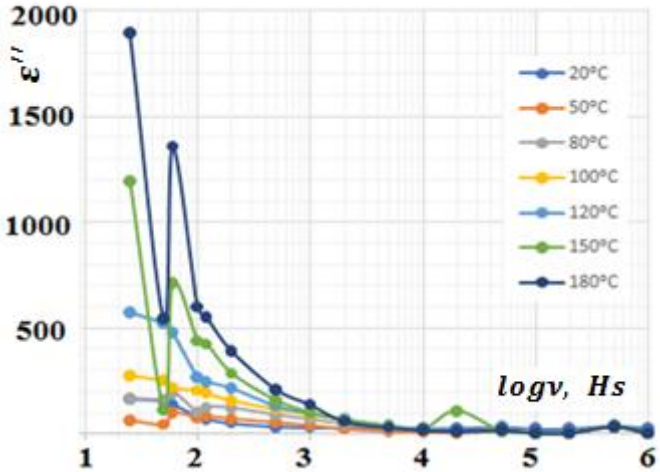
burada α – dispersiya parametridir. Qiymətləndirmələr göstərir ki: $\alpha = 0.1 \div 0.4$ və temperatur artdıqca artır.Bu nəticə göstərir ki: sistem ideal Debay davranışından uzaqdır, relaksasiya vaxtları paylanmışdır, materialda struktur və elektrik heterogenliyi mövcuddur.

ZnSe kristallarında ε″-in dəyişən elektrik sahəsinin tezliyindən (25–10^6 Hz) və temperaturdan (20–180°C) asılılığı geniş eksperimental diapazonda tədqiq edilmişdir.

Alınan nəticələr göstərir ki, aşağı tezliklərdə (25-10 3 Hs) ε″ yüksək qiymətlər alır, tezlik artdıqca ε″ monoton şəkildə azalır, yüksək temperaturda ε″ bütün tezliklərdə artır Xüsusilə 20–120°C intervalında artım nisbətən zəif olduğu halda, 150–180°C diapazonunda ε″ kəskin yüksəlir (məsələn, 25 Hs-də 166 → 1898).

Aşağı tezliklərdə müşahidə olunan yüksək ε″ qiymətləri əsasən interfeys polyarizasiyası (Maxvell–Vagner tipli effektlər) və elektrod–material sərhədində yük toplanması ilə izah olunur. Bu rejimdə yükdaşıyıcılar elektrik sahəsinə tam cavab verir, defektlər və sərhəd qatları dominant rol oynayır, enerji itkisi maksimum olur. Bu, yarımkeçirici ZnSe üçün tipik " yük fəza polyarizasiyası" davranışıdır.

Tezlik artdıqca ε″ kəskin azalır və sabitləşmə tendensiyası göstərir. Bu davranış,dipolların sahəyə uyğunlaşma vaxtının kifayət etməməsi, lokal defektlərin relaksasiya proseslərinin "donması", ion keçiriciliyinin zəifləməsi ilə əlaqədardır. Bu oblastda əsas dielektrik cavab məxsusi elektron və atomar polyarizasiya ilə müəyyən olunur.



Şəkil 2. ZnSe kristalında dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin tezlik asılılığı

Orta və yüksək tezlik oblastında (10^4–10^6 Hz) ε″ sabitləşməyə doğru gedir və minimal qiymətlərə yaxınlaşır. Bu sahədə əsas dielektrik itkiləri yalnız məxsusi atomar və elektron polyarizasiyası ilə müəyyən olunur. Temperatur artımı bütün tezliklərdə ε″-in artmasına səbəb olur. Bu, aşağıdakı mexanizmlərlə izah edilir: termik aktivləşmiş yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması; vakansiya və defektlərin mobilizasiyası; yarımkeçirici keçiriciliyin güclənməsi. Yüksək temperaturda müşahidə olunan kəskin artım ZnSe kristallarında defekt əsaslı keçiriciliyin və ion relaksasiya proseslərinin dominant rol oynadığını göstərir.

NƏTİCƏLƏR

Alınan nəticələrin təhlili göstərir ki, ZnSe kristallarında dielektrik itkilər, Debay tipli sadə relaksasiya ilə tam izah olunmur, çoxlu relaksasiya mərkəzləri mövcuddur, defekt və sərhəd qatları əsas rol oynayır.

ZnSe monokristallarında aparılmış dielektrik tədqiqatlar göstərir ki, materialın elektrik cavabı tezlik və temperaturdan güclü şəkildə asılıdır və çoxmexanizmli relaksasiya prosesləri ilə müəyyən olunur. Aşağı tezlik sahəsində dielektrik nüfuzluğun həm həqiqi (ε′), həm də xəyali (ε″) hissələrinin yüksək qiymətlər alması əsasən Maksvell–Vaqner tipli fəza yükü polyarizasiyası və defektlərdə yığılan yükdaşıyıcıların təsiri ilə izah olunur. Tezliyin artması ilə bu mexanizmlərin təsiri zəifləyir və nəticədə dielektrik cavab kəskin azalaraq yüksək tezliklərdə sabit qiymətə yaxınlaşır; bu sahədə əsasən sürətli elektron və qismən ion polyarizasiyası üstünlük təşkil edir.

Temperaturun artması xüsusilə aşağı tezliklərdə dielektrik cavabın əhəmiyyətli dərəcədə yüksəlməsinə səbəb olur ki, bu da yükdaşıyıcıların hərəkətliliyinin artması və defekt səviyyələrinin aktivləşməsi ilə bağlıdır. Relaksasiya tezliyinin temperaturdan asılılığı qeyri-monoton xarakter daşıyır: 20–100°C intervalında artım, daha yüksək temperaturlarda isə azalma müşahidə olunur. Bu fakt sistemdə bir neçə relaksasiya mexanizminin mövcudluğunu və onların temperaturdan fərqli şəkildə asılı olduğunu göstərir.

Arrhenius analizi nəticəsində relaksasiya prosesinin aktivləşmə enerjisinin kiçik qiymətə (təxminən 0.023 eV) malik olması müəyyən edilmişdir ki, bu da prosesin əsasən lokal elektron keçidləri, tələ səviyyələri və defekt mərkəzləri ilə əlaqəli olduğunu təsdiq edir. Eyni zamanda eksperimental nəticələrin klassik Debay modelindən yayınması və Cole–Cole modelinə uyğun gəlməsi relaksasiya vaxtlarının paylandığını və materialın struktur-elektrik heterogenliyə malik olduğunu göstərir.

Beləliklə, ZnSe kristallarında dielektrik relaksasiya prosesləri sadə deyil, çoxkomponentli xarakter daşıyır və həm polarizasiya mexanizmlərinin müxtəlifliyi, həm də defekt strukturlarının rolu ilə müəyyən olunur. Bu nəticələr ZnSe əsaslı optoelektron və radiasiya detektorlarında enerji itkilərinin idarə olunması və materialın funksional xassələrinin optimallaşdırılması baxımından mühüm elmi və praktik əhəmiyyətə malikdir.

ƏDƏBİYYAT

[1] I.I. Abbasov, M.A. Musayev, C.I. Huseynov, et al. A study of impurity defect photoluminescence in ZnSe:Cr and ZnSe:Fe in the near infrared at room temperature, *Adv. Phys. Res* 5 (2023) pp.192-199.

[2] A.E. Nabiyev, J.I. Huseynov, I.I. Abbasov Dielectric properties of $Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$ ferroelectric films in an alternating electric field *Canadian Journal of Physics,* Vol.102, Is. 6, 325-331, (2024); https://doi.org/10.1139/cjp-2023-0265

[3] I.I.Abbasov, M.A. Musayev1 , C.I. Huseynov2, et al. A study of impurity defect photoluminescence in ZnSe:Cr AND ZnSe:Fe in the near infrared at room temperature *Advanced Physical Research* Vol.5, No.3, pp.192-199, (2023)

[4] M.S.Afanasiev, E.I.Goldman, G.V.Chucheva, *et al.* Conductivity of Metal–Dielectric–Semiconductor Structures Based on Ferroelectric Films. *Phys. Solid State* **62**, 164–167 (2020). https://doi.org/10.1134/S1063783420010035

[5] I. Abbasov, M. Musayev, O. Gasymov, et al. Influence of Background Impurities of Oxygen and Copper on The Luminescence Spectrum of Polycrystalline CVD ZNSE with Excess Selenium *Nano* Vol. 20, No. 14, 2550010 (2025); https://doi.org/10.1142/S1793292025500109

Tb İLƏ AŞQARLANMIŞ $SnSe$ BİRLƏŞMƏLƏRİNDƏ KİNETİK PARAMETRLƏRİN TƏNZİMLƏNMƏSİ

Tapdıq A. Cəfərov
Ümumi fizika kafedrası Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Bakı, Azərbaycan
haciyevamaryam4@gmail.com

Oktay M.Həsənov
Ümumi fizika kafedrası Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Bakı, Azərbaycan
1959oktay@mail.ru

Azər M. Allahverdiyev
Ümumi fizika kafedrası Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti Bakı, Azərbaycan
cahangir.adpu@mail.ru

Cahangir İ. Hüseynov
Ümumi fizika kafedrası Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Bakı, Azərbaycan
jahangirhuseynov1958@gmail.com

Xatirə A.Abdıgözəlova
Ümumi fizika kafedrası Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Bakı, Azərbaycan
xatirafizik@mail.ru

Xülasə: Bu işdə ortorombik quruluşa malik SnSe əsaslı $Tb_xSn_{1-x}Se$ ($0 \leq x \leq 0.05$) bərk məhlullarının otaq temperaturunda (300 K) əsas kinetik və termoelektrik xassələri tədqiq edilmişdir. Nümunələr Bridgman üsulu ilə sintez olunmuş, elektrik keçiriciliyi, Hall əmsalı, Zeebek əmsalı, istilik keçiriciliyi, yükdaşıyıcı konsentrasiyası və hərəkətliliyi eksperimental olaraq müəyyən edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, Tb aşqarının daxil edilməsi nəticəsində SnSe-nin tipik p-tipli keçiriciliyi kompensasiya olunaraq müəyyən konsentrasiyada ($x \approx 0.002–0.0025$) p–n keçidi baş verir. Bu zaman Hall əmsalı və Seebeck əmsalının işarəsi dəyişir və elektron tipli keçiricilik üstünlük qazanır. Tb konsentrasiyasının artması ilə yükdaşıyıcı konsentrasiyası əvvəlcə azalır, sonra isə donor effektinin güclənməsi nəticəsində artır. Eyni zamanda daşıyıcıların hərəkətliliyinin azalması və istilik keçiriciliyinin zəifləməsi müşahidə olunur. Alınmış nəticələr Tb aşqarlanmasının SnSe əsaslı termoelektrik materialların xüsusiyyətlərinin məqsədyönlü tənzimlənməsi üçün effektiv üsul olduğunu göstərir.
Açar sözlər: *SnSe, Tb aşqarlanması, termoelektrik materiallar, Hall əmsalı, Seebeck əmsalı, p–n keçidi, yükdaşıyıcı konsentrasiyası, bərk məhlullar, kinetik xassələr, Bridgman üsulu*

I. GİRİŞ

Qalay selenid (SnSe), ortorombik (Pnma) təbəqəli quruluşa malik ikili yarımkeçirici birləşmədir və açıq anizotropiya, aşağı istilik keçiriciliyi və yüksək termoelektrik performans ilə xarakterizə olunur. Kristal qəfəsdə Sn atomu boşluqlarının olması p-tipli keçiriciliyin formalaşmasına səbəb olur [1]. Yüksək Zeebek əmsalı, aşağı istilik keçiriciliyi və kifayət qədər elektrik keçiriciliyi sayəsində SnSe, xüsusən də tək kristal formada (~900 K-də $ZT \approx 2.6–2.8$) ən yaxşı termoelektrik materiallardan biri hesab olunur. Onun zolaq genişliyi (0.9–1.3 eV) onu optoelektronik tətbiqlər üçün də perspektivli edir. Mexaniki parçalanmanın asanlığı SnSe-nin çevik elektronikada istifadəsini daha da dəstəkləyir [2].

Material Yer kürrəsində geniş yayılmış və toksik olmayan komponentlərdən ibarətdir ki, bu da ekoloji və iqtisadi baxımdan mühüm əhəmiyyət kəsb edir. SnSe birləşməsinin xassələri aşqarlama və kation əvəzlənməsi vasitəsilə effektiv şəkildə dəyişdirilə bilər. Na, Ag, K kimi elementlərin (p-tip üçün) və ya Bi, Cl, I (n-tip üçün) daxil edilməsi yük daşıyıcılarının konsentrasiyasını idarə etməyə imkan verir. Sn

atomlarının Pb, Ge, Mn, Co və digər kationlarla əvəz olunması isə quruluşa və funksional xüsusiyyətlərə təsir göstərir, o cümlədən istilik keçiriciliyinin azalmasına və yeni xassələrin yaranmasına səbəb olur [3, 4].

II. TƏCRÜBƏNİN METODİKASI

$Tb_xSn_{1-x}Se$ ərintilərinin sintezi üçün başlanğıc komponentlər kimi B4-000 markalı qalay, OC417-4 markalı selen və 99,98% təmizlikdə terbium istifadə edilmişdir. Sintez 0,1333 Pa təzyiqdə evakuasiya olunmuş kvars ampulalarda iki mərhələli birbaşa əridilmə üsulu ilə aparılmışdır. İlk mərhələdə qarışıq 4–5 °C/dəq sürətlə selenin ərimə temperaturuna qədər qızdırılmış və 3–4 saat saxlanmış, sonra temperatur tədricən 950–1000 °C-yə çatdırılaraq 8–9 saat ərzində saxlanılmışdır.

SnSe–TbSe sistemində qarşılıqlı təsir diferensial termiki analiz (DTA), rentgenfaz analizi (RFA), mikrostruktur analizi (MSA), həmçinin mikrosərtlik və sıxlıq ölçmələri ilə tədqiq edilmişdir. Termiki effektlərin və faza keçidlərinin təyini üçün DTA PerkinElmer STA 6000 cihazında aparılmışdır; azot qazı (20 ml/s) mühitində nümunələr 5 °C/dəq sürətlə ərimə temperaturuna qədər qızdırılmışdır.

Rentgenstruktur analizi Rigaku Miniflex difraktometrində (30 kV, 10 mA, CuKα, λ = 1,5406 Å) 0–80° (2θ) intervalında aparılmışdır. Nümunələrin səth morfologiyası və mikrotərkibi JEOL JSM6610-LV skanedici elektron mikroskopu ilə öyrənilmişdir.

Bu tədqiqat, 300 K temperaturda $Tb_xSn_{1-x}Se$ ərintilərinin əsas kinetik parametrlərinə Tb tərkibinin təsirini araşdırır. Elektrik keçiriciliyi və Holl əmsalı elektromaqnit qurğusu istifadə edilərək sabit maqnit sahəsində birbaşa cərəyan şəraitində ölçülmüşdür [5]. Zeebek əmsalı və istilik keçiriciliyi [6]-da təsvir edildiyi kimi tam stasionar metodla təyin edilmişdir. Təcrübə qeyri-müəyyənliyi 4,2%-i keçməmişdir.

III. TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

$(0 \leq x \leq 0.05)$ bərk məhlul sahəsində, Bridgman üsulu ilə yetişdirilmiş $TbSe$ tərkibli nümunələr üçün otaq temperaturunda (300 K) bir sıra kinetik parametrlər tədqiq edilmişdir. Bu parametrlərə xüsusi elektrik keçiriciliyi (σ), Holl əmsalı (R), termo-EHQ-si (S), istilikkeçirmə əmsalı (k), yükdaşıyıcıların konsentrasiyası (p, n) və Holl yürüklüyü (μ) daxildir. Alınmış nəticələr Cədvəl 1-də ümumiləşdirilmişdir.

SnSe adətən p-tipli yarımkeçiricidir və onun yükdaşınma xüsusiyyətləri dopinqə yüksək həssasdır. Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, TbSe miqdarı artdıqca $Tb_xSn_{1-x}Se$ ərintilərində müqavimət və Holl əmsalı artır, yükdaşıyıcıların konsentrasiyası və yürüklüyü azalır.

Cədvəl 1.

T=300 K temperaturda $Tb_xSn_{1-x}Se$ bərk məhlullarının əsas kinetik parametrləri

Tərkib, mol%	R, cm^3/K	S, mkV/K	σ, $Om^{-1}sm^{-1}$	k·10^{-5}, $Vt/(m^{-1}K^{-1})$	μ, $cm^2/(V \cdot san)$	P(n)·10^{17} cm^{-3}
0,00	+8,68	+420	18	20	156	7,2
0,10	+25,7	+275	2,42	18	60,5	2,43
0,20	+32,3	+128	0,45	17	14,5	1,93
0,25	-180	-325	0,027	16,4	4,86	0,347
0,50	-1750	-298	0,012	14,5	21,12	0,036
1,00	-1260	-297	0,0063	12,5	6,50	0,05
1,5	-1040	-278	0,0061	12	6,34	0,06
2,00	-898	-262	0,006	11,8	5,39	0,07
2,5	-420	-258	0,012	11,2	5,04	0,15
3,00	-245	-250	0,028	10,7	6,86	0,26
3,5	-176	-246	0,035	9,9	6,16	0,36
4,00	-70	-235	0,04	9	2,82	0,89
4,5	-54	-227	0,043	11,3	2,3	1,16
5,00	-41,6	-210	0,047	14,5	3	1,5

Bunar SnSe birləşməsində, otaq temperaturunda (T = 300 K) Sn atomlarının Tb atomları ilə qismən kation–kation əvəzlənməsi zamanı Holl əmsalı (R) Tb-un faizlə miqdarından güclü asılıdır və qeyri-monoton dəyişir. Bu qeyri-monoton dəyişmə qarışıqda müxtəlif mexanizmlərin rəqabəti ilə izah olunur. SnSe birləşməsi, aşqar qatışıqları olmadıqda, həm eksperimental ölçmələr, həm də Sıxlıq funksional nəzəriyyəsi hesablamaları ilə təsdiqləndiyi kimi sabit p-tip keçiricilik nümayiş etdirir. Bunun əsas səbəbi kristal qəfəsində yaranan daxili defektlər — əsasən qalay kation vakansiyaları (V_{Sn}), akseptor mərkəzlər kimi çıxış edərək deşiklərin yaranmasına səbəb olur.

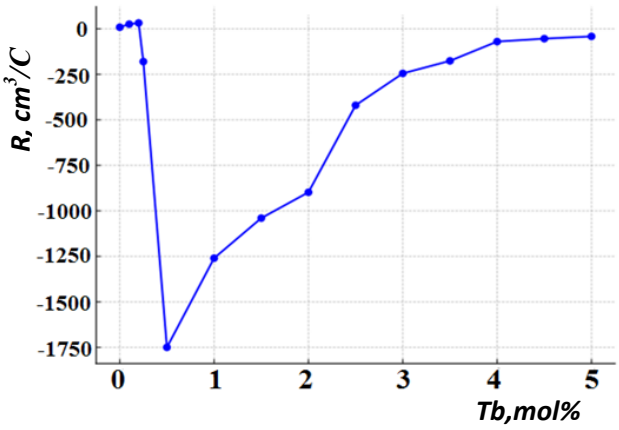
Bu vakansiyaların yaranması atom xüsusiyyətləri ilə bağlıdır: qalayın aşağı ionlaşma enerjisi (~7.34 eV) onun elektron itirməsini asanlaşdırır, selenin yüksək elektromənfiliyi isə Sn–Se rabitəsini zəiflədir. Nəticədə Sn kationları qəfəsdə qeyri-sabit olur və xüsusilə Se ilə zəngin şəraitdə vakansiyalar yaranır. Müasir defekt termodinamikasına görə, SnSe-də kation vakansiyasının yaranması belə təsvir olunur:

$$Sn_{site} \rightarrow V_{Sn}^{''} + 2h^{+} + Sn_{(qaz)},$$

Burada $V_{Sn}^{''}$ ikiqat mənfi yüklü vakansiya, h^{+} isə deşikdir. Bu defektlər termodinamik baxımdan stabildir və p-tip keçiriciliyi təmin edir.

Binar SnSe-də, Sn-in Tb atomları ilə qismən kation-kation əvəzlənməsi, otaq temperaturunda (T = 300 K) Holl əmsalının (R) Tb konsentrasiyasından güclü asılılığına gətirib çıxarır və bu da qeyri-monoton dəyişikliyə səbəb olur (Şəkil 1). Holl əmsalının mütləq dəyərindəki qeyri-monoton dəyişiklik, aşqar konsentrasiyasından asılı olaraq iki və ya daha çox mexanizmin rəqabəti ilə izah edilə bilər.

Aşağı Tb konsentrasiyalarında Holl əmsalı müsbətdir və bu da dominant deşik tipli keçiriciliyi göstərir. $Sn_{1-x}Tb_xSe$ ərintilərində Tb konsentrasiyası artdıqca kation əvəzlənməsi zamanı Tb atomları, elektron konfiqurasiyasına görə ($1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^6\ 5s^2\ 4d^{10}\ 5p^6\ 6s^2\ 4f^9$), donor kimi çıxış edirlər. Aşağı Tb konsentrasiyalarında Sn^{2+}ionlarının Tb^{3+} ilə qismən əvəzlənməsi donor elektronları daxil edir. Bu donorlar dəliklərin bir hissəsini kompensasiya edir və bununla da onları neytrallaşdırır. Aşağı aşqar səviyyələrində kompensasiya başlayır və yük daşıyıcısının konsentrasiyası azalır [7]. Nəticədə, ümumi deşik konsentrasiyası azalsa da ($x \leq 0.002$), deşiklər dominant daşıyıcı olaraq qalır. Deşiklərin kompensasiyası Holl əmsalının müsbət dəyərinin artmasına gətirib çıxarır. Lakin, kritik aşqar konsentrasiyasında ($x \approx 0.002–0.0025$), donor elektronlar deşikləri tam kompensasiya edir və xalis daşıyıcı konsentrasiyasını demək olar ki, sıfıra (kompensasiya nöqtəsi) endirir. Bu, yarımkeçiricilərdə tipik keçiricilik tipli transformasiyanı təmsil edir və müvafiq tərkib kompensasiya nöqtəsi kimi xarakterizə edilə bilər. Bu keçid yaxınlığında elektron konsentrasiyası dəliklərin konsentrasiyasına ($p \approx n$) yaxınlaşır ki, bu da maksimum kompensasiyanı göstərir.



Şəkil 1. $Tb_xSn_{1-x}Se$ sistem ərintilərinin Holl əmsalının tərkib asılılığı

Keçiricilik tipinin (deşikdən elektron keçiriciliyinə keçid) inversiya nöqtəsində, həm elektronlar, həm də deşiklərin mövcud olduğundan və rəqabətli şəkildə töhfə verdiyindən, R_H Holl əmsalı iki daşıyıcılı model ilə təsvir olunur. İki daşıyıcılı sistemdə Holl əmsalı üçün ümumiləşdirilmiş ifadə belədir:

$$R_H = \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{e\left(p\mu_p + n\mu_n\right)^2}$$

burada p və n uyğun olaraq deşik və elektron konsentrasiyası, μ_p və μ_n müvafiq olaraq deşik və elektronların yürüklüyü, $e-$ isə elementar yükdür. İnversiya nöqtəsində $p\mu_p^2 = n\mu_n^2$ şərti ödənilir və $R_H = 0$ olur. $p\mu_p^2 < n\mu_n^2$ olduqda, R_H mənfi olur və bu da elektron dominantlığı göstərir.

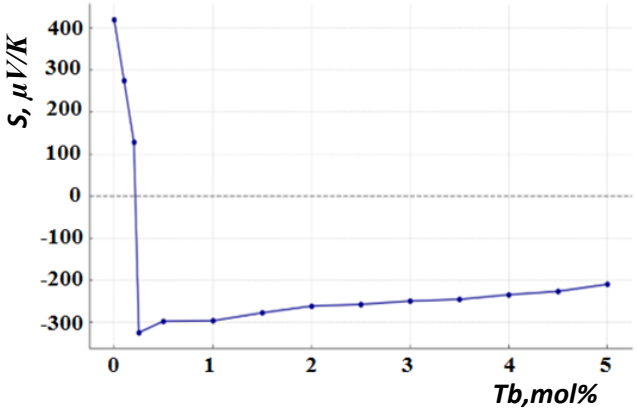
Beləliklə, $Tb_xSn_{1-x}Se$ ərintilərində müşahidə olunan işarənin tərsinə çevrilməsi və Holl əmsalının mütləq dəyərinin x = 0.0025 (0.25 mol%) səviyyəsində kəskin artması materialın elektron strukturunda əsas keçid nöqtəsidir. Mənfi dəyərlərə keçid elektron tipli keçiriciliyə keçidi göstərir və Tb-nin keçiricilik zolağına elektronlar daxil edərək donor kimi effektiv şəkildə hərəkət etdiyini göstərir [8].

x = 0.0025-ə uyğun tərkibdə Hall əmsalının işarəsi mənfi olur və onun mütləq dəyəri kəskin şəkildə artır, təxminən -1750 sm³/C-yə çatır ki, bu da dominant yük daşıyıcılarının deşiklərdən elektronlara qəfil dəyişdiyini göstərir. Aşqar tərkibinin daha da artması ilə deşik daşıyıcıları kompensasiya olunur və sonra elektronlar dominant olmağa başlayır və nəticədə Holl əmsalının işarəsi müsbətdən mənfiyə dəyişir. Keçiricilik növünün dəyişməsi, yəni p-dən n- tipinə keçid, Sn^{2+} ionlarının Tb^{3+} ionları ilə əvəzlənməsi ilə izah olunur ki, bu da əlavə elektronların yaranmasına və sistemdə donor tipli qüsurların dominantlığına səbəb olur. Nəticədə, p-tipli keçiricilik n- tipinə çevrilir və bu da ərintilərin elektrofiziki xüsusiyyətlərində kəskin dəyişikliyə səbəb olur. Belə keçid nöqtələri materialların funksional xüsusiyyətlərini idarə etmək baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb edir və gələcək tətbiqlərdə onların tənzimlənməsi üçün imkanlar açır.

Terbium (Tb) tərkibi artdıqca, Holl əmsalının mütləq dəyəri azalır, işarəsi isə bütün konsentrasiya diapazonunda mənfi olaraq qalır ki, bu da elektronların əsas yük daşıyıcıları kimi üstünlük təşkil etdiyini göstərir. 0,0025<x<0,025 konsentrasiya diapazonunda Holl əmsalı xüsusilə kəskin şəkildə azalır. Bu, ehtimal ki, sərbəst elektronların konsentrasiyasını əhəmiyyətli dərəcədə artıran Tb-nin effektiv donor təsiri ilə əlaqədardır.

Tb tərkibi daha da artdıqca (x>0,025), azalma yavaşlayır. Bu davranış, Tb-nin daha da tətbiqi artıq daşıyıcı konsentrasiyasının əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olmadığı donor vəziyyətinin doyması ilə əlaqəli ola bilər. Bundan əlavə, səpələnmə effektlərinin artması və ya lokal vəziyyətlərin əmələ gəlməsi baş verə bilər ki, bu da daşıyıcıların hərəkətliliyini azaldır və bununla da Holl əmsalı dəyərini sabitləşdirir [6].

Cədvəldə göstərildiyi kimi, daşıyıcı konsentrasiyası (p) əvvəlcə $7.2 \times 10^{17} cm^{-3}$-dən 0.5 mol%-də təxminən $0.036 \times 10^{17} cm^{-3}$ minimum dəyərinə qədər azalır ki, bu da yükün tutulması və ya rekombinasiya mərkəzlərinin əmələ gəlməsi səbəbindən daşıyıcı kompensasiyasını göstərir. Tb tərkibinin daha da artması ilə daşıyıcı konsentrasiyası artır və 5 mol%-də $1.5 \times 10^{17} cm^{-3}$ −yə çatır. Bu, materialda Tb-nin rolunun dəyişməsini göstərir — kompensatordan keçiricilik zolağında sərbəst elektronlar yarada bilən donora [5]. Cədvəldən göründüyü kimi, daşıyıcı konsentrasiyası (p) Tb −nin ilkin tətbiqi ilə $0{,}5\ mol\%$ −ə qədər $7{,}2 \times 10^{17}\ sm^{-3}$ −dən təxminən $0{,}036 \times 10^{17}\ sm^{-3}$ minimum dəyərinə qədər azalır ki, bu da yükün tutulması və ya rekombinasiya mərkəzlərinin əmələ gəlməsi səbəbindən daşıyıcıların kompensasiyasını göstərir. Tb tərkibində daha da artımla daşıyıcı konsentrasiyası artır və $5\ mol\%$ −də $1{,}5 \times 10^{17}\ sm^{-3}$ −ə çatır. Bu, materialda Tb-nin rolunun dəyişdiyini göstərir - kompensatordan keçiricilik zolağında sərbəst elektronlar yarada bilən donora [8].



Şəkil 2. $Tb_xSn_{1-x}Se$ sistem ərintilərində Zeebek əmsalının tərkib asılılığı

Otaq temperaturunda təmiz SnSe üçün Zeebek əmsalı $S \approx +400$ ilə $+500\ \mu V/K$ arasında dəyişir (cədvəldə bu dəyər təxminən +420 μV/K-dir). Belə yüksək dəyər aşağı daşıyıcı konsentrasiyası və enerji səviyyələrində anomal sıxlıq funksiyası ilə əlaqələndirilir. Temperatur artdıqca, SnSe-dəki Seebeck əmsalı yüksəlir və yüksək temperaturda (500–800 K) 600–800 μV/K ətrafındakı dəyərlərə çatır [5]. Bu xüsusiyyətlər SnSe-nin yüksək temperaturda termoelektrik çevirici kimi yüksək potensialını vurğulayır. Bu xüsusiyyətlərin birləşməsi bu materiala yüksək səmərəli termoelektrik materiallar arasında aparıcı mövqe verir.

$Tb_xSn_{1-x}Se$-nin bərk məhlullarında terbium tərkibinin artması ilə Zeebek əmsalı (S) əvvəlcə kəskin şəkildə azalır və sonra mənfi dəyərlərə keçdikdən sonra nisbətən sabitləşir (Şəkil 2). İlkin bölgədə ($0 \leq x \leq 0.002$ mol%) müsbət Seebeck əmsalında sürətli bir azalma müşahidə olunur - $+420\ \mu V/K$-dən $+128\ \mu V/$

K −yə qədər. Bu, müsbət yük daşıyıcılarının (dəliklərin) termoelektromotor qüvvəyə verdiyi töhfənin azaldığını göstərir. Bu azalma Sn^{2+}ionlarının Tb^{3+} ionları ilə qismən əvəzlənməsi ilə izah olunur ki, bu da donor effektinin yaranmasına və keçiricilik zolağında elektronların generasiyasına töhfə verən əlavə elektron vəziyyətlərinin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu qismən əvəzlənmə kristal qəfəsinin simmetriyasını pozur, daşıyıcıların səpələnməsini artırır və beləliklə, onların daşınma səmərəliliyini azaldır. $0{,}002 < x < 0{,}0025\ mol\%\ Tb$ dar intervalında Seebek əmsalının işarə inversiyası müşahidə olunur: onun dəyəri $+128\ \mu V/K$ −dən $-325\ \mu V/K$ −yə qədər dəyişir ki, bu da dominant yük daşıyıcısı növündə - dəlik tipli (p-tipli) keçiricilikdən elektron tipli (n-tipli) keçiriciliyə keçidi göstərir. Bu, Fermi səviyyəsinin keçiricilik zolağına yaxın yerdəyişməsi və elektronların dominant daşıyıcılara çevrilməsi ilə əlaqəlidir [6]. Terbium atomları keçiricilik zolağının yaxınlığında lokal enerji səviyyələri yaradır ki, bu da asanlıqla ionlaşır və elektron daşınmasında iştirak edir.

$0{,}0025 < x < 0{,}015\ mol\%\ Tb$ diapazonunda keçiricilik növünün dəyişməsindən sonra Seebeck əmsalı mənfi bölgədə sabitləşir. Bu, elektronların üstünlük təşkil etdiyi yeni daşıyıcı balansının əmələ gəlməsini, Tb donor səviyyələrinin doymasını, enerji strukturunun sabitləşməsini və materialın homogenliyinin artmasını göstərir.

$0{,}02 < x < 0{,}05\ mol\%\ Tb$ intervalında Zeebek əmsalının mütləq qiymətində tədricən azalma müşahidə olunur ki, bu da sərbəst elektron konsentrasiyasının artması və termoelektromotor qüvvəni təyin edən əsas amil olan kimyəvi potensial qradiyentinin azalması ilə əlaqədardır. Tb atomları arasında elektron lokalizasiyasına və ya onların effektiv kütləsində dəyişikliklərə səbəb olan mümkün qarşılıqlı təsirlər, eləcə də Tb tərkibinin artması səbəbindən kristal qəfəsindəki həcm qüsurlarının sıralanması da termoelektrik gərginliyin azalmasına kömək edir [8].

IV. NƏTİCƏLƏR

Tədqiqatlar göstərir ki, $Tb_xSn_{1-x}Se$ bərk məhlullarında terbium aşqarı materialın elektrofiziki və termoelektrik xassələrinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Müəyyən edilmişdir ki, Tb atomlarının Sn atomlarını əvəz etməsi nəticəsində donor səviyyələri yaranır və bu da aşağı konsentrasiyalarda dəliklərin kompensasiyasına, daha yüksək konsentrasiyalarda isə elektronların dominantlıq təşkil etməsinə səbəb olur. x ≈ 0.002–0.0025 intervalında p–n tipli keçiricilik keçidi müşahidə edilmişdir ki, bu da Holl və Zeebek əmsallarının işarə dəyişməsi ilə təsdiqlənir.

Tb konsentrasiyasının artması ilə yükdaşıyıcıların konsentrasiyası qeyri-monoton dəyişir, minimum dəyər kompensasiya sahəsində müşahidə olunur, daha sonra donor təsiri nəticəsində artır. Bununla yanaşı, daşıyıcıların hərəkətliliyinin azalması və fonon səpələnməsinin güclənməsi istilik keçiriciliyinin azalmasına gətirib çıxarır.

Beləliklə, Tb ilə aşqarlanma SnSe əsaslı materiallarda keçiricilik tipinin idarə olunması, daşıyıcı parametrlərinin optimallaşdırılması və termoelektrik effektivliyin artırılması üçün perspektivli yanaşma hesab oluna bilər. Bu nəticələr yüksək səmərəli termoelektrik materialların hazırlanması üçün mühüm elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

ƏDƏBİYYAT

[1] L.-D. Zhao, S.-H. Lo, Y. Zhang, et al. Ultralow thermal conductivity and high thermoelectric figure of merit in SnSe crystals //*Nature*, 508(7496), 373–377, (2014);https://doi.org/10.1038/nature13184

[2] J.Rundle, S.LeoniLayered Tin ChalcogenidesSnS and SnSe: Lattice Thermal Conductivity Benchmarks and Thermoelectric Figure of Merit // *The Journal of Physical Chemistry C,*126, 33, 14036–14046, (2022); https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.2c02401

[3] M.Kumar, S.Rani, P.Vashishtha, et al.Exploring the optoelectronic properties of SnSe: a new insight // ***Journal of MaterialsChemstry C***, **10**, 16714-16722, (2022); doi.org/10.1039/D2TC03799H

[4] A.Q.Zhao, B.Qin,D. Wang, Y.Qiu, L.-D.Zhao Realizing High Thermoelectric Performance in Polycrystalline SnSe via Silver Doping and Germanium // ACS Appl. EnergyMater. 3, 2049−2054, (2020); DOI: 10.1021/acsaem.9b01475

[5] I.I.Abbasov, Sh.S.Ismailov, V.A.Abdurahmanova et al *Low Temperature Physics,* 45, 1277–1280 (2019); https://doi.org/10.1063/10.0000209

[6] J.I.Huseynov, T.A.Jafarov *Semiconductors* **46**, 430–432 (2012). https://doi.org/10.1134/S1063782612040082

[7] J.I.Huseynov, T.A.Jafarov.*World Journal of Condensed Matter Physics*, Vol.4, No.1, p. 1-5, (2014); doi: 10.4236/wjcmp.2014.41001.

[8] J.I.Huseynov, K.A.Hasanov, T.A.Jafarov, I.I.Abbasov. *Ukrainian journal of physics*, 65 *(3)*, 225-230, (2020). http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001127989

Y_2O_3 NANOHİSSƏCİKLƏRİNİN ATOM DİNAMİKASINA SÜRƏTLİ NEYTRON ŞÜALANMASININ TƏSİRİ

Ravil F. Rzayev
Ümumi fizika kafedrası Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Bakı, Azərbaycan
rravil.ipg@gmail.com

Arzu O. Daşdəmirov *STEAM mərkəzi*
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Bakı, Azərbaycan
adashdemirov@gmail.com

Cahangir İ. Hüseynov
Ümumi fizika kafedrası Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Bakı, Azərbaycan
jahangirhuseynov1958@gmail.com

Azər M. Allahverdiyev
Ümumi fizika kafedrası Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Bakı, Azərbaycan
cahangir.adpu@mail.ru

Hüseyn A. Aslanov
Ümumi fizika kafedrası Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Bakı, Azərbaycan
huseynaslan@yahoo.com

Xülasə: Bu işdə ittrium oksid (Y_2O_3) nanohissəciklərinin atom dinamikasına sürətli neytron şüalanmasının təsiri Raman spektroskopiyası metodu ilə tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar ν = 500–3000 sm^{-1} tezlik intervalında aparılmış və 1081 sm^{-1} və 1153 sm^{-1} tezliklərinə uyğun iki əsas Raman modası aşkar edilmişdir. Nümunələr 4.0×10^{12}–10^{15} n/cm^2 intervalında müxtəlif intensivlikli sürətli neytronlarla şüalandırılmışdır. Müqayisəli analiz göstərmişdir ki, şüalanmadan sonra Raman modalarının tezliklərində əhəmiyyətli dəyişiklik baş vermir ki, bu da atomlararası rabitə uzunluqlarının sabit qalmasını göstərir. Bununla belə, şüalanma intensivliyi artdıqca spektrlərdə əlavə fonun yaranması müşahidə edilmişdir ki, bu da zəif rabitələrin qırılması və qismən amorflaşma ilə izah olunur. Nəticələr göstərir ki, Y_2O_3 nanohissəcikləri yüksək radiasiya dayanıqlığına malik olmaqla yanaşı, yüksək intensivlikli neytron təsiri altında strukturunda qismən pozulmalar baş verir.

***Açar sözlər**:* Y_2O_3 nanohissəcikləri , Raman spektroskopiyası . Neytron şüalanması, atom dinamikası, amorflaşma, radiasiya dayanıqlığı, kristal quruluş

I. GİRİŞ

Nanostrukturlu materialların fiziki xassələrinin tədqiqi müasir materialşünaslığın aktual istiqamətlərindən biridir. Xüsusilə ittrium oksidi (Y_2O_3) yüksək kimyəvi və istilik dayanıqlığı, böyük ərimə temperaturu və radiasiya mühitlərinə qarşı davamlılığı ilə seçilən perspektivli keramika materialıdır [1]. Nanoölçülü Y_2O_3 hissəciklərində atom dinamikasının öyrənilməsi materialın struktur sabitliyi və xarici təsirlərə reaksiyasının müəyyən edilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Bu məqsədlə Raman spektroskopiyası atom səviyyəsində vibrasiya modalarının təhlili üçün effektiv və həssas metod kimi geniş tətbiq olunur. Eyni zamanda, yüksək enerjili neytron şüalanmasının materialın kristal quruluşuna təsirinin öyrənilməsi onun radiasiya davamlılığının qiymətləndirilməsi üçün xüsusi maraq doğurur [2]. Bu işdə nanoölçülü Y_2O_3 birləşməsində neytron şüalanmasının atom dinamikasına təsiri Raman spektroskopiyası üsulu ilə tədqiq edilmiş və alınmış nəticələr müqayisəli şəkildə analiz olunmuşdur.

II. TƏCRÜBƏNİN METODİKASI

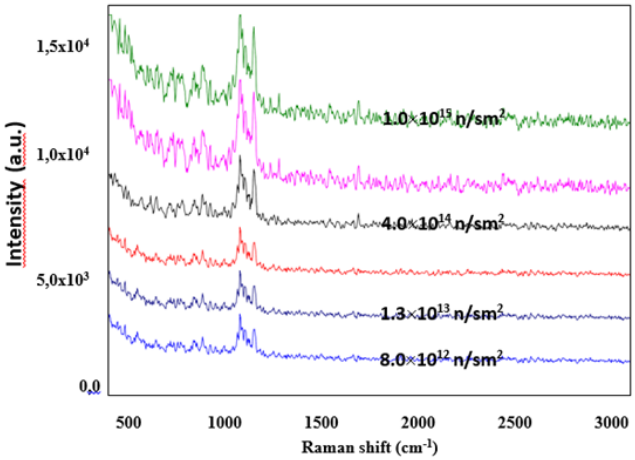
Tədqiqat numunəsi nano kristal şəklindədir, sıxlığı $0.31\ q/sm^3$, təmizlik dərəcəsi 99.995 %, kristal hissəciklərinin ölçüsü 30-45 nm, xüsusi səthin sahəsi (SSA) $25-45\ m^2/q$, ərimə temperaturu $2425\ °C$, buxarlanma temperaturu isə 4300 °C-ə bərabərdir.

Y_2O_3 nanohissəciklərinin quruluş xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi zamanı ilk olaraq onların səth quruluşu və ölçü effekti tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar SEM, ZEISS, ΣIGMA VP cihazında xarici təsirlərinin minimuma endirilmiş halında aparılmışdır. Nümunələrin quruluş xüsusiyyətləri rentgen difraksiyası metodu ilə, atom dinamikası isə Raman spektroskopiya metodu ilə otaq temperaturunda və normal şəraitdə tədqiq edilmişdir. Alınmış nəticələr uyğun olaraq Ritveld metodu ilə Fullprof proqrramı ilə və Qaus funksiyası ilə Origin proqramında analiz edilmişdir.

Tədqiqatlar zamanı NT-MDT, NTEGRA Spectra Raman spektrometrində həyəcanlandırma mənbəyi kimi dalğa uzunluğu $532\ nm$, maksimal gücü isə $10\ mVt$ olan $Nd:YAG$ lazerindən istifadə edilmişdir [3]. Raman spektrləri Origin 9 proqramında analiz edilərək Qauss funksiyalarına uyğun olaraq maksimumların təpə nöqtələrini təyin edərək maddələrin atom dinamikası müəyyən edilmişdir.

III. TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

İttrium oksidi yüksək korroziyaya davamlılıq, kimyəvi və istilik dayanıqlığa, yüksək ərimə temperaturu, zəif istidən genişlənməyə, yüksək istilik keçiriciliyinə və digər xüsusiyyətlərə malik əla keramika materialıdır. İttrium oksid nanohissəciklərinin atom dinamikasının Raman spektroskopiyası ilə tədqiq edilməsi nəticəsində məlum olmuşdur ki, bu metodla atom dinamikası tədqiqatlarının aparılması mümkündür. ν=500-3000 sm^{-1} tezlik intervalında aparılmış tədqiqatlar zamanı aparılmışdır. ν_1=1081sm^{-1} və ν_2=1153sm^{-1} tezliklərinə uyğun gələn iki müxtəlif Raman modası aşkar edilmişdir. Neytron şüasının təsiri ilə bu birləşmədə baş verən dəyişiklikləri tədqiq etmək məqsədi ilə yüksək intensivlikli neytron şüaları ilə şüalandırılmış nümunələrində atom dinamikası Raman spektroskopiyası metodu ilə tədqiq edilmiş və alınmış nəticələrinmüqaisəsi aparılmışdır. Şəkil 1-də nano ölçülü Y_2O_3 birləşməsinin müxtəlif intensivlikli: 4.0×10^{12} n/cm², 8.0×10^{12} n/cm², 1.3×10^{13} n/cm², 4.0×10^{14} n/cm² və 10^{15} n/cm² sürətli neytronlarla otaq temperaturunda şüalandırılmış nümunələrinin Raman spektrləri verilmişdir.



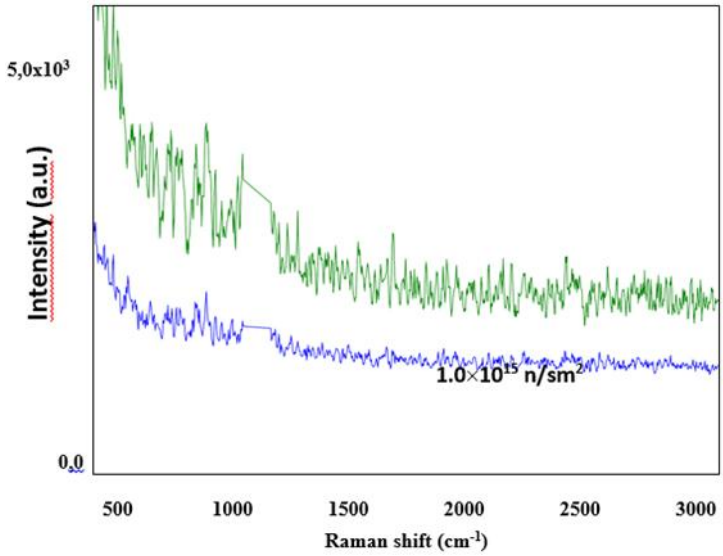
Şəkil1.Neytronlarla şüalandırılmış nanoölçülü Y_2O_3 nümunələrinin Raman spektrləri

Y_2O_3 nano hissəciklərinin şüalandırılmamış və müxtəlif intensivliklərdə sürətli neytronlarla şüalandırılmış nümunələrinin Raman spektrlərinə baxsaq görərik ki, bütün nümunələrdə bu Raman modaları müşahidə edilmişdir. Şəkil 1-də spektrlərdə eyni tezlik diapozonunda baş vermiş effektləri müqaisəli şəkildə müşahidə etmək mümkündür. Verilmiş spektrlərə nəzər saldıqda görünür ki, şüalanmanın intensivliyi artdıqca spektrlərində əlavə fon yaranmağa başlamışdır ki, bu da yüksək intensivlikli neytronların təsiri nəticəsində zəif rabitələrin qırılması hesabına tərkibdə ideal quruluşun qismən dağılmasına və amorflaşmanın yaranmasının əlamətidir [4]. Şüalanma effektini işığın kombinasiyalı səpilmə spektrlərində daha yaxşı müşahidə edilməsi məqsədi ilə $I = 10^{15}$ n/cm² intensivlikdə sürətli neytronlarla şüalandırılmış nümunənin Raman spektrində aşkar edilmiş Raman modaları geniş miqyasda verilmişdir.

$I = 10^{15}$ n/cm² intensivlikdə şüalandırılmış nümunənin raman spektrinin Qaussfunksiyası ilə analizi zamanı müəyyən edilmişdir ki, göstərilən tezlik intervalında 1081 sm^{-1} və 1153 sm^{-1} tezliklərinə uyğun gələnikiərəqs modası müşahidə edilmişdir. Göründüyü kimi Raman modalarınıntezlikləri üçün müşahidə edilmiş bu

qiymətlər, şüalandırılmamış nümunədə müşahidəedilmiş Raman modalarının tezliklərinə uyğun gəlir. Buradan görünür ki, şülanma zamanı nümunələrin atomdinamikasında əsaslı dəyişikliklər baş verməmişdir. Məlumdur ki, atomlararası məsafələrin uzunluqları artdıqca rabitələrin tezliklərinin qiymətlərində azalma baş verir. Əksinə, atomlararası məsafələrin uzunluqları azaldıqca rabitələrin tezliklərinin qiymətlərində artma baş verir. İttrium oksid nanohissəciklərinin şüalanmamış və şüalanmış nümunələrində aşkar edilmiş rəqs modalarının tezliklərinin qiymətlərində dəyişikliklərin aşkar edilməməsi, ittrium vəoksigen atomlarının əmələ gətirdikləri rabitələrinin uzunluqlarında dəyişikliklər baş verməməsinin göstəricisidir.

Yüksək intensivlikli neytronlarla şüalandırılmış ittrium oksid nanohissəciklərinin Raman spektrlərində əsaslı dəyişikliklər yaranmasa da, neytnonlar nanohissəciklərə təsirsiz ötüşməmişdir. Bu təsirin daha dəqiq öyrənilməsi məqsədi ilə Raman spektrlərinin fonu müqayisə edilmişdir. Şəkil 2-də sürətli neytron şüaları ilə süalandırıldığı zamanY_2O_3 nanohissəciklərinin atom dinamikasında yaranmış effektləri göstərmək məqsədi ilə şüalandırılmamış və 10^{15}n/cm² intensivlikdə sürətli neytronlarla şüalandırılmış nümunələrin Raman spektrlərinin analizi aparılmışdır. Bu məqsədlə ν = 500-3000 sm^{-1} tezlik intervalında alınmış spektrlərin fonu müqaisə edilmişdir. İşığın kombinasiyalı səpilmə spektrlərinin müqaisəsindən görünürki, *E*<1MeV enerjili sürətli neytronlarla şüalandırılma zamanı nümunələrin spektrlərində əlavə fonəm ələgəlmişdir [5]. Bu effekt ittrium oksid nanohissəcikləri üçün alınmış rentgen difraksiyasıspektrlərinin analiz edilməsi zamanı da müşahidə edilmiş və neytron selinin təsiri ilənümunələrdə zəif rabitələrin qırılması hesabına qismən amorflaşmanın baş verməsi ilə izah edilmişdir.



Şəkil 2. Şüalandırılmamış və 10^{15}n/cm² intensivlikdə neytronlarla şüalandırılmış nanoölçülü Y_2O_3 birləşməsinin Raman spektrlərinin fonu

Göründüyü kimi Raman spektroskopiyası metodu ilə tədqiqatlar zamanı məlumolmuşdur ki, nano ölçülü Y_2O_3 birləşməsi xarici təsirlərə qarşı kifayət qədər davamlımaterialdır. Bunun materialın quruluş xüsusiyyətləri ilə birbaşa bağlı olan bir neçəsəbəbi vardır. Əsas səbəb ondan ibarətdir ki, nano ölçülülərdə materiallar dayanıqlı vəfərqli xüsusiyyətlərə malik olurlar. Ona görə də nanotexnologiyaların inkişaf etməsi nəticəsində materiallara yenidən baxılması zərurəti meydana gəlmişdir. Digər tərəfdən Y_2O_3 birləşməsi yüksək simmetriyalı kristal quruluşa malik olur və ona görə də davamlı kristal quruluş formalaşdırır. Lakin, bunlara baxmayaraq sürətlineytron şüalanması nəticəsində bu tərkibdə də qismən dəyişikliklər müşahidə edilmişdir. Çünki sistemin nə qədər dayanıqlı olmasına baxmayaraq yüksək enerjili neytron şüalarının təsiri ilə zəif kimyəvi rabitələrdə qırılma baş verir. Ona görə də materiallarda amorflaşma müşahidə olunur.

IV. NƏTİCƏLƏR

Aparılmış tədqiqatların nəticələri göstərir ki, Y_2O_3 nanohissəciklərində 1081 sm^{-1} və 1153 sm^{-1} tezliklərinə uyğun Raman modaları həm şüalandırılmamış, həm də müxtəlif intensivlikli sürətli neytronlarla şüalandırılmış nümunələrdə qorunub saxlanılır. Bu fakt şüalanma prosesinin atomlararası rabitələrin uzunluqlarına və uyğun olaraq rəqs tezliklərinə ciddi təsir göstərmədiyini sübut edir. Bununla yanaşı, neytron şüalanmasının intensivliyi artdıqca Raman spektrlərində əlavə fonun yaranması müşahidə olunur ki, bu da zəif kimyəvi rabitələrin qırılması və materialda qismən amorflaşmanın baş verməsi ilə izah olunur. Beləliklə, Y_2O_3 nanohissəcikləri yüksək radiasiya dayanıqlığı nümayiş etdirsə də, yüksək enerjili

neytronların təsiri altında onların strukturunda müəyyən dərəcədə pozulmalar yaranır. Bu nəticələr göstərir ki, Y_2O_3 nanoölçülü materiallar xarici təsirlərə qarşı davamlı olmaqla yanaşı, ekstremal şəraitdə belə qismən struktur dəyişikliklərinə məruz qala bilir və bu da onların tətbiq sahələrinin seçilməsində nəzərə alınmalıdır.

ƏDƏBİYYAT

[1] J. Q. Xu, S. J. Xiong, X. L. Wu, T. H. Li, J. C. Shen, Paul K. Chu Investigation of activated oxygen molecules on the surface of Y_2O_3 nanocrystals by Raman scattering *Journal Of Applied Physics*, 114, 093512 (2013); https://doi.org/10.1063/1.4820465

[2] A.Kruk Structural and Magneto-Optical Characterization of La, Nd: Y2O3 Powders Obtained via a Modified EDTA Sol–Gel Process and HIP-Treated Ceramics Materials 13, 4928, (2020); doi:10.3390/ma13214928

[3] Abbasov I., Musayev M., Huseynov J., Kostyrko M., Eyyubov G., Askerov D. Temperature behaviour of the photoluminescence spectra of polycrystalline ZnSe films with different surface treatment *Ukrainian Journal of Physical Optics*, Volume 21, Issue 3, pp. 159-170, (2020); DOI:10.3116/16091833/21/3/159/2020

[4] A.O.Dashdemirov, J.I.Huseynov, R.F.Rzayev, Y.I.Alıyev Thermophysical behavior in Y_2O_3 under high intensity fast neutron irradiation *Modern Physics Letters* B Vol. 36, No. 20, 2250092 (2022); https://doi.org/10.1142/S0217984922500920

[5] A.O. Dashdemirov, R.F. Rzayev, Y.I. Aliyev, Influence of a neutron beam on the electrical properties of nanosized Y2O3 crystals, UNEC J. Eng. Appl. Sci. 3(2), 71-75, (2023) https://doi.org/10.61640/ujeas.2023.1210

INTERFACIAL POLARIZATION AND CHARGE TRANSPORT IN LAYERED GRAPHENE/$BaTiO_3$/PVA NANOCOMPOSITE FILMS FOR HIGH-FREQUENCY DIELECTRIC APPLICATIONS

Lala Gahramanli
Nano Research Laboratory, Excellent Center, Baku State University, Baku, Azerbaijan
lalagahramanli@bsu.edu.az

Shafiga Alakbarova
Nano Research Laboratory, Excellent Center, Baku State University, Baku, Azerbaijan
alakbarova.safiqa.safar@bsu.edu.az

Abstract: In this work, graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite films with a layered sandwich structure were synthesized by a three-stage solution-casting procedure and characterized by X-ray diffraction (XRD) with Rietveld refinement, Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy, scanning electron and atomic force microscopy (SEM/AFM), UV–Visible spectroscopy, as well as frequency and temperature-dependent dielectric spectroscopy. XRD confirmed that $BaTiO_3$ crystallizes in the ferroelectric tetragonal P4mm phase ($\boldsymbol{a}$ = 3.99 Å, $\boldsymbol{c}$ = 4.03 Å; $\boldsymbol{c/a}$ = 1.010) and that all three phases coexist without the formation of new crystalline types. Semi-quantitative RIR analysis determined phase fractions of approximately 20.7 wt% $BaTiO_3$, 17.5 wt% graphene, and 61.8 wt% PVA. FTIR spectra showed that the interactions between components are predominantly non-covalent (van der Waals, electrostatic, cation-π). Tauc analysis of UV–Vis data presented direct and indirect band gaps of 6.38 eV and 6.06 eV, notably exceeding those of pure PVA (~5.9 eV) and $BaTiO_3$ (~3.2 eV). Dielectric measurements revealed that Maxwell–Wagner–Sillars interfacial polarization dominates at low frequencies and high temperatures, while the AC conductivity follows Jonscher's universal power law, indicating thermally activated hopping transport across graphene and $BaTiO_3$ pathways. The composite behaves as a low-loss dielectric ($\boldsymbol{\tan\delta} < 0.1$) at frequencies above the MWS relaxation band, making it a promising candidate for high-frequency capacitive and sensing applications.

Keywords*: graphene, $BaTiO_3$, PVA, nanocomposite, dielectric properties, Maxwell–Wagner–Sillars polarization, Jonscher's law.*

INTRODUCTION

The search for multifunctional materials combining several necessary properties within a single system has become a central topic in modern materials science. Advances in nanotechnology over the past two decades have made it possible to engineer composites at the nanoscale, opening new possibilities in energy storage, flexible electronics, photonics, and biomedical applications [1]. Among the many classes of functional nanomaterials, perovskite-type oxides have attracted sustained attention. Barium titanate ($BaTiO_3$) is one of

the most widely studied members of this family, combining ferroelectric, piezoelectric, and dielectric properties with a wide band gap of approximately 3.2 eV [2, 3].

Graphene, discovered by Novoselov et al. in 2004 [4], has changed two-dimensional materials research through its remarkable electron mobility (exceeding 2×105 cm^2 V^{-1} s^{-1}), Young's modulus of about 1 TPa, and broadband optical absorption. Several studies have shown that integrating graphene into $BaTiO_3$ systems can enhance the dielectric constant, improve microstructural homogeneity, and introduce visible-light absorption through photosensitization [5]. However, all-ceramic composites remain rigid and difficult to process into thin, flexible films.

Embedding both $BaTiO_3$ and graphene in a flexible polymer matrix offers a way around this limitation. Polyvinyl alcohol (PVA) is a particularly attractive matrix because it is water-soluble, forms strong and optically transparent films, and possesses hydroxyl groups that hydrogen-bond with oxide nanoparticle surfaces, enabling good filler dispersion [6]. Although graphene/$BaTiO_3$/polymer systems have been reported in several recent studies [7, 8], the combined effect of simultaneously integrating $BaTiO_3$ and graphene into a PVA matrix on the structural, optical, and dielectric behaviour of the resulting ternary composite remains insufficiently explored. In particular, the role of interfacial interactions in governing the effective band gap and the Maxwell–Wagner–Sillars (MWS) interfacial polarization response has not been systematically addressed.

The present work addresses this gap by preparing graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite films with a layered sandwich structure via solution casting and by characterizing them using XRD with Rietveld refinement, FTIR, SEM, AFM, UV–Vis spectroscopy, and dielectric spectroscopy. The aim is to understand the structural integration of the three phases, the modification of the optical band gap, and the frequency and temperature-dependent dielectric response of the composite, with significance on identifying the dominant polarization and conduction mechanisms.

MATERIALS AND METHODS

Polyvinyl alcohol (PVA) with an average molecular weight of approximately 89,000-98,000 g/mol was used as the polymer matrix, owing to its water solubility, film-forming ability, and hydroxyl-mediated hydrogen bonding with oxide surfaces [6]. $BaTiO_3$ nanoparticles with a nominal size of 500 nm served as the ceramic filler, chosen for their high dielectric constant and ferroelectric tetragonal phase at room temperature. Few-layer graphene nanoplatelets were used as the conductive carbon component. Distilled water was used as the solvent for PVA, while isopropyl alcohol served as the dispersion medium for $BaTiO_3$ and graphene.

Graphene nanoplatelets were obtained by liquid-phase exfoliation. Expandable graphite was first subjected to microwave irradiation to induce expansion, then dispersed in isopropyl alcohol and sonicated for 1 hour. The mechanical energy of the ultrasonic waves overcame the van der Waals forces between graphite layers, producing thin, few-layer nanoplatelets [9].

The nanocomposite films were prepared by a three-stage layer-by-layer solution casting procedure. First, 5 wt% PVA was dissolved in distilled water at 80 °C under magnetic stirring for 2 hours. Separately, $BaTiO_3$ and graphene (1:1 by weight) were dispersed in isopropyl alcohol by mechanical stirring for 3 hours. The PVA solution was then cast on a clean glass substrate and dried at room temperature for approximately 24 hours, forming a transparent base layer. The graphene/$BaTiO_3$ dispersion was deposited onto the PVA layer, followed by a second PVA layer cast over the filler, creating a sandwich PVA/graphene/$BaTiO_3$/PVA structure with a final film thickness of approximately 80–120 μm. A schematic representation of the three-stage solution-casting process used for the fabrication of the layered nanocomposite is presented in Figure 1.

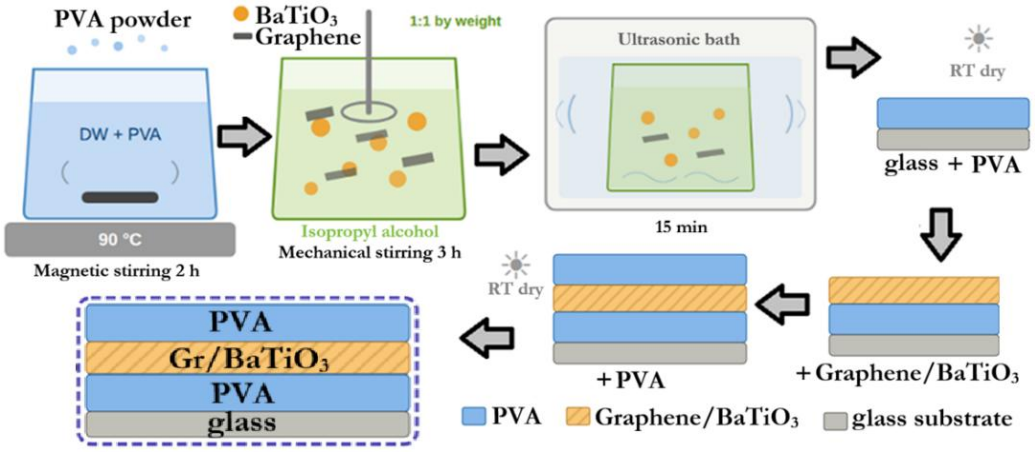


Figure 1. Schematic illustration of the three-stage solution-casting procedure used to fabricate the layered PVA/graphene/$BaTiO_3$/PVA sandwich nanocomposite film.

Phase identification was carried out by powder X-ray diffraction on a Bruker D2 Phaser diffractometer ($Cu\ K\alpha$, λ = 1.5406 Å, 2θ range 5-80°, step 0.02°). Phase fractions were estimated by the Reference Intensity Ratio (RIR) method in Bruker EVA, and the $BaTiO_3$ structure was refined by the Rietveld method in Bruker TOPAS. Crystallite size was estimated by both the Debye–Scherrer and Williamson–Hall methods. Morphology was examined by SEM on a FEI Quanta Inspect microscope (20 kV). FTIR spectra were recorded on a Shimadzu spectrometer over 400-4000 cm^{-1}. Surface topography was imaged by AFM in tapping mode. UV–Vis absorption spectra were collected on a Specord 250 PLUS spectrophotometer (200-1000 nm), and the optical band gap was extracted by Tauc analysis. Dielectric measurements were performed on an E7-20 immittance meter from 100 Hz to 1 MHz at temperatures between 20 and 100 °C, yielding the real part of the dielectric constant (ε'), the dielectric loss (ε''), the loss tangent ($tan\ \delta$), and the AC conductivity (σ_{ac}).

RESULTS AND DISCUSSION

A. Structural and FTIR Analysis

The crystalline structure and phase composition of the graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite were analyzed using X-ray diffraction (XRD), as illustrated in Figure 2.

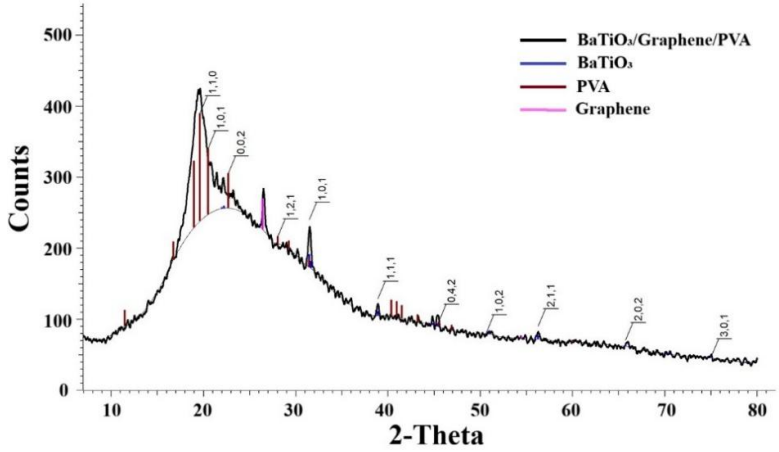


Figure 2. XRD pattern of the graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite with Rietveld refinement and RIR-based phase fraction analysis.

The XRD pattern of the composite shows well-defined peaks at 2θ = 24.49°, 33.97°, 41.40°, 47.94°, 53.68°, 58.97°, and 68.82° characteristic of the tetragonal $BaTiO_3$ phase, a sharp (002) peak of graphitic carbon near $2\theta \approx$ 26.5°, and a broad amorphous hump near 19° originating from PVA. No additional peaks are present, indicating that all three phases coexist without the formation of new crystalline types. Rietveld refinement confirms the P4mm space group with lattice parameters $a = b$ = 3.99 Å and c = 4.03 Å (c/a = 1.010), consistent with the ferroelectric tetragonal distortion of $BaTiO_3$ at room temperature [2]. Semi-quantitative RIR analysis yields phase fractions of approximately 20.7 wt% $BaTiO_3$, 17.5 wt%

graphene, and 61.8 wt% PVA. Crystallite size estimates are $D_{DS} \approx 13.4$ nm from the Debye–Scherrer formula and $D_{WH} \approx 17.0$ nm from the Williamson–Hall method, together with a microstrain $\varepsilon = 1.14 \times 10^{-3}$; the difference between the two size estimates reflects the contribution of lattice strain to peak broadening, which Scherrer analysis alone does not separate.

The chemical bonding environment and functional groups in the graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite were analyzed using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, as illustrated in Figure 3.

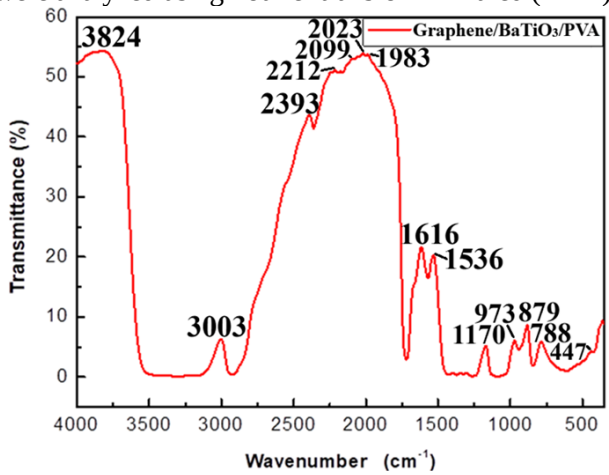


Figure 3. FTIR spectrum of the graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite film in the 400–4000 cm^{-1} range, with assignments for the dominant Ti–O, C–O–C, C–H, and O–H vibrational bands.

FTIR spectra confirm the presence of all three phases and indicate that the interactions among them are non-covalent. The strong band near 447 cm^{-1} corresponds to Ti–O stretching in the perovskite lattice, while the bands at 1170 cm^{-1} (C–O–C stretching), 973 cm^{-1} (C–H bending), and the broad O–H absorption in the 3300-3500 cm^{-1} range are assigned to PVA. A weak C=C skeletal mode near 1616 cm^{-1} arises from the graphene aromatic network. Importantly, no absorption band is observed in the 1050-1100 cm^{-1} region, where a Ti–O–C stretching mode would appear if covalent bonds had formed between graphene and $BaTiO_3$. This absence indicates that the graphene–$BaTiO_3$ interface is governed by non-covalent interactions, van der Waals forces, electrostatic attraction, and cation–π coupling between Ba^{2+} and the graphene π-system, which collectively provide sufficient interfacial adhesion without high-temperature processing [5].

B. Morphology (SEM/AFM)

The morphological characteristics of the graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite, including cross-sectional structure and surface roughness, were examined using SEM and AFM techniques, as illustrated in Figure 4.

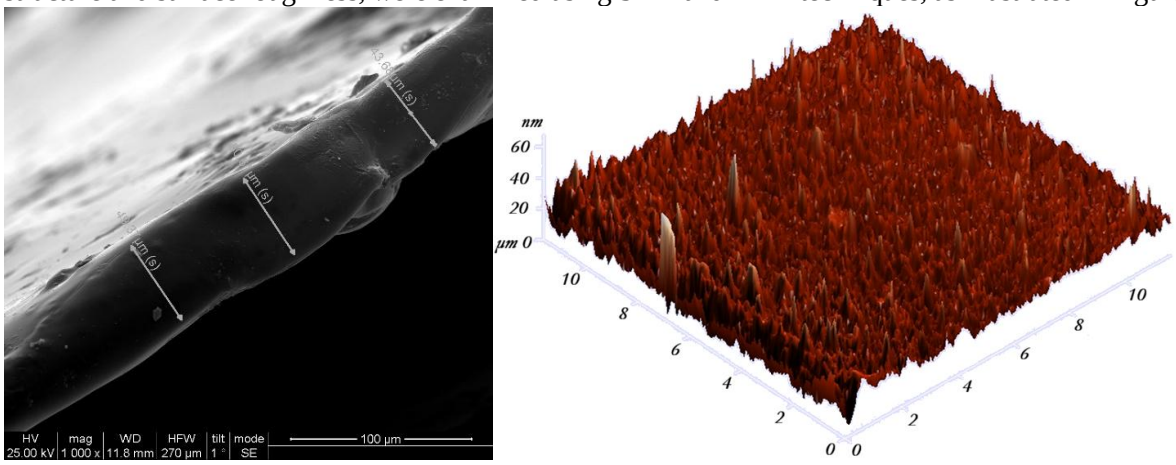


Figure 4. Cross-sectional SEM image of the graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite film (a); AFM image of the nanocomposite surface: 3D reconstruction at 11 µm scan (b)

Cross-sectional SEM images reveal a dense but heterogeneous microstructure with plate-like formations of 23-42 µm in thickness, reflecting uneven drying during the casting process. At intermediate magnifications, graphene nanoplatelets are seen to lie partially parallel to the film surface, with localized $BaTiO_3$ clusters

visible as rounded granular features. AFM imaging on both 11 μm and 2.5 μm scans confirms a densely covered surface with elongated, sheet-like graphene features, bright nanoparticle clusters (heights of 20-30 nm) attributed to $BaTiO_3$ agglomerates, and smoother PVA-rich regions between them. The overall picture is of a layered sandwich architecture with a large total area of filler–polymer interfaces, exactly the sites where Maxwell–Wagner–Sillars interfacial polarization develops.

C. Optical Properties

The optical absorption characteristics of the graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite were analyzed using UV–Vis spectroscopy, and the corresponding transmittance spectrum is presented in Figure 5, while the Tauc plot results used for band gap determination are summarized in Table 1.

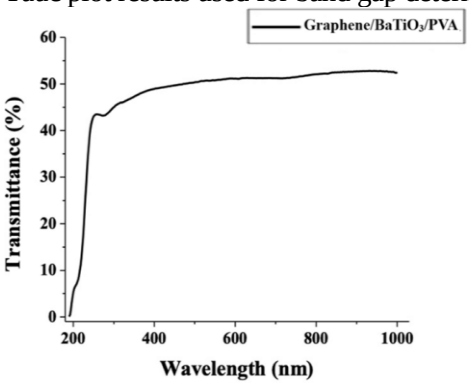


Figure 5. UV–Vis transmittance spectrum of the graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite film in the 200-1000 nm range.

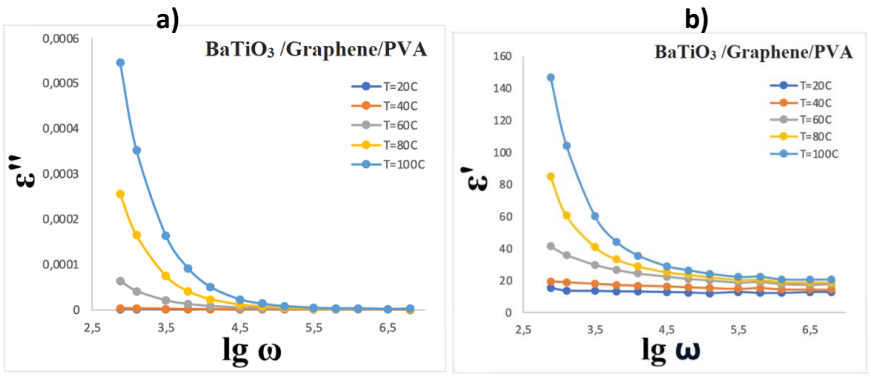
Table1. Optical band gap values of the graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite determined from Tauc plots: (a) direct transition; (b) indirect transition.

Direct transition	Indirect transition
6.38 eV	**6.06 eV**

UV–Vis transmittance spectra show strong absorption below 200 nm, attributable to $BaTiO_3$ interband transitions (O *2p* → Ti *3d*), and moderate transparency across the visible range that is primarily contributed by the PVA matrix, with additional attenuation from scattering by fillers and broadband absorption by graphene. Tauc plots yield an apparent direct band gap of 6.38 eV and an indirect band gap of 6.06 eV. These values are significantly higher than the ~3.2 eV of bulk $BaTiO_3$ and even exceed the ~5.9 eV of pure PVA films reported in the literature [6]. The observed increase can be attributed to interfacial interactions, charge-carrier localization, and the formation of potential barriers at the phase boundaries.

D. Dielectric Response

The dielectric behavior of the graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite was investigated as a function of frequency and temperature to investigate its polarization mechanisms, charge transport processes, and interfacial effects. The corresponding dielectric parameters are presented in Figure 6.



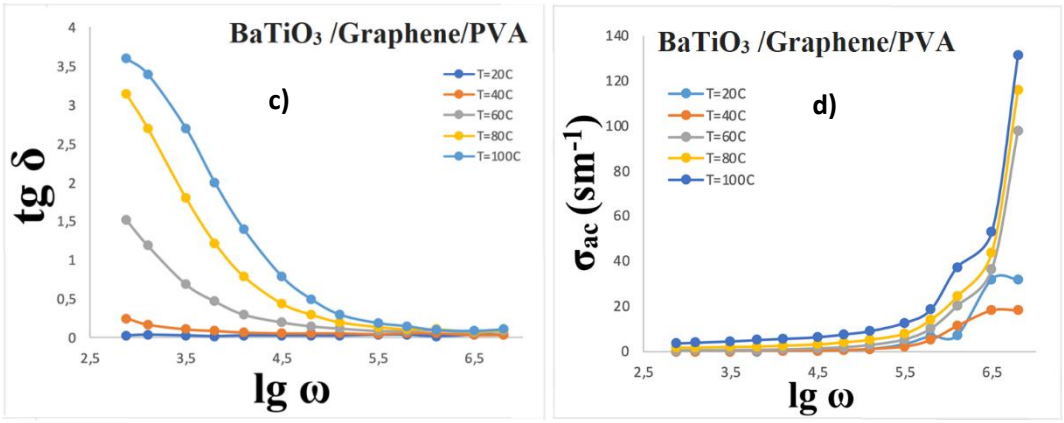


Figure 6. Frequency dependence of the real part of the dielectric permittivity ε' (a), imaginary part of the dielectric permittivity ε'' (b), dielectric loss tangent $tan\,\delta$ (c), and AC conductivity σ_{ac} (d) of the graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite at temperatures from 20 to 100 °C.

The real part of the dielectric permittivity ε′ shows strong frequency and temperature dependence. At low frequencies ($lg\,\omega < 3.5$), ε' reaches approximately 147 at 100 °C but only ~18 at 20 °C, an almost 8 times difference across the measured temperature range. This large low-frequency permittivity is dominated by Maxwell–Wagner–Sillars interfacial polarization, which arises from charge accumulation at the $BaTiO_3$/PVA, graphene/PVA, and graphene/$BaTiO_3$ boundaries, whose conductivities differ markedly. The temperature enhancement in this regime reflects thermally activated carrier mobility, both in the polymer and through hopping pathways, which promotes more efficient charge redistribution within each half-cycle of the field [7]. As frequency increases ($3 < lg\,\omega < 5$), ε' decreases steeply, reflecting the progressive inability of slow polarization processes (MWS and PVA dipolar reorientation) to follow the field. At high frequencies ($lg\,\omega > 6$), all curves converge to $\varepsilon' \approx$ 10-18, reflecting only the fast electronic and ionic polarizations that are essentially temperature-independent in this range. The frequency dependence of ε′ at temperature range 20-100°C is illustrated in Figure 6(a).

The imaginary permittivity ε'' and the loss tangent $tan\,\delta = \varepsilon''/\varepsilon'$ follow the same qualitative pattern: both reach maximum values at low frequencies and high temperatures, where energy dissipation is dominated by ohmic losses along graphene pathways and by interfacial charge relaxation. At 100 °C and low frequencies, $tan\,\delta$ exceeds unity, meaning the composite behaves as a lossy conductor under these conditions, which is typical behavior for a heterogeneous composite operating below but near the graphene percolation threshold. The underlying thermal activation follows an Arrhenius-type relaxation time $\tau = A \cdot exp(-Q/RT)$, so that each temperature increase shifts the MWS loss peak to higher frequencies, raising $tan\,\delta$ at any fixed low measurement frequency. Above $lg\,\omega \approx 5.5$, $tan\,\delta$ falls below 0.1 at all temperatures, indicating that graphene/$BaTiO_3$/PVA behaves as a good dielectric at high frequencies. The frequency dependence of both ε'' and $tan\,\delta$ at temperature range 20-100°C is illustrated in Figure 6(b) and 6(c) respectively.

The AC conductivity $\sigma_{ac} = \omega\varepsilon_0\varepsilon''$ on the other hand, show a low-frequency plateau followed by a frequency-dispersive increase, conforming to Jonscher's universal power law $\sigma_{ac}(\omega) = \sigma_{dc} + A \cdot \omega^n$ with $0 < n < 1$. The DC-like plateau at low frequencies reflects long-range charge transport through the near-percolation graphene network, while the power-law rise at higher frequencies signals localized hopping between $BaTiO_3$ nanoparticles across thin PVA barriers and along discontinuous graphene segments. The conductivity increases monotonically with temperature across the entire frequency range, consistent with thermally activated hopping and reduced viscous resistance to carrier motion (Walden's rule). At 100 °C, σ_{ac} reaches approximately 130 S/m at the highest measured frequencies, about 26 times the low-frequency plateau value, illustrated in Figure 6(d).

CONCLUSION

Graphene/$BaTiO_3$/PVA nanocomposite films with a layered sandwich architecture were successfully synthesized by solution casting and characterized by a complementary set of structural, optical, and dielectric techniques. X-ray diffraction and Rietveld refinement confirmed that $BaTiO_3$ crystallizes in the ferroelectric tetragonal P4mm phase ($a = 3.99$ Å, $c = 4.03$ Å) and that all three constituents coexist without the formation of new crystalline phases, with approximate phase fractions of 20.7 wt% $BaTiO_3$,

17.5 wt% graphene, and 61.8 wt% PVA. FTIR spectra showed that the interactions among components are predominantly non-covalent, with no evidence of Ti–O–C bond formation. SEM and AFM revealed a layered but heterogeneous microstructure with local $BaTiO_3$ agglomerates and protruding graphene nanoplatelets.

Tauc analysis showed direct and indirect band gaps of 6.38 eV and 6.06 eV, respectively, notably exceeding those of pure PVA and bulk $BaTiO_3$; this enhancement is attributed to interfacial interactions and charge-carrier localization at the phase boundaries. The dielectric response is dominated at low frequencies and elevated temperatures by Maxwell–Wagner–Sillars interfacial polarization, with ε' reaching ∼147 at 100 °C, and converges at high frequencies to a temperature-insensitive value of ∼10-18 governed by fast electronic and ionic polarizations. The AC conductivity follows Jonscher's universal power law, confirming a transition from long-range DC-like transport at low frequencies to localized hopping at high frequencies, with both regimes thermally activated. Below the MWS relaxation band, the composite is lossy, but above $lg\ \omega \approx 5.5$, the loss tangent falls below 0.1 at all measured temperatures. Taken together, these findings identify graphene/$BaTiO_3$/PVA films as a promising candidate for high-frequency capacitive and sensing applications, provided the operating frequency is selected above the MWS relaxation band.

REFERENCES

[1] Buscaglia, V., Buscaglia, M. T., & Canu, G. (2021). BaTiO3-based ceramics: fundamentals, properties and applications. *Encyclopedia of materials: Technical ceramics and glasses*, *3*, 311-344.

[2] Megaw, H. D. (1946). Crystal structure of double oxides of the perovskite type. *Proceedings of the Physical Society*, *58*(2), 133-152.

[3] Elmahgary, M. G., Mahran, A. M., Ganoub, M., & Abdellatif, S. O. (2023). Optical investigation and computational modelling of BaTiO3 for optoelectronic devices applications. *Scientific Reports*, *13*(1), 4761.

[4] Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D. E., Zhang, Y., Dubonos, S. V., ... & Firsov, A. A. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. *science*, *306*(5696), 666-669.

[5] Luo, B., Wang, X., Tian, E., Gong, H., Zhao, Q., Shen, Z., ... & Li, L. (2016). Dielectric enhancement in graphene/barium titanate nanocomposites. *ACS applied materials & interfaces*, *8*(5), 3340-3348.

[6] Soliman, T. S., Zaki, M. F., Hessien, M. M., & Elkalashy, S. I. (2021). The structure and optical properties of PVA-BaTiO3 nanocomposite films. *Optical Materials*, *111*, 110648.

[7] Dang, Z. M., Yuan, J. K., Yao, S. H., & Liao, R. J. (2013). Flexible nanodielectric materials with high permittivity for power energy storage. *Advanced Materials*, *25*(44), 6334-6365.

[8] Zhang, P., Yuan, S., Song, X., Tang, J., Lin, Q., Liu, X., ... & Zuo, P. (2024). Three-phase interfacial design in BaTiO3/rGO/polyetherimide composite enabling enhanced dielectric, thermal and mechanical properties. *Polymer Composites*, *45*(11), 10220-10233.

[9] Paton, K. R., Varrla, E., Backes, C., Smith, R. J., Khan, U., O'Neill, A., ... & Coleman, J. N. (2014). Scalable production of large quantities of defect-free few-layer graphene by shear exfoliation in liquids. *Nature materials*, *13*(6), 624-630.

[10] Rietveld, H. M. (1969). A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Applied Crystallography*, *2*(2), 65-71.

1P/HALLEY KOMETİ: ORBİTİ, DÖVR VƏ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Həzi Qasımov
Bakı Mühəndislik Universitet
Bakı, Azərbaycan
hqasimov@beu.edu.az

Cavad Xankişiyev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
cxankishiyev1@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu tədqiqat işində dövri komet sisteminin ən məşhur nümayəndəsi olan Halley kometinin bir-sıra orbit elementləri ilə yanaşı onun fiziki xüsusiyyətləri və dinamikası təhlil olunur. Məlum olduğu kimi hər bir komet digər Günəş sisteminin üzvləri kimi perihelidən keçirlər və hər dəfə perihelidən keçdikləri zamanı ölçülərinin və kütlələrinin dəyişməsi baş verir. Bundan əlavə kometlərin Günəş ətrafında dolanma periodları və perioda təsir edən müxtəlif amillər nəzərdən keçirilir. Halley kometi Günəş sisteminin dərinliklərinə gəldikcə böyük planetlərin təsirinə məruz qala bilirlər və bu da onların orbitlərində müəyyən dəyişikliyə səbəb olur. Bu işdə eyni zamanda kometin təsirə məruz qaldığı digər aspektlər araşdırılır.
Açar sözlər*: dövrü kometlər, Halley kometi, orbit xüsusiyyətləri*

I. GİRİŞ

Kometlər Günəş sisteminə məxsus olan əsrarəngiz göy cisimlərindən olub, irəli sürülən müxtəlif hipotezlərə görə Günəş sistemi meydana gələrkən yaranıblar. Onlardan bir qismi nəhəng planetlərin təsir sferasında (Yupiter komet ailəsi) qalmağı bacarıblar, bir qismi planet sisteminin kənar bölgələrinə (Koyper qurşağı), bir çoxu isə Günəş sisteminin periferiyasına (Oort buludu) doğru itələniblər.

Halley kometi Koyper qurşağına məxsus olan komet olub, onun Günəş ətrafında dolanma periodu 76 ilə bərabərdir. Bu komet 1682-ci ilk dəfə Halley tərəfindən aşkar edilmişdir. O, Halley kometinin orbit elementlərini təhlil edərək kometin 1758-ci ildə yenidən geri dönəcəyini və təkrar müşahidə ediləcəyini proqnozlaşdırdı. Halleyin özünə nəsib olmasada komet 1758-ci ilin dekabrında yenidən müşahidə olundu. Bu səma mexanikasında irəli sürülən Kepler qanunlarının və Nyutonun ümumdunya cazibə qanunun nə qədər doğru olmasının təntənəsi idi. Halley kometi sonuncu dəfə 1986-ci ildə müşahidə olunmuşdur. Onu yaxından müşahidə etmək üçün dünyanın bir-sıra ölkələrinin kosmik missiyaları, o cümlədən Yaponiyanın Suisei və Sakigake, Sovet İttifaqının Vega 1 və Vega 2, Avropa birliyinin Giotto, NASA-nın Pioneer kosmik gəmiləri Halleyi müxtəlif baxış nöqtələrindən müşahidə etmək imkanı əldə etdi.

II.TƏDQİQAT METODU

Halley kometinin ölçüləri 15 km x 8 km tərtibindədir, uzunsov qurluşa malikdir, kütləsi 2,2 x 10^{14} kq-dır [1]. Halley kometi hər dəfə perihelidən keçəndə kütləsinin 0,1-0,3%-ni itirir və bu proses nəticəsində müəyyən müddətdən sonra kiçiləcək, ya parçalanacaq ya da komet fəallığını itirəcək [2]. Kütlə itkisini kometin ömrünə necə təsir etdiyi aşağıdakı düsturlarla hesablanır. Kütlə itkisini nəzərə alaraq kometin günəşin yaxınlığından – perihelidən neçə keçid edə biləcəyi (1) düsturu ilə təyin edilir.

$$\text{n (keçid sayı)} = \frac{m_{ümumi}}{m_{itirilən}} = \frac{2{,}2 \cdot 10^{14} kq}{3 \cdot 10^{11} kq} = 730 \quad (1)$$

Təxminən 730 keçid zamanı kometin kütləsi ciddi şəkildə azalacaq. Bu prosesin təxmini hansı müddət ərzində baş verəcəyini aşağıdakı qaydada hesablaya bilərik.

$$t \text{ (il)} = n \text{ (keçid)} \cdot T \text{ (il)} = 730 \cdot 76 = 55\,480 \text{ il} \quad (2)$$

Halley kometinin orbitində ciddi dəyişiklik olmasa, komet vaxtından əvvəl parçalanmasa təxminən 55 500 ilə kütləsi çox kiçik qiymətə çata biləcək.

Kometlərin təkamüllərinin sonunda onların asteroidə çevrilməsi baş verir və komet fəallığını tamamilə itirir, yəni komet koma və quyruq əmələ gətirə bilmir. Hesablamamızda kometin ümumi kütləsinin 5%-i kritik həddi kimi götürülür və fərz edirik ki, komet bu həddi keçdikdə "ölü" kometə çevrilə bilər. Burada proseslərin hansı şəkildə gedəcəyi Halley kometinin səthinin fiziki xüsusiyyətlərindən asılıdır.

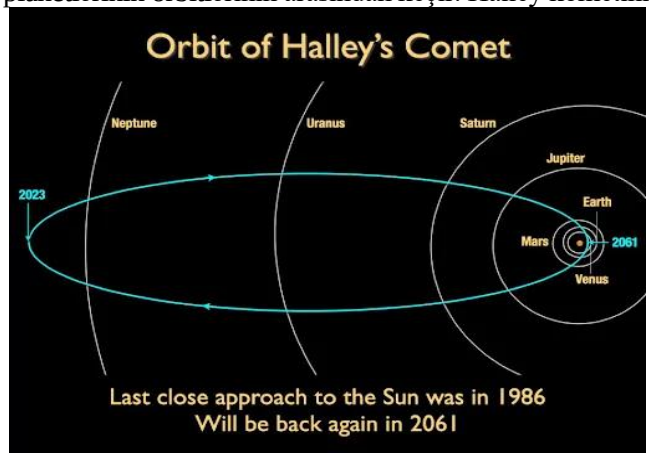
5% kritik həddə, 0,05 x kometin ümumi kütləsi = 0,05 x 2,2 x 10^{14} kq = 1,1 x 10^{13} kq.
Hər keçiddə təxmini hesablamalara görə komet 3 x 10^{11} kq kütlə itirir.

n (sönmə) = $\frac{1{,}1 \text{ x } 10^{13} \text{ kq.}}{3\ x\ 10^{11}\ kq} = 37$ keçid

Kometin fəallığını itirmə müddəti 37 x 76 il = 2800 il alınır. Təxminən 2800 -3000 il sonra komet öz fəallığını itirə bilər. Halley kometi haqqında maraqlı faktlardan biri də odur ki, onun səthi tam fəal deyil, bəzi bölgələri sönmüş haldadır**.** 1986-cı ildə kometin yanından keçən Giotto missiyası (Avropa Kosmik Agentliyinin aparatı) onun nüvəsini ilk dəfə yaxından görüntülədi. Səthin böyük hissəsi tünd rəngdə tozla örtülmüşdür, albedosu o qədər kiçikdir ki, komet kömürdən də qaradır. Komet səthinin təxminən 10%-i aktiv hesab olunur ki, bu hissələrdən komet maddəsi xüsusi şırnaqlar (jetlər) vasitəsilə kosmosa yayılaraq kometin quyruğunu formalaşdırır [3].
Halley kometinin orbit elementləri cədvəl 1-də verilmişdir [3].
CƏDVƏL 1. HALLEY KOMETİNİN ORBİT ELEMENTLƏRİ

e	a	q	i	Ω	Ω	T_p	Q
0.967	17.92 a.v.	0.57 a.v.	162.19^0	59.09^0	112.24^0	75.92 il	35.28 a.v.

Kometin orbitinin ekliptika müstəvisinə meyl bucağı (i = 162.19^o) 90^o dərəcədən böyük olduğuna görə komet günəş ətrafında tərsinə hərəkət edir. Eksentrisiteti e = 0,967 olduğuna görə onun orbiti ellips formasındadır. Kometin perihelisi 0.57 a.v. -ə bərabərdir. Komet Günəşə yaxınlaşanda Merkuri və Venera planetlərinin orbitlərinin arasından keçir. Halley kometinin orbiti şəkil 1-də verilmişdir.



Şəkil 1. Halley kometinin Günəş ətrafında hərəkəti

Kometin afelisi- orbitinin Günəşdən ən uzaq nöqtəsi Q = 35.28 a.v.-ə bərabərdir. Bu o deməkdir ki, komet Neptun planetinin orbitinin xaricindən keçir. Bu bölgə trans-Neptun bölgəsi və ya Koyper qurşağı adlanır. Koyper qurşağında çoxlu buzlu kiçik obyektlərə, Pluton və Eris kimi cırtdan planetlərə və on minlərlə kometlərə rast gəlmək olar. Bu bölgə dövrü kometlərin mənbəyi hesab olunur. Koyper qurşağındakı kiçik göy cisimləri məsafə çox uzaq olduğuna görə Günəşdən gələn şüaları ümumiyyətlə hiss etmirlər. Onlar buzla örtülmüş qayalıq maddədən ibarətdir. Neptun planetinin hərəkəti və qravitasiyası bu bölgədə olan obyektlərin hərəkət orbitinə təsir edə bilir və onlardan bəzilərini Günəş sisteminin dərinliklərinə göndərə bilir. Həmin kiçik göy cisimləri Günəşə yaxınlaşdıqca onun istiliyi nəticəsində səthdə olan buzların sublimasiyası başlayır və artıq onlar kometlər kimi fəallaşıb komanı və quyruqları əmələ gətirə bilirlər.
Halley kometinin orbiti hələki tam sabitləşməyib və zamanla dəyişə bilər. Bu dəyişikliklər əsasən planetlərin, xüsusilə nəhəng planetlərdən Yupiterin qravitasiya təsiri və Günəşə yaxın keçidləri zamanı kütlənin itirilməsi nəticəsində yaranır. Nəticədə kometin orbit elementləri uzun müddət ərzində yavaş-yavaş dəyişir və sistemin davranışı xaotik xarakter daşıyır [4].
Yupiter planetinin komet ailəsi mövcuddur. Onun hal-hazırda 400-dən çox üzvü var. Laplas tərəfindən kometlərin mənşəyi barədə irəli sürülən hipotezə görə nəhəng planetlərin "zəbtetmə" fəaliyyətləri nəticəsində onların komet ailələri formalaşır [5]. Yupiter planetinin Halley kometini öz ailəsinə daxil edə bilməsi üçün aşağıdakı model əsasında bəzi mülahizələri söyləmək olar. Yupiterin təsir sferası Hill sferası ilə ölçülür [6].

$R_H = a\left(\frac{m}{3M_G}\right)^{1/3}$ (3)

burada, a - Yupiter planetinin böyük yarımoxu, m – kometin kütləsi, M_G- günəşin kütləsidir. (3) düsturundan istifadə edərək Yupiter üçün Hill ölşüsü R_H = 0,35 a.v. alınır. Əgər Halley kometi bu təsir sferasının daxilinə düşərsə onun orbitində ciddi dəyişiklik başa verə bilər. Belə yaxın keçidlər zamanı Yupiter tərəfindən kometə müəyyən sürət verilər və bu sürət (4) düsturu ilə hesablanır [6].

$$\Delta v = \frac{2GM_Y}{rv} \quad (4)$$

Burada, G –qravitasiya sabiti, M –Yupiterin kütləsi, r – kometin Yupiterə yaxınlaşma məsafəsi, v-kometin Yupiterdən uzaqda sakit halda olduğu sürətdir. Halley üçün Δv-nin qiyməti təqribən 0,1- 1 km/san alınır. Kometin planetə yaxınlaşma vəziyyətindən asılı olaraq komet hesablanan sürəti qazana və ya itirə bilər. Əgər komet planetin arxa tərəfindən keçərsə komet yavaşlayacaq, komet Yupiterin önündən keçərsə o sürətlənəcək. Orbitin dəyişməsini orbital mexaniki enerji düsturu ilə ifadə etsək

$$E = -\frac{GM_G}{2a} \quad (5)$$

Burada, G –qravitasiya sabiti, M_G- günəşin kütləsi, a- kometin böyük yarımoxudur. Düsturdakı mənfi işarəsi kometin Günəşin cazibəsindən azad olmadığını göstərir (E < 0 olanda cisim elliptik orbit üzrə hərəkət edir, Halley kimi. E > 0 olanda göy cismi hiperbolik orbit üzrə Günəs sistemindən çıxa bilir. E = 0 şərtində cisim parabolik orbit üzrə hərəkət edir).

Hər dəfəsində kiçik orbital dəyişməni (6) düsturu ilə hesablasaq və Halley kometi üçün v = 54 km/san, Δv = 0,5 km/san götürsək

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{2\Delta v}{v} \quad (6)$$

Δa/a = 0,018 alınar, yəni bu dəyişim 1,8%-ə bərabər olar. Beləliklə Halley kometinin Yupiterin yaxınlığndan hər dəfə keçməsi nəticəsində orbit təxminən 2% dəyişərsə onda təqribən 7-10 keçiddən sonra Halley kometinin orbitində ciddi dəyişiklikdən söhbət gedə bilər. Ancaq Halley kometinin Yupiterin komet ailəsinin bir üzvünə çevrilməsi üçün bir-sıra ciddi əngəllər var. Kometin Günəş ətrafında planetlərdən fərqli olaraq tərsinə hərəkət etməsi, onun orbitinin ekliptika müstəvisinə 162^0 –lik meyl bucağı bu əngəllərdən ən əsaslarıdır. Yupiter planetinin ekliptika müstəvisinə yaxın yerləşməsi onun əsasən kiçik meyl bucağı ilə hərəkət edən kiçik göy cisimlərinə təsir edə bilməsini təmin edir.

Beləliklə, Yupiter güclü qravitasiya təsiri ilə Halley kometinin orbit elementlərini müəyyən qədər dəyişə bilər, ancaq onu özünün komet ailəsinə daxil edə bilməsi çox az ehtimallıdır.

III.Nəticə

Halley kometi hər 76 ildən bir perihelidən keçəndə kütlə itirir və bu proses onun uzunmüddətli təkamülünə təsir göstərir. Apardığımız hesablamalara görə komet təxminən on minlərlə il ərzində fəallığını itirib asteroidə çevrilə bilər. Onun orbit parametrləri isə sabit deyil və planetlərin, xüsusən Yupiterin qravitasiya təsiri nəticəsində zamanla dəyişə bilir. Bu dəyişikliklər kometin orbitində kiçik, lakin əvvəlki vəziyyətinə qayıda bilən xaotik təsirlərə səbəb olur. Nəticədə Halley kometi həm özünün daxili kütlə itkisi, həm də xarici qravitasiya təsirlərin nəticəsində tədricən dəyişən dinamik bir göy cismi kimi xarakterizə oluna bilər.

ƏDƏBİYYAT

[1] Solar System Dynamics – Murray, C.D., & Dermott, S.F. (1999), Cambridge University Press.
[2] Comets: Nature, Dynamics, Origin, and their Cosmological Relevance – Festou, M.C., Keller, H.U., & Weaver, H.A. (2004), Springer.
[3] ESA (European Space Agency) – Giotto Mission Archive (Halley Comet Flyby Data).
[4] Laplace, P. S. (1796). *Exposition du Système du Monde*. Paris..
[5] The Influence of Solar Activity on Discoveries of Comets from Different Classes. A.S. Guliyev, H.A. Qasimov.
Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 2020, Volume 36, №1, p. 17-21.
[6] The Physics of Comets – Festou, M.C., & Keller, H.U. (eds.), Springer.

OPTIMAL CONDITIONS FOR ENERGY EXCHANGE BETWEEN IN-PHASE 2D BEAMS IN A PHOTOREFRACTIVE SBN CRYSTAL

Semen Zavaley
Laboratory of Coherent Optics and Holography
Mozyr State Pedagogical University named after I.P.Shamyakin
Republic of Belarus
Mozyr, Belarus
obucheniekurs7@gmail.com

Evgeniy Tarasyuk
Laboratory of Coherent Optics and Holography
Mozyr State Pedagogical University named after I.P.Shamyakin
Republic of Belarus
Mozyr, Belarus
zegi482@gmail.com

Abstract: The paper investigates energy exchange between two-dimensional super-Gaussian light beams in a photorefractive SBN crystal under an externally applied electric field. It is shown that when the beam cross sections at the crystal entrance are aligned parallel to the external electric field vector, efficient energy transfer between the beams occurs without an initial phase difference. Theoretical analysis is performed for an SBN crystal with thicknesses up to 40 mm and external field strengths ranging from 2 kV/cm to 4 kV/cm. The optimal conditions for simultaneous energy exchange and quasi-soliton propagation are found to be an external field strength of approximately 3 kV/cm and a crystal thickness not exceeding 20 mm. The obtained results can be applied in the design of optical waveguide devices for light flux channeling, signal transmission, and information processing.

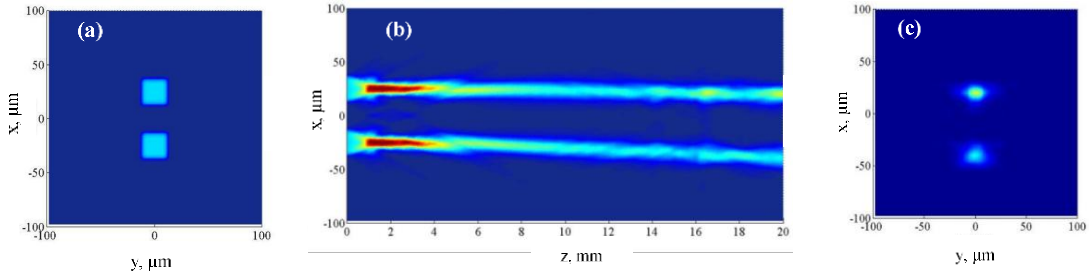
Keywords*: photorefractive effect, energy exchange, SBN crystal, two-dimensional light beams, super-Gaussian beams, quasi-soliton propagation, external electric field, optical waveguide devices*

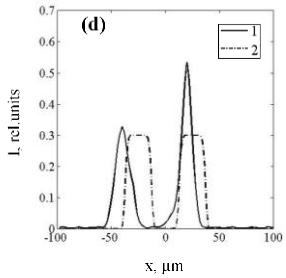
INTRODUCTION

One of the most valuable consequences of the photorefractive effect for practical application is the energy exchange between laser beams interacting in a photorefractive crystal, as a result of which it is possible to control, switch or amplify another beam using one beam. This effect can be successfully used in adaptive optical devices [1, 2] and novelty filters [3]. As a rule, energy transfer between beams is carried out by setting the initial phase difference between the beams, however, if the cross sections of the interacting beams at the entrance to the crystal are located along a straight line parallel to the strength vector of the external electric field applied along the optical axis of the crystal, then energy transfer can be observed and without specifying the input phase difference between them.

MAIN RESULTS OF THE THEORETICAL RESEARCH

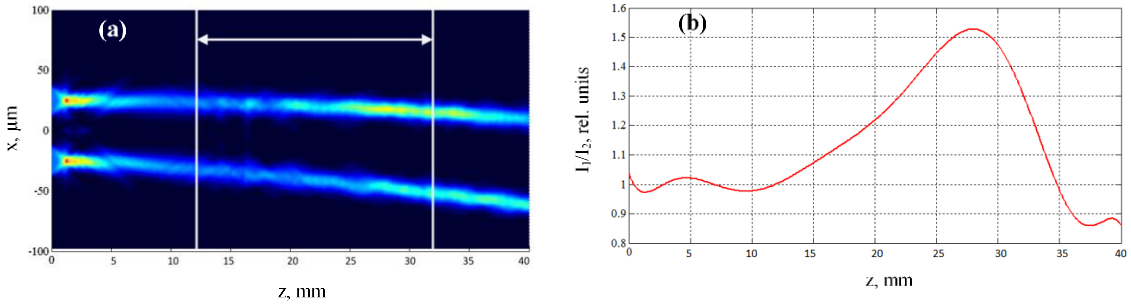
When two two-dimensional square super-Gaussian light beams with a width of 25 μm and a distance between the beams equal to the beam width are introduced into a photorefractive SBN crystal 20 mm thick, to which an external electric field with a strength of E_0 = 3 kV/cm is applied along the optical axis (ig. 1, a), the superposition of the phenomena of electron drift and diffusion leads in the case when the cross sections of the beams at the entrance to the crystal are located along a straight line parallel to the direction of the external electric field, to energy exchange between the beams (fig. 1, b-d).





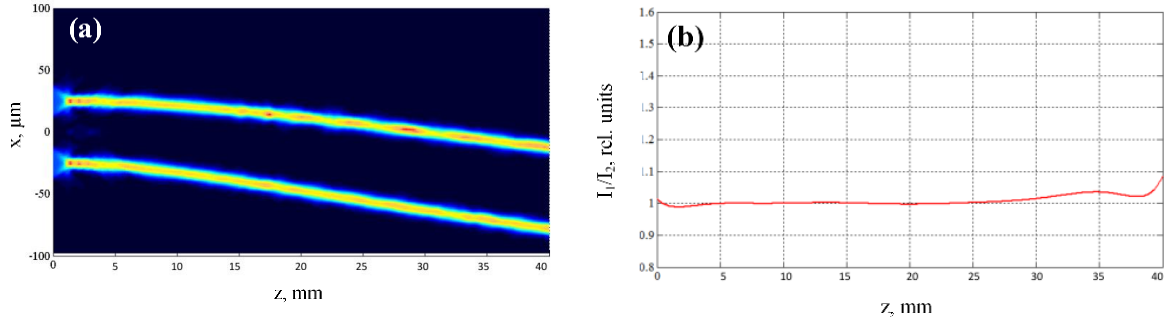
Beams at the entrance to the SBN crystal, (a) light beams at the entrance to the crystal; (b) distribution of the light field of two-dimensional beams over the thickness of the crystal; (c) light beams at the exit from the crystal; (d) 1 – profiles of light beams at the exit from the crystal, 2 – profiles of super-Gaussian light beams of square cross-section at the entrance to the crystal

Let us determine the optimal parameters of the SBN crystal; values of the strength and direction of the external electric field; characteristic sizes and relative positions of two-dimensional light beams in order to carry out energy exchange between them, as well as achieve their quasi-soliton propagation. Let us analyze the interaction of two beams located at the entrance to a 40 mm thick SBN crystal parallel to the direction of the external electric field vector (fig. 2). The modulus of the external electric field strength in which the SBN crystal is placed is equal to E_0 = 3 kV/cm. Let us denote the intensity of the upper beam as I1, and the intensity of the lower beam as I_2; we will evaluate the ratio of these intensities as I_1/I_2 (fig. 2, b).



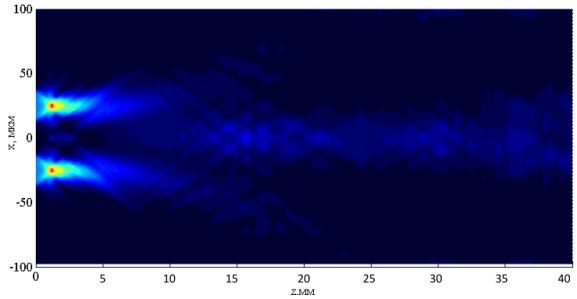
Interaction of beams at E_0 = 3 kV/cm and z=40mm; (a) distribution of the light field of two-dimensional beams over the thickness of the crystal; (b) ratio of intensities of the upper and lower beams

From figure 2 shows that the optimal interval for obtaining a significant energy exchange between beams at E_0 = 3 kV/cm is from 15 mm to 33 mm (fig. 2, a); in this interval the ratio I_1/I_2 is greater than 1.1 (fig. 2, b). When the crystal thickness is more than 28 mm, the I_1/I_2 ratio begins to decrease, as the distance between the beams increases and the degree of interaction between them decreases. When the field increases to 4 kV/cm (fig. 3), the energy exchange between the interacting beams is practically not observed. From fig. 3b it can be seen that the intensity ratio I_1/I_2 differs little from 1, i.e. the intensities of the upper and lower beams are almost the same.



Interaction of beams at E_0 = 4 kV/cm and z=40mm; (a) distribution of the light field of two-dimensional beams over the thickness of the crystal; (b) ratio of intensities of the upper and lower beams

When the field decreases to 2 kV/cm, both beams diffract and energy exchange between them is not observed (fig. 4). As the distance between the beams at the entrance to the crystal increases, the beams interact less and the effects desired for research (combination and energy exchange) are practically absent.



Light field distribution over the crystal thickness at $E_0 = 2$ kV/cm

The parameters were selected to observe two phenomena at once (combination and energy exchange), so the most suitable are $E_0 \approx 3$ kV/cm and a crystal thickness of no more than 20 mm. The effects considered in the work can be used in the design of optical waveguide devices that channel light fluxes, transmit and process information.

CONCLUSION

All theoretical results obtained in this article can be used in determining the optimal parameters of the SBN crystal; the direction of the external electric field and the value of its intensity; sizes and relative position of two-dimensional light beams in order to carry out energy exchange between them, as well as achieve their quasi-soliton propagation, which can be used in the design of optical waveguide devices that channel light fluxes, transmit and process information.

REFERENCES

[1] S.M. Shandarov et al., "Denisyuk's dynamic holograms in cubic photorefractive crystals," Quantum Electronics, vol. 11, no. 11, pp. 1059–1069, 2008.

[2] A.A. Kolegov et al., "Dynamic reflection holograms for adaptive interferometry," Izv. universities Physics, no. 9/3, pp. 147–148, 2010.

[3] M. Woerdemann, F. Holtmann, and C. Denz, "Full field particle velocimetry with a photorefractive optical novelty filter," Appl. Phys. Lett., vol. 93, pp. 021108–021111, 2008.

İZOTOP (α,n) REAKSİYALARI ƏSASINDA NEYTRON MƏNBƏLƏRİNİN YARANMASI

Səbinə Əliyeva
Bakı Dövlət Universiteti
Fizika/Radiasiya materialşünaslığı
Bakı, Azərbaycan
sabinaaliyeva1404@gmail.com
0009-0005-3685-0116

Xülasə: Bu tədqiqatda izotop (α,n) reaksiyaları əsasında neytron mənbələrinin yaranması araşdırılmışdır. Tədqiqatda əsas məqsəd neytronların alınması ilə nəticələnən reaksiyaların təhlili, reaksiyaların effektivliyi və çatışmayan cəhətlərinin göstərilməsidir. Araşdırma göstərir ki, berilium (Be) nüvəsi alfa zərrəciklərlə bombardman edildikdə neytronlar yaranır .Əgər mənbə kimi radium bromid və ya metal berilium tozunun qarışığı olarsa, əlavə qamma şüalanma yaranır. Bu fərq mənbənin əsas çatışmazlığıdır. Reaksiyada iştirak edən alfa hissəciklərin enerjisi və neytronların enerjiləri arasındakı asılılıq qrafikini qurmaq üçün Monte Karlo simulyasiyasından istifadə olunur. Neytronların hesablanması üçün SORCES4A, EMPİRE, TALYS kimi proqramlar mövcuddur. Bu proqramlardan alınan nəticələr neytron fonunun təhlilində geniş tətbiq olunur.

Açar sözlər*: neytron mənbəyi ,(α,n) reaksiyaları, berilium ($^{9}_{4}Be$), SOURCES4A, Monte Karlo üsulu, qamma(γ) şüalanma, Kulon çəpəri, astana enerjisi*

I. GİRİŞ

Laborator təcrübələrdə neytron alınması məqsədi ilə bir çox reaksiyalardan istifadə olunur. Belə reaksiyalardan biri də geniş tətbiq olunan izotop (α,n) reaksiyalarıdır. Bu formada yaradılmış neytron fonu zəif qarşılıqlı təsirdə olan zərrəciklərin aşkarlanmasında əsas vasitə hesab olunur. (α,n) reaksiyası nəticəsində alfa hissəciklər nüvələrlə qarşılıqlı təsirdə olur və son mərhələdə neytron yaranır. Reaksiyanın ümumi gedişatı belədir: Berilium ($^{9}_{4}\boldsymbol{Be}$) nüvəsinin yüksək enerjili alfa hissəciklərlə ($^{4}_{2}\boldsymbol{He}$) bombardman edilməsi zamanı karbon ($^{12}_{6}\boldsymbol{C}$) və sərbəst neytron əmələ gəlir [1]. Reaksiya aşağıdakı kimidir:

$^{9}_{4}\boldsymbol{Be}$ + α → $^{12}_{6}\boldsymbol{C}$ + n + 5,708 MeV (1)

$^{9}_{4}\boldsymbol{Be}$ + α → $^{12}_{6}\boldsymbol{C}^{*}$ + n + 1,29 MeV (2)

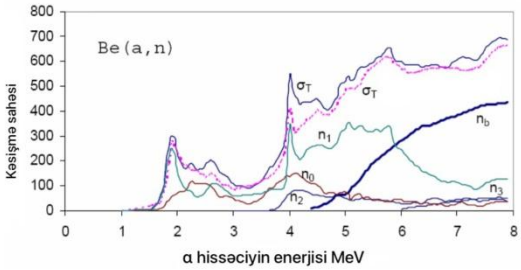
(2)reaksiyasında C^{*}- karbon atomunun həyəcanlanmış hala keçdiyini göstərir. Bu zaman reaksiya ekzoenergetik hesab olunur, yəni proses zamanı sistemdən xarici mühitə enerji ötürülməsi ilə xarakterizə olunur. Həyəcanlanmış nüvə dayanıqlı hala keçmək üçün artıq enerjisini elektromaqnit şüalanma şəklində itirdiyi üçün qamma kvantlar (γ) yaranır. Bu isə neytron mənbələri üçün detektorların ölçmə dəqiqliyini azaltmaqla yanaşı, detektorların işləmə prosesinə də mane olur. Həmçinin əlavə qamma şüalanma yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malik olduğundan radiasiya təhlükəsizliyi baxımından əlavə tədbirlər tələb edir[1]. İzotop (α,n) reaksiyalarında α hissəcik mənbəsi kimi ^{210}Po, ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{226}Ra, ^{241}Am kimi alfa –aktiv izotoplardan istifadə olunur. Belə mənbələr tədqiqatlarda 10^{6}-10^{8} neytron/saniyə qədər intensivlik formalaşdırdığı üçün əlverişlidir. Buna uyğun olaraq Be hədəfi alfa hissəciklər üçün qaçış məsafəsindən qalın götürülür. Əgər mənbə kimi radium bromid və ya metal berilium tozunun qarışığı götürülərsə, reaksiyanın gedişatında bir sıra çətinliklər yaranır. Bu çətinliklər aşağıdakılardır:

1. Bəzi nüvələr üçün, məsələn ^{210}Po nüvəsi üçün yarımparçalanma periodu kiçik olur.
2. Bütöv mürəkkəb spektrin olması. (α,n) neytron mənblərinin spektri kəsilməz və mürəkkəb hesab olunur.
3. Reaksiya zamanı əlavə qamma (γ) şüalar yaranır [1].

Ra-Be, Po-Be və Pu-Be kimi (α,n) mənbələrindən yaranmış neytronlar subkritik (k_{eff}<1) və kritik (k_{eff}=1) qurğularda fasiləsiz enerji spektri ilə xarakterizə olunur və modelləşmə zamanı mənbə kimi istifadə olunur.Sürətli reaktorlarda alfa hissəciklərin sayı çox olduğu üçün, ^{10}B , ^{11}B , ^{17}O , ^{26}Mg nüvələri ilə reaksiyaya daxil olub neytron əmələ gətirə bilir. Lakin bu halda yaranan neytronların sayı az olur, yəni ümumi halda çox kiçik hesab olunur [2].

II. METOD

Tədqiqat zamanı (α,n) reaksiyaları nəticəsində yaranan neytronları hesablamaq məqsədi ilə bir çox müasir hesablama metodlardan istifadə olunur. Bu metodlara SOURCES4A, EMPİRE, TALYS kimi hesablama və müqayisə proqramları aid olunur. SOURCES4A proqramı vasitəsi ilə α parçalanma hesabına yaranmış zərrəciklərin hədəf nüvələrlə qarşılıqlı təsiri modelləşdirilir və (α,n) reaksiyaları nəticəsində yaranan neytron fonunu hesablamağa imkan verir. Həmçinin alfa hissəciklərin enerjisi və neytronların enerjiləri arasındakı asılılıq qrafikini qurmaq, neytronların mühitdə yayılması, reaktor fizikasına töhfəsi kimi proseslərin kəmiyyətcə qiymətləndirilməsi üçün isə Monte Karlo simulyasiyası üsulundan istifadə olunur [3]. Aşağıdakı qrafik bu məqsədlə yaradılmış nümunələrdən biridir:



Şəkil 1. $^{9}_{4}\boldsymbol{Be}$ nüvəsi üçün (α,n) reaksiyasının kəsişmə sahəsinin alfa hissəciyin enerjisindən asılılığı.

Şəkildə σ_T ümumi kəsişmə sahəsini , n_0, n_1, n_2, n_3 və n_b isə reaksiyanın müxtəlif çıxış kanallarına uyğun olaraq neytronların paylanmasını göstərir. (α,n) reaksiyasının kəsişmə sahəsinin, yəni σ_T artması, alfa hissəciklərin enerjisinin artması ilə əlaqədardır və müəyyən enerji aralıqlarında rezonans pikləri ilə özünü göstərir. Aşağı enerjilərdə daha çox n_0 kanalı üstünlük təşkil edir. Enerjinin artması nəticəsində n_1, n_2 kanallarında neytron payı artır, daha yüksək enerjilərdə isə n_b payı intensiv şəkildə yüksəlir və bu da reaksiyanın çoxkanallı xarakterini göstərir. Ölçmələrə əsasən müəyyən edilmişdir ki, $^{9}_{4}\boldsymbol{Be}$ nüvəsi üçün (α,n)

reaksiyası yalnız astana enerjisindən sonra baş verir, bu enerji reaksiyanın baş verməsi üçün minimum qiymətdir və təxminən 1,5 MeV təşkil edir. Əgər reaksiyanın enerjisi bu minimal enerjidən kiçik olarsa, reaksiyanın baş vermə ehtimalı sıfra bərabər olur. Reaksiya üçün Kulon çəpərinin hündürlüyü isə 3,2 MeV qəbul edilir . Bu halda enerji 3,2 MeV- dən çox olduqda reaksiyanın baş vermə ehtimalı kəskin artır , 4-5,6 MeV intervalı isə neytron yaranması üçün ən effektiv hal hesab olunur.α hissəciklərin maddə daxilində hərəkəti zamanı ionlaşma və nüvə toqquşmaları nəticəsində enerji itirir. Hesablamalar zamanı alfa zərrəciklərin ilkin enerjisinin E_0 –dan aşağı enerji səviyyəsinə E_α –ya qədər enir. Bu enerjinin hesablanmasında alfa zərrəciklərin maddənin daxilində qət etdiyi məsafə aşağıdakı düsturla hesablanır:

$T= R(E_0) – R(E_\alpha)$ (3)

Burada T- qət edilən məsafəni, R(E) – verilmiş enerjiyə uyğun məsafə funksiyasını göstərir. Həmin məsafənin hesablanması məqsədilə SRİM (Stopping and Range of İons in Matter) proqramlarından istifadə olunur. Ona görə də bu reaksiyalar üçün enerji asılılığının düzgün qurulması və modelləşdirilməsi böyük əhəmiyyət kəsb edir [4].

III. NƏTİCƏ

Neytron mənbələrinin formalaşmasında izotop (α,n) reaksiyaları olduqca böyük rol oynayır. Reaksiyanın xüsusi hallarda yaranan ən böyük çatışmazlığına əlavə qamma şüaların yaranması aid olunur. Bu reaksiyalarin nə dərəcədə effektiv olduğu isə alfa hissəciklərin enerjilərindən çox asılıdır. Reaksiyanın baş verməsi üçün minimal enerji 1,5 MeV, neytron yaranması üçün ən ehtimallı enerji intervalı isə 4-5,6 MeV hesablanmışdır.Yəni reaksiyanın enerjisi Kulon çəpərinin 3,2MeV qiymətindən böyük olarsa neytron çıxışı kəskin artır. Tədqiqat alfa hissəciklərin enerjisinin artması nəticəsində neytron yaranma ehtimalının artdığını vurğulayır. Bu proses SOURCES4A kimi proqramlar üçün əsas giriş parametridir və bu yolla alınmış nəticələr modelləşdirilir, yəni simulyasiya olunur. Simulyasiya həmçinin Monte Karlo üsulu ilə də həyata keçirilir. (α,n) neytron mənbələri həm elm sahəsində, həm də texniki sahədə xüsusən reaktorların başlanğıc yüklənməsində geniş tətbiq olunur.

ƏDƏBİYYAT

[1]. Qəribov Adil. “Praktiki neytron və nüvə reaktoru fizikası”. Bakı, 2022, səhifə 43-45

[2]. Селезнев Е.Ф. “Кинетика реакторов на быстрых нейтронах”. Москва, 2013, с.44

[3]. Kudryavtsev V.A. ,Krawczun P. and Bocheva R. “Neutron production in (α,n) reactions in SORCES4”. SciPost Physics Proceedings. 2023, cild 12, məqalə 018

[4]. Boles J.L., Hafner R.S. , Fischer L.E. “ Neutron source strength estimates from (α,n) reactions in binary mixtures of actinide particles and light element particles”. Lawrence Livmore National Laboratory, 2005

DIELECTRIC AND THERMO-KINETIC PROPERTIES of SiC/PS NANOCOMPOSITES DEPENDING ON FILLER CONCENTRATION

Sevinj Hamidova
Nano Research Laboratory, Center of Excellence, Baku State University
Baku, Azerbaijan
hamidova.sevinc.natiq@bdu.edu.az

Lala Gahramanli
Nano Research Laboratory, Center of Excellence, Baku State University
Baku, Azerbaijan
lalagahramanli@bsu.edu.az

Vusal Mammadov
Faculty of Physics, Chemical Physics of Nanomaterials, Baku State University,
Baku, Azerbaijan
vusalmammadov@bsu.edu.az

Abstract: This work investigates the structural, dielectric, electrical, thermal, and thermo-kinetic characteristics of silicon carbide (SiC)/polystyrene (PS) nanocomposites with filler concentrations ranging from 1 to 10%. The degradation kinetics were evaluated using the Coats–Redfern approach. Pure PS exhibits low dielectric loss (tan $\delta \approx 0.01$–0.02) with minimal dependence on frequency and temperature, indicating efficient energy storage behavior. The addition of SiC leads to a gradual increase in dielectric loss at low frequencies, reaching values of 0.12–0.15 at 7–10% filler content due to Maxwell–Wagner–Sillars interfacial polarization and the development of quasi-conductive pathways near the percolation threshold. AC conductivity (σac) evolves from polymer-dominated conduction (10^{-12}–10^{-11} $S \cdot cm^{-1}$) to enhanced hopping and tunneling mechanisms with increasing SiC loading. At intermediate concentrations (3–5%), conductivity rises by one to two orders of magnitude, while at 7–10% the formation of quasi-continuous conductive networks is observed. Thermal analysis indicates a non-linear variation of the glass transition temperature (Tg) and degradation behavior with filler content, with the 7% SiC/PS composite showing the highest thermal stability. At 10% loading, Tg decreases and broadens due to structural heterogeneity. The activation energy decreases from 288 kJ/mol for pure PS to 194 kJ/mol at 7 wt.% SiC ($\alpha = 0.4$), whereas Gibbs free energy remains nearly unchanged, suggesting preservation of the overall thermodynamic barrier. The results demonstrate that SiC incorporation significantly modifies dielectric response, thermal behavior, and degradation mechanisms, with the 5–7% range providing the most optimal balance of properties.

Keywords*: silicon carbide, polystyrene, nanocomposites, dielectric properties, thermal analysis, thermo-kinetic behavior*

INTRODUCTION

Polymer-based composite materials containing inorganic fillers have attracted considerable attention due to their tunable physical, thermal, and electrical properties, enabling their use in advanced structural and functional applications [1]. The incorporation of thermally conductive ceramic particles into polymer matrices allows for the improvement of mechanical strength, thermal stability, and heat transfer characteristics, while preserving advantages such as low density, processability, and flexibility [2,3]. Among various ceramic fillers, silicon carbide (SiC) is widely recognized as an effective reinforcing material due to its superior thermal, electrical, and mechanical performance.

SiC is a non-oxide ceramic characterized by high hardness, chemical inertness, oxidation resistance, and excellent thermal conductivity [4–6]. Its wide band gap and high breakdown electric field make it suitable for high-temperature and high-power applications [7–9]. Additionally, the presence of strong covalent bonding ensures structural stability under extreme conditions. These properties have enabled the application of SiC in electronic devices, energy systems, and harsh-environment technologies. In nanostructured form, SiC exhibits enhanced surface activity, improved dispersion, and modified electrical behavior, which further expands its potential in composite systems [10].

Polystyrene (PS), as a widely used thermoplastic polymer, is valued for its low cost, transparency, and ease of processing. However, its relatively low thermal conductivity and inherent brittleness limit its use in demanding applications [11]. The incorporation of inorganic fillers, such as SiC, is therefore an effective strategy to overcome these limitations. The dispersion of filler particles and the quality of the interfacial interaction between phases play a key role in determining the overall performance of the composite [12].

Previous studies have demonstrated that SiC addition can significantly influence thermal conductivity, dielectric response, and structural properties of polymer-based systems [2,5,13]. At the same time, variations in filler concentration and distribution may lead to changes in charge transport mechanisms, interfacial polarization, and thermal degradation behavior. Despite these findings, systematic investigations of SiC/PS nanocomposites, particularly focusing on thermo-kinetic analysis and degradation mechanisms, remain limited.

In this work, SiC nanostructures were incorporated into a PS matrix at different concentrations (1–10 wt.%) to investigate their influence on dielectric, thermal, and thermo-kinetic properties. Special attention is given to the analysis of thermal degradation using the Coats–Redfern method, which has not been extensively applied to this system. The obtained results provide insight into structure–property relationships and highlight the potential of SiC/PS nanocomposites for applications requiring enhanced thermal stability and controlled electrical behavior.Sensitivity to paper size and quality: OMR scanners are highly sensitive to the size and quality of the paper used, as well as the specific color of the form.

MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

Silicon carbide (SiC) was synthesized from high-purity silicon dioxide (SiO_2) and active carbon powders (Farmak, Ukraine) using a carbothermal reduction approach described in earlier studies [20]. The precursor powders were homogenized and placed in a graphite crucible prior to synthesis.

2.2. . Preparation of SiC/PS Nanocomposites

Atactic polystyrene (PS) was employed as the polymer matrix, while toluene served as the solvent. Initially, PS powder was dissolved in toluene under continuous magnetic stirring at 100 °C for 2 h to obtain a homogeneous solution. In parallel, synthesized SiC nanostructures were dispersed in 10 ml of toluene by mechanical mixing followed by ultrasonication for 10 min to minimize particle agglomeration.

The SiC dispersion was then introduced into the polymer solution and stirred at 100 °C for an additional 2 h to ensure uniform filler distribution. The resulting mixture was cast into Petri dishes and dried at room temperature to form nanocomposite films. Samples with SiC concentrations of 1, 2, 3, 5, 7, and 10 wt.% were prepared. The dried materials were further processed by hot pressing at 160 °C for 20 s and rapidly cooled to 0 °C to obtain solid specimens with a diameter of 3 cm.

2.3. Characterization Methods

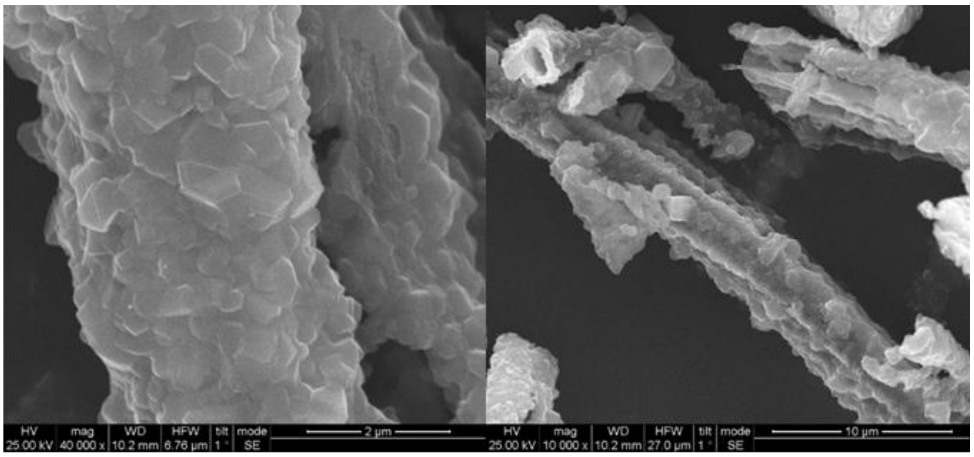
Structural analysis was carried out using X-ray diffraction (XRD, Rigaku MiniFlex 600, Cu Kα radiation, 30 kV, 15 mA) over a 2θ range of 10°–80°. Surface morphology was examined by scanning electron microscopy (SEM, JEOL JSM-6490LV) at an accelerating voltage of 20 kV. Dielectric properties were measured using an E7-20 system (MNIPI, Belarus) under an alternating electric field [9,11].

Thermal behavior was investigated by thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) under a nitrogen atmosphere. Measurements were performed from room temperature to 550 °C at a heating rate of 20 °C/min using aluminum crucibles with an empty reference pan [15,17].

PERFORMANCE IMPROVEMENT

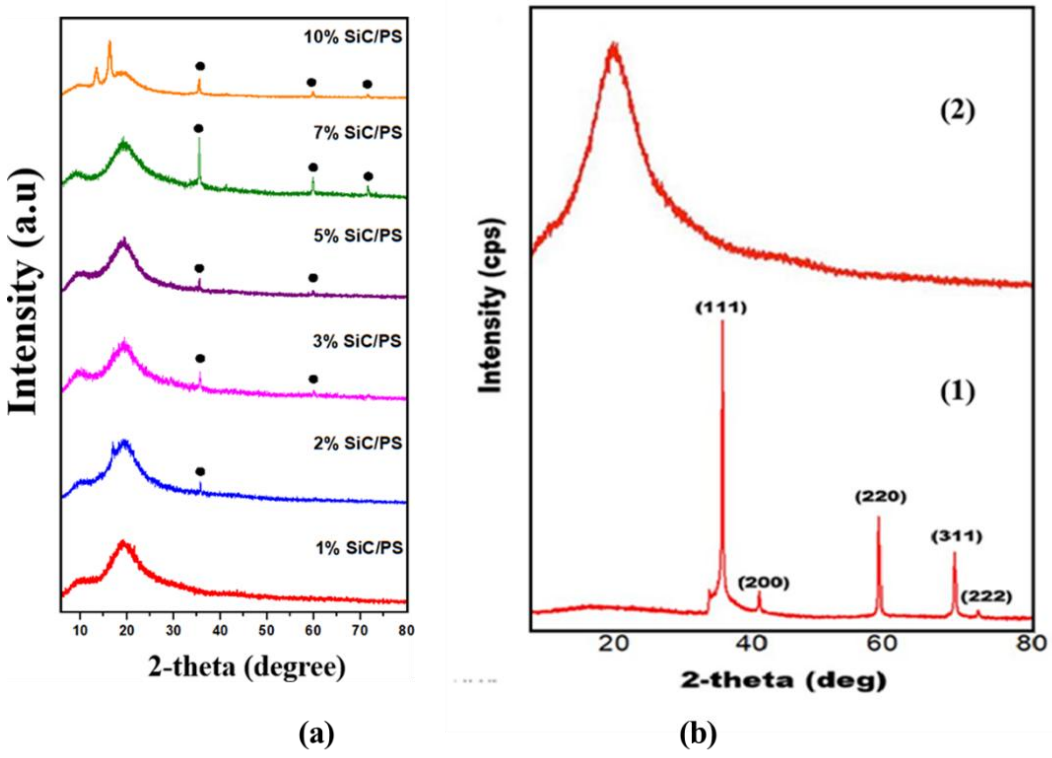
3.1. Morphological and Structural Analysis

Scanning electron microscopy (SEM) was employed to investigate the morphology of the synthesized SiC nanostructures. The images reveal the formation of one-dimensional, semi-twisted nanotube-like structures with a hollow internal morphology (Fig. 1), indicating successful synthesis and high structural uniformity. Such morphology is known to promote effective filler dispersion and interfacial interaction within polymer matrices [2,5].



SEM images of SiC nanostructures (a,b)

X-ray diffraction (XRD) analysis confirms that the synthesized SiC corresponds to the cubic β-SiC (3C-SiC) phase (Fig. 2a), consistent with previously reported data [6,7]. After incorporation into the PS matrix, the diffraction patterns of the composites (Fig. 2b) show that the sample containing 7 wt.% SiC exhibits the most pronounced structural ordering, suggesting improved filler dispersion and enhanced interfacial compatibility.



XRD pattern of pure SiC and PS (a) and different percentage composite materials (b)

3.2. Dielectric Properties

The incorporation of SiC nanostructures significantly affects the dielectric response of the composites. As shown in Fig. 3, the dielectric loss tangent (tanδ) increases with filler concentration, particularly in the low-frequency region. This behavior is attributed to interfacial polarization effects, commonly described by the Maxwell–Wagner–Sillars mechanism [9,11].

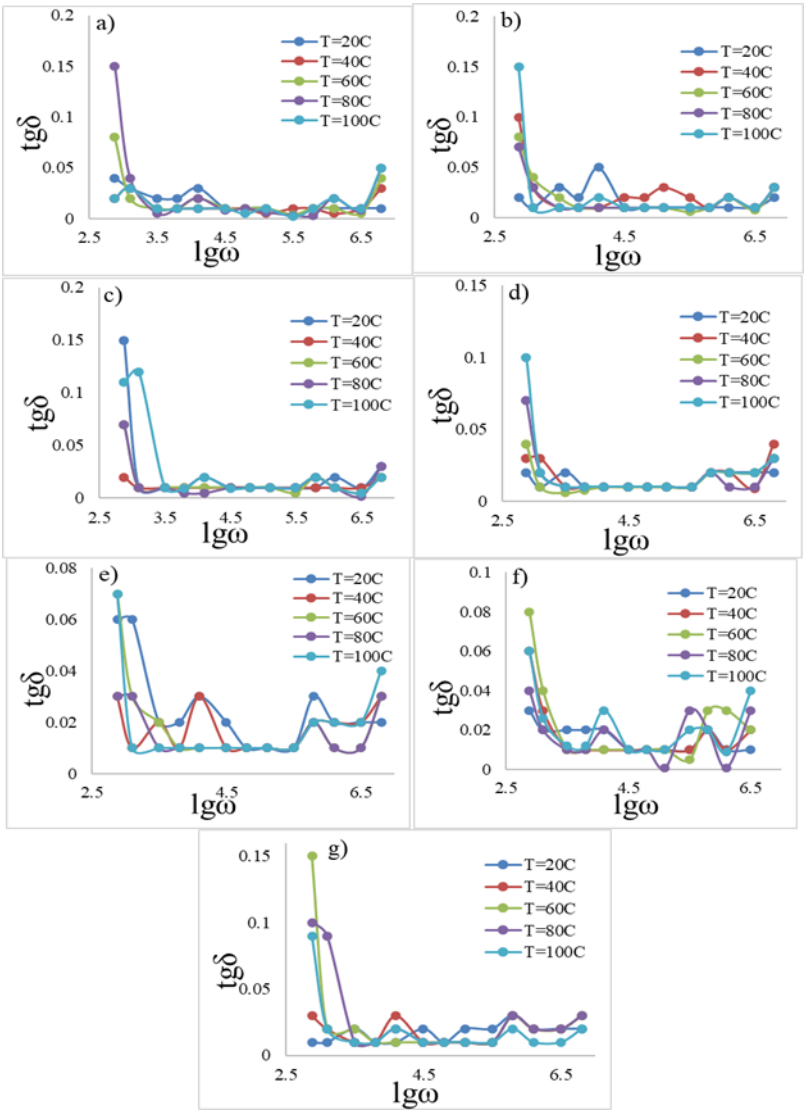


Figure 3. Dielectric loss tangent, tan of pure PS and SiC/PS nanocomposites at different SiC loadings. Pure PS; b) 1% SiC/PS; c) 2% SiC/PS; d) 3% SiC/PS; e) 5% SiC/PS; f) 7% SiC/PS; g) 10% SiC/PS

The AC conductivity (σac), presented in Fig. 4, shows a similar trend, increasing with both frequency and SiC content. Pure PS exhibits low conductivity (~10^{-12}–10^{-11} S·cm^{-1}), while composites with 3–5 wt.% SiC demonstrate a noticeable increase due to enhanced charge transport mechanisms. At higher loadings (7–10 wt.%), a more pronounced frequency-dependent response is observed, indicating the formation of quasi-continuous conductive pathways and the system approaching the percolation threshold [12–14].

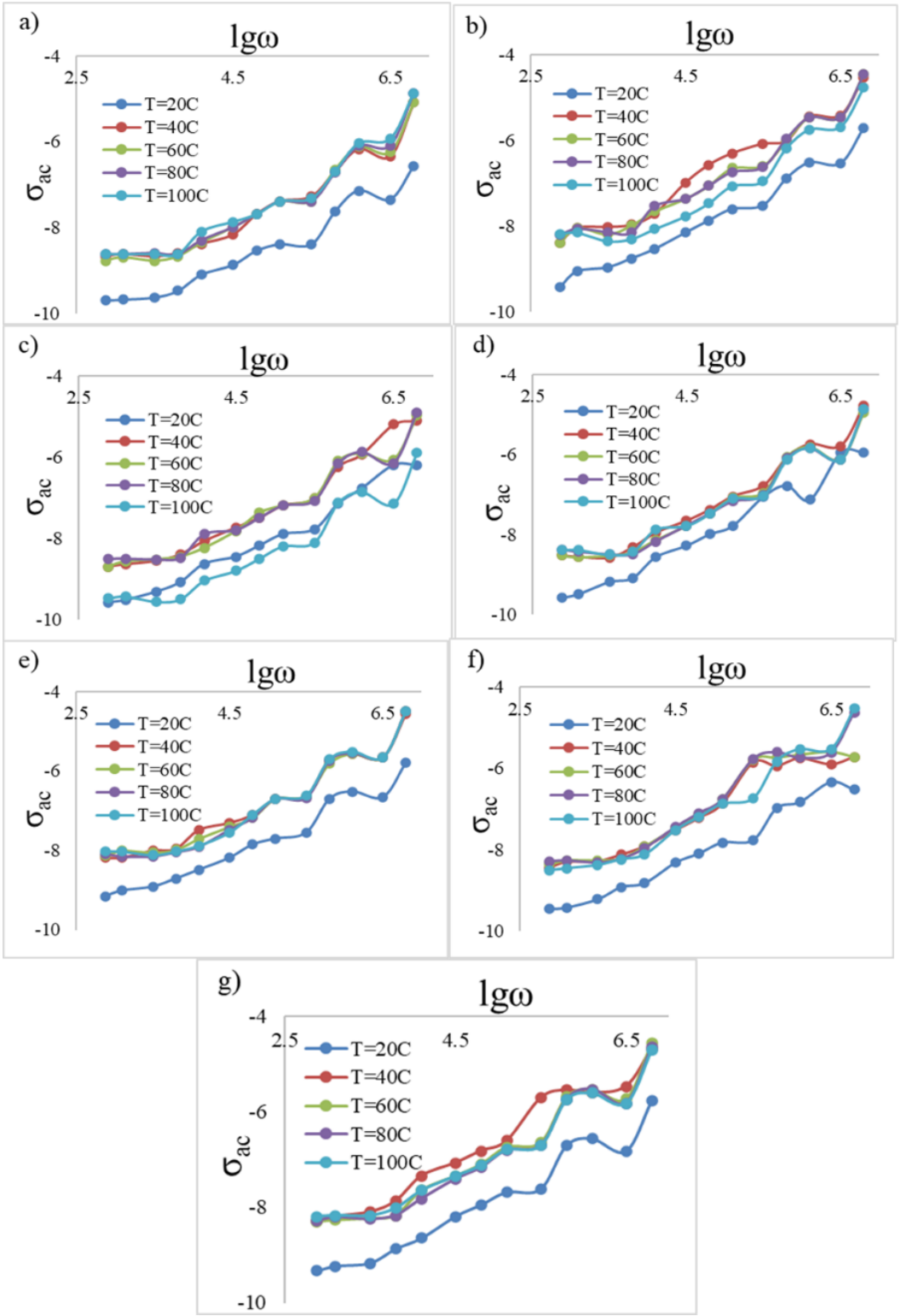


Figure 4. AC conductivity, σac of pure PS and SiC/PS nanocomposites at different SiC loadings. Pure PS; b) 1% SiC/PS; c) 2% SiC/PS; d) 3% SiC/PS; e) 5% SiC/PS; f) 7% SiC/PS; g) 10% SiC/PS

3.3. Thermal Properties

Thermal analysis reveals that the addition of SiC influences the mobility of polymer chains and the thermal stability of the composites. Differential scanning calorimetry (DSC) shows an increase in the glass

transition temperature (Tg), with maximum values observed for 2 wt.% and 7 wt.% SiC (Fig. 5). This behavior is associated with restricted segmental motion of polymer chains due to filler–matrix interactions [15].

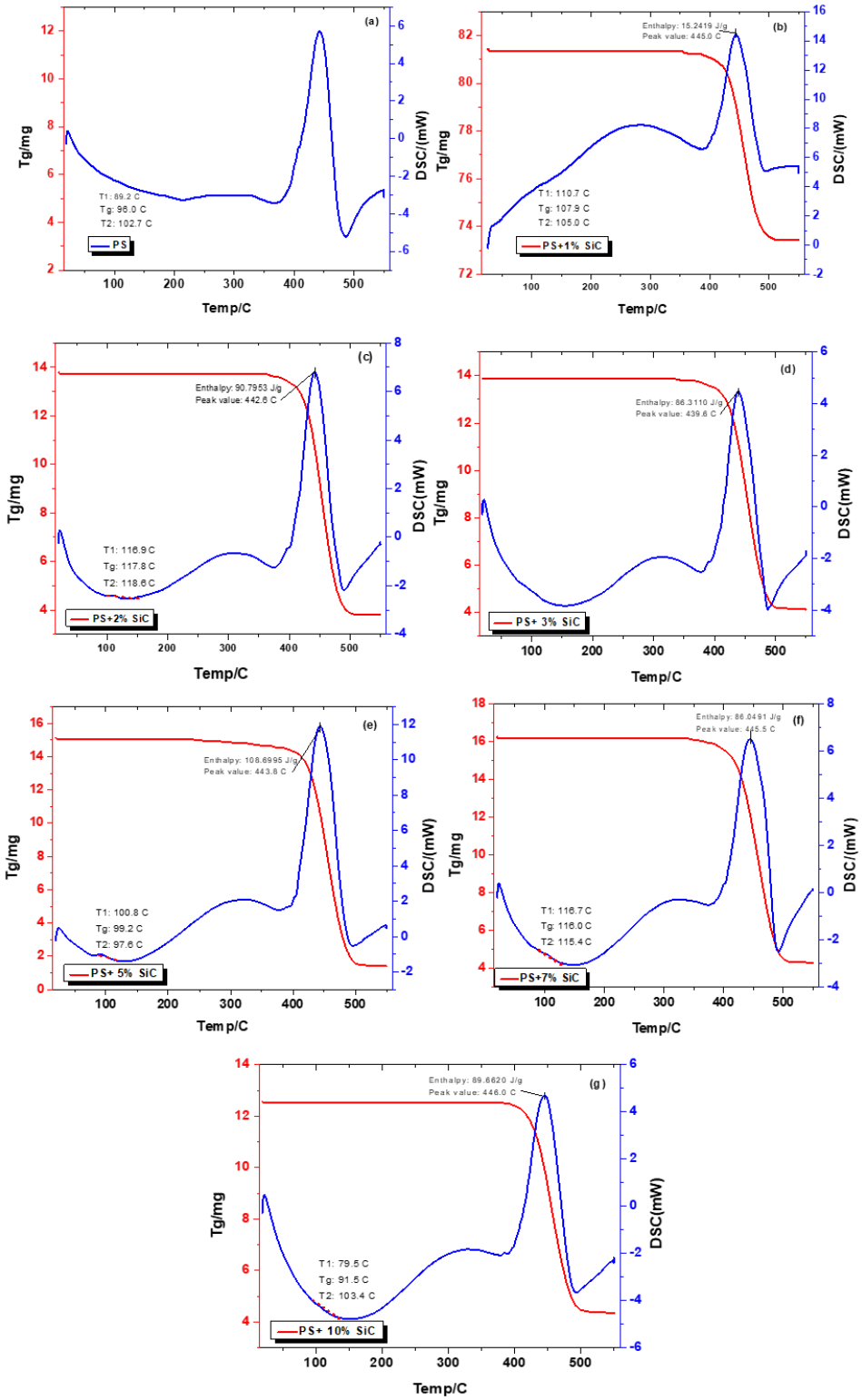


Figure 5. TGA and DSC analysis Pure PS; b) 1% SiC/PS; c) 2% SiC/PS;d) 3% SiC/PS; e) 5% SiC/PS; f) 7% SiC/PS; g) 10% SiC/PS

Thermogravimetric analysis (TGA) further indicates improved thermal stability with increasing SiC content. The composite containing 7 wt.% SiC demonstrates the highest thermal resistance, with a maximum decomposition temperature of Tend ≈ 486.5 °C. This enhancement is attributed to the barrier effect of SiC and improved heat dissipation within the composite structure [17].

3.4. Thermo-Kinetic Analysis

The thermal degradation behavior of pure PS and SiC/PS nanocomposites was investigated using the Coats–Redfern method. Based on TGA data, key kinetic and thermodynamic parameters were determined, including the degree of conversion (α), activation energy (Ea), Gibbs free energy (ΔG), enthalpy (ΔH), and entropy (ΔS) of activation.

The degree of conversion was calculated according to:

$$\alpha = \frac{m_s - m}{m_s - m_f}$$

where m_s, m, and m_f correspond to the initial, current, and final sample mass, respectively. The experimental data showed an excellent fit ($R^2 \approx 0.9995$), confirming the reliability of the applied model.

The kinetic analysis was performed using the Arrhenius equation and the Coats–Redfern approximation, which allows determination of activation energy from the linear dependence of $\ln\left[\frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2}\right]$ versus $1/T$ [18,19].

The obtained results demonstrate that the activation energy decreases with increasing SiC content. At a fixed conversion degree (α = 0.4), Ea decreases from 288 kJ/mol for pure PS to 194 kJ/mol for the composite containing 7 wt.% SiC. This reduction indicates that the incorporation of SiC nanoparticles facilitates the degradation process by increasing the free volume and weakening intermolecular interactions within the polymer matrix. As a result, lower energy is required to initiate thermal decomposition.

The analysis of thermodynamic parameters shows that the Gibbs free energy (ΔG) remains nearly constant for all compositions, suggesting that the overall thermodynamic barrier of degradation is preserved. In contrast, ΔH and ΔS exhibit trends similar to Ea, decreasing with increasing filler concentration. This behavior can be attributed to reduced heat absorption and increased molecular mobility in the presence of SiC nanoparticles.

Additionally, slight deviations observed for the 10 wt.% SiC sample are associated with particle agglomeration and structural heterogeneity near the percolation threshold, which affects the uniformity of the degradation process.

THERMO-KINETIC PARAMETERS OF PS AND SIC/PS NANOCOMPOSITES

Sample	Ea (kJ/mol)	ΔG (kJ/mol)	Trend ΔH	Trend ΔS
PS	288	~const	high	high
PS + 1% SiC	↓	~const	↓	↓
PS + 2% SiC	↓	~const	↓	↓
PS + 3% SiC	↓	~const	↓	↓
PS + 5% SiC	↓	~const	↓	↓
PS + 7% SiC	194	~const	low	low
PS + 10% SiC	slight dev.	~const	irregular	irregular

CONCLUSION

In this work, SiC/PS nanocomposites with SiC content ranging from 1 to 10 wt.% were systematically studied in terms of their structural, dielectric, thermal, and thermo-kinetic characteristics. XRD results confirmed the presence of crystalline β-SiC within the amorphous PS matrix and demonstrated improved structural integration with increasing filler concentration, with the 7% composite showing the most pronounced crystallinity and dispersion. Dielectric analysis revealed a transition from insulating behavior of pure PS (tan δ ≈ 0.01–0.02) to enhanced dielectric loss and AC conductivity with increasing SiC content, associated with interfacial polarization and charge transport mechanisms. At higher loadings (7–10%), the formation of quasi-conductive pathways indicates proximity to the percolation threshold. Thermal studies showed a non-linear influence of SiC on Tg and degradation behavior. While the highest Tg was observed at 2% SiC, the best thermal stability was achieved at 7%, with a maximum degradation temperature and improved thermal endurance. At 10% loading, structural heterogeneity and agglomeration effects become

noticeable. Thermo-kinetic analysis using the Coats–Redfern method demonstrated a decrease in activation energy from 288 kJ/mol (pure PS) to 194 kJ/mol (7% SiC at $\alpha = 0.4$), whereas Gibbs free energy remained nearly unchanged, indicating preserved thermodynamic stability despite modified degradation pathways. Overall, the results indicate that SiC incorporation significantly alters the functional behavior of PS, and the 5–7 wt.% range provides the most optimal balance between dielectric enhancement and thermal stability, making these nanocomposites promising for advanced functional applications.

REFERENCES

[1] Jeon, I.-Y., & Baek, J.-B. (2010). Nanocomposites Derived from Polymers and Inorganic Nanoparticles. Materials, 3(6), 3654–3674. https://doi.org/10.3390/ma3063654

[2] Gu, J., Lv, Z., Wu, Y., Zhao, R., Tian, L., & Zhang, Q. (2015). Enhanced thermal conductivity of SiCp/PS composites. Composites Part A, 79, 8–13. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.09.005

[3] Vu, M. C., et al. (2020). Thermal conductivity enhancement using SiC scaffolds. ACS Applied Materials & Interfaces, 12(20), 23388–23398. https://doi.org/10.1021/acsami.0c02421

[4] Cao, J. P., et al. (2013). SiC/polystyrene nanocomposites characterization. Journal of Applied Polymer Science, 130(1), 638–644. https://doi.org/10.1002/app.39186

[5] Xia, J., et al. (2021). Enhanced thermal conductivity using SiC fillers. Nanomaterials, 11(11), 2891. https://doi.org/10.3390/nano11112891

[6] Kildemo, M. (2004). Optical properties of silicon carbide. Thin Solid Films, 455, 187–195. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2003.11.291

[7] Bechstedt, F., et al. (1997). Polytypism and properties of SiC. physica status solidi (b), 202(1), 35–62. https://doi.org/10.1002/1521-3951(199707)202:1

[8] Mohsin, M. H., et al. (2021). SiC nanostructures for optoelectronics. Journal of Renewable Materials, 9(9), 1519–1530. https://doi.org/10.32604/jrm.2021.015465

[9] Huang, Y., & Huang, X. (2016). Dielectric loss in polymer nanocomposites. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28238-12

[10] Chaki, T. K., & Khastgir, D. (1991). Dielectric properties of polystyrene. https://doi.org/10.1002/apmc.1991.051840106

[11] Quader, R., et al. (2024). Dielectric characterization of polymer nanocomposites. https://doi.org/10.1002/app.55362

[12] Papathanassiou, A. N., et al. (2007). Universal AC conductivity behavior. https://doi.org/10.1063/1.2779255

[13] Du, B. X., et al. (2018). Temperature-dependent conductivity of SiC composites. https://doi.org/10.1109/TDEI.2018.006942

[14] Li, J., et al. (2017). Interface charge and nonlinear conductivity in SiC systems. https://doi.org/10.1109/TDEI.2017.006198

[15] Menczel, J. D., & Prime, R. B. (2009). Thermal analysis of polymers. https://doi.org/10.1016/s1369-7021(09)70183-x

[16] Popovic, I. G., & Katsikas, L. (2006). Thermogravimetric characterization of polymers.

[17] Jiang, L., et al. (2020). Pyrolytic kinetics of polystyrene. https://doi.org/10.3390/polym12020421

[18] Mishra, A., et al. (2020). Thermo-kinetic analysis methods. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113194

[19] Lyu, B., et al. (2021). Thermal degradation kinetics study. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109430

[20] Gahramanli, L., et al. (2025). SiC-based nanocomposites study. https://doi.org/10.1007/s10853-025-11503-3

ANALYSIS OF THE MICROSCOPIC AND MACROSCOPIC PROPERTIES OF PKR 3M CERAMIC-COMPOSITES: APPLICATION OF IMPEDANCE SPECTROSCOPY

NARGIZ KHALILOVA MUZAFFAR KARIMBEYLI
Karabakh University Karabakh University
Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Faculty of Engineering, Department of Mechatronics
Email: nargiz.mehdiyeva@karabakh.edu.az Email: muzaffar.karimbeyli@karabakh.edu.az
KHANKANDI CITY, AZERBAIJAN KHANKANDI CITY, AZERBAIJAN

Abstract
In this study, the microscopic and macroscopic properties of PKR 3M-based ceramic–composite materials were thoroughly investigated using impedance spectroscopy (IS). The dielectric and electrical characteristics of the samples, as well as their frequency and temperature dependencies, were systematically analyzed. The microstructure was evaluated through SEM and TEM analyses, which determined the material's homogeneity, particle distribution, and porosity ratio. The results of impedance spectroscopy indicate that PKR 3M ceramic–composites exhibit high dielectric performance and stable electrical properties, with notable stability at high frequencies. This research demonstrates the material's potential for applications in energy storage devices, sensors, and other electronic systems.

Keywords: *PKR 3M, ceramic–composite materials, impedance spectroscopy, dielectric properties, microstructural analysis, energy storage devices, sensor technologies, high-frequency stability*.

INTRODUCTION

Ceramic–composite materials have a wide range of applications in modern technology, particularly in electronics, sensors, energy storage, and renewable energy fields. Polymer–ceramic composites provide high dielectric stability, thermal stability, and mechanical strength, and their macroscopic performance is directly related to microstructural distribution .

The PKR 3M substance is used in polymer-based composites to enhance electrical and dielectric properties. Its nanosized particles are homogeneously integrated into the ceramic matrix, which significantly affects the dielectric relaxation and impedance characteristics of the material.

Impedance spectroscopy (IS) enables the evaluation of a material's internal resistance, dielectric constant, and loss factor as functions of frequency and temperature. This method is widely applied to study both the micro–macro electrical behavior of materials and the influence of particle phases and voids.

The aim of this research is to evaluate the microscopic (SEM/TEM) and macroscopic (IS, dielectric properties) characteristics of PKR 3M–based ceramic–composites, as well as to determine the potential of these properties for energy storage and sensor applications.

2. MATERIALS AND METHODS

PKR 3M–based ceramic–composite samples were homogeneously mixed into a polymer–ceramic matrix [3]. The samples were prepared in disc form with a diameter of 10 mm and a thickness of 2 mm. Through optimization of temperature and time parameters during the sintering process, particle agglomeration was minimized.

The samples were stored in a dry and dust-free laboratory environment to minimize the influence of atmospheric humidity on the dielectric properties of the material.This procedure is essential to ensure stable performance during repeated measurements.

2.2 Impedance Spectroscopy

- Measuring device: Novocontrol Alpha-A Analyzer [4]
- Frequency range: 1 Hz – 1 MHz
- Temperature range: 25 °C – 150 °C
- AC voltage: 100 mV
- Measurements were repeated at different frequencies and temperatures, and the results were presented as average values.

The wide frequency range enables a detailed evaluation of the dielectric relaxation behavior of the material at both low and high frequencies. This is important for analyzing the real operating performance of the material in energy storage devices.

2.3 Microstructural Analysis

- SEM (Scanning Electron Microscopy): evaluation of surface morphology and particle distribution.
- TEM (Transmission Electron Microscopy): observation of nano- and micro-scale phases, identification of crystalline/amorphous regions.

SEM analyses showed that PKR 3M particles were homogeneously integrated into the ceramic matrix, with a minimal porosity ratio. TEM images confirmed that the nanosized particles were approximately 50–100 nm in diameter and revealed the distinction between crystalline and amorphous regions. These structural characteristics directly affect the macroscopic dielectric performance of the material.

2.4 Macroscopic Measurements

- Dielectric constant (ε′) and dielectric loss (ε″) were measured as functions of frequency and temperature
- Impedance and electrical resistance were analyzed using Nyquist and Bode plots.
- Software used: ZView and OriginLab for data analysis.

Macroscopic measurements showed that the dielectric constant slightly decreased with increasing temperature, while the dielectric loss increased. These variations indicate the performance limits of the material in energy storage and sensor applications.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Microstructural Analysis

- SEM images revealed a homogeneous distribution of the ceramic phase with minimal porosity.
- TEM analysis showed that the nanosized PKR 3M particles were approximately 50–100 nm in size .
- Homogeneous distribution of nanoparticles enhances the dielectric and electrical stability of the material.

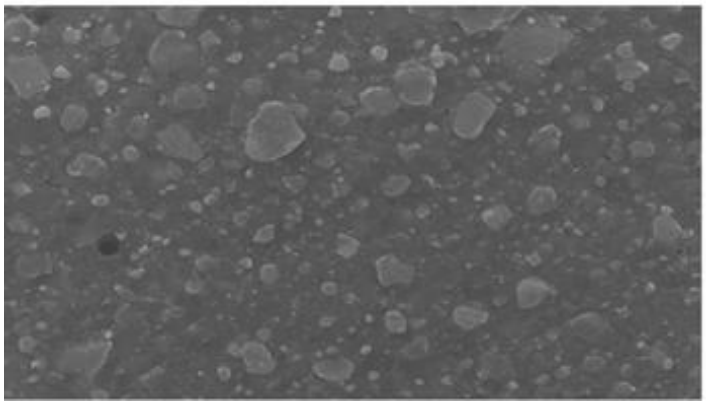


Figure 1. SEM image of PKR 3M-based ceramic-composite showing the homogeneous distirbution of cemaic particles and minimal porosity

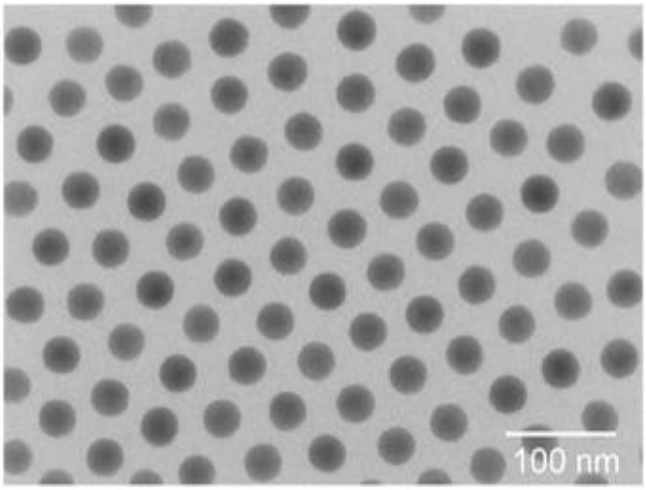


Figure 2. TEM image -nano-sized PKR 3Mparticles

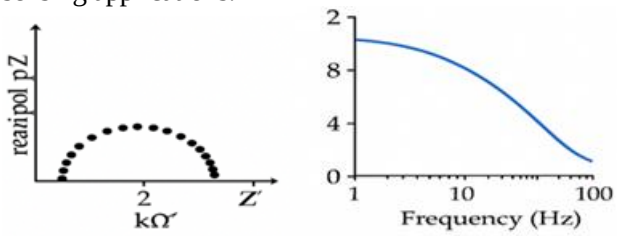
3.2 Impedance Spectroscopy Results

The electrical properties of the PKR 3M ceramic–composite samples were evaluated using impedance spectroscopy (IS). The Nyquist and Bode plots revealed characteristic features of polycrystalline dielectric materials.

- **Nyquist diagram:** The semicircular arc indicates a single relaxation process, corresponding to bulk (grain) resistance of approximately **1.2 kΩ** .
- Bode plot: The real part of permittivity (ε′) decreases from ≈12.5 at low frequencies to ≈8.2 at high frequencies .
- Dielectric loss (ε″): The loss tangent remains within 0.35–0.42, indicating relatively low energy dissipation and good dielectric stability.
- Table 1. *Dielectric properties as a function of temperature and frequency*

Temperature (°C)	**Frequency (Hz)**	**ε′**	**ε″**	**Nyquist Rs (Ω)**
25	1k	12.5	0.35	1200
50	1k	12.2	0.37	1180
100	1k	11.8	0.40	1150
150	1k	11.5	0.42	1120

- The results show that with increasing temperature, both ε′ and bulk resistance (Rs) decrease, suggesting enhanced charge mobility and thermally activated conduction. The stable dielectric constant across frequencies and moderate dielectric loss confirm the material's suitability for energy storage and sensing applications.



Nyquist plot Bode plot

Figure 3. Nyquist and Bode plots of PKR 3M ceramic–composite material obtained from impedance spectroscopy measurements at different temperatures.

3.3 Temperature and Frequency Dependence

- As the temperature increases, the dielectric constant decreases, while the dielectric loss increases.
- With increasing frequency, ε′ decreases, which corresponds to the dielectric relaxation phenomenon.
- The material's stable performance at high frequencies is crucial for energy storage and sensor applications.

3.4 Comparative Analysis

- Compared with previous studies , PKR 3M-based composites exhibit higher frequency and temperature stability.
- These features make the material promising for energy storage devices, sensors, and electronic components.

IV. CONCLUSION

- PKR 3M ceramic–composites demonstrate high dielectric properties and stable electrical characteristics.
- Microstructural and macrostructural analyses show that the material is homogeneous with minimal porosity.
- Impedance spectroscopy has proven to be an effective method for evaluating the micro and macro properties of the material.
- The material is promising for energy storage devices, sensors, and electronic applications.

5. Future Work

- Performance testing of PKR 3M ceramic–composites in load-bearing energy devices.
- Expanding the temperature and frequency range for further investigation.
- Comparative study with different polymer matrices.
- Optimization of nanoparticle distribution for enhanced dielectric performance .

REFERENCES

1. T. R. Oldham, *Impedance Spectroscopy: Theory, Experiment, and Applications*, John Wiley & Sons, 2020.
2. J. S. Zhang et al., "PKR-based Polymer–Ceramic Composites for Dielectric Applications," *Journal of Advanced Ceramics*, 2022, 11(4), 789–800.
3. S. Kumar et al., "Impedance Spectroscopy Analysis of Ceramic–Polymer Composites," *Sensors and Actuators A*, 2023, 334, 113–125.
4. L. Smith, "Ceramic Composites in Energy Applications," *Materials Today*, 2021, 45(3), 55–65.
5. M. Chen et al., "High-Performance Polymer–Ceramic Composites for Energy Storage," *Journal of Materials Science*, 2022, 57, 11245–11260.

TRANSNEPTUN KOMET QRUPLARININ STATİSTİK ANALİZİ VƏ HİPOTETİK PLANETLƏRİN MÖVCUDLUĞU MƏSƏLƏSİ

Ruslan Məmmədov Ələvsət Dadaşov
Naxçıvan Dövlət Universiteti Naxçıvan Dövlət Universiteti
Batabat Astrofizika Rəsədxanası Batabat Astrofizika Rəsədxanası
Naxçıvan, Azərbaycan Naxçıvan, Azərbaycan
0000-0001-5879-1368 0009-0005-4832-7656
ruslan_rtm@yahoo.com dadal_1954@mail.ru

***Xülasə*:** Məqalədə Marsden kataloquna əsaslanaraq afeli məsafələri 48 a.v. < Q < 193 a.v. intervalında olan uzundövrlü kometlərin paylanması tədqiq edilmişdir. Statistik analizlər nəticəsində afeli məsafələri üzrə beş əsas komet qruplaşması müəyyən edilmiş və Bernulli sınaqlar sxemi vasitəsilə bu qruplaşmaların təsadüfi yaranma ehtimalları hesablanmışdır.

Açar sözlər: *komet aileləri, göy mexanikası, afeli məsafəsi, hipotetik planetlər.*

GIRIŞ

Məlumdur ki, qısadövrlü kometlərin afeli məsafələrinin paylanması böyük planetlərin orta məsafələrində aşkar maksimumla xarakterizə olunur [1]. Bu əlamətə görə, qısadövrlü kometlər uyğun planetin adını daşıyan ailələrə bölünürlər. Neptun komet ailəsinin varlığı haqqında fikirlər mövcuddur. Yupiter, Saturn və Uranın komet ailələri [2]-də geniş tədqiq edilmişdir.

Bu məqalədə aşağıdakı məsələləri aydınlaşdırmağa çalışacağıq: Q parametri üzrə ayrı-ayrı komet qruplaşmalarının statistik dəyəri necədir; əgər bu dəyər yüksəkdirsə, transneptun planet cisimləri haqda fikir söyləməyə imkan verirmi; ehtimal olunan komet aliələri uzundövrlü komet sisteminin ümumi qanunauyğunluqlarına tabedirmi; bu ailələrin bir tərəfdən öz aralarında, digər tərəfdən bunlarla məlum planetlərin komet sistemləri arasında hər hansı bir analogiya varmı? Bütün bu suallara cavab vermək üçün, Marsden [3] kataloqundan 48 a.v.<Q<193 a.v. şərtini ödəyən bütün kometləri seçib, tədqiqata cəlb etdik. Məhz heliosentrik məsafələrin bu intervalında Q parametri üzrə komet qruplaşmaları müşahidə olunmaqdadır.

TƏDQIQAT METODU

Apardığımız ilkin analizlər, aşağıdakı intervallar üzrə 5 komet qrupunu ayırmağa imkan verdi: 48 a.v. < Q < 56 a.v.; 73 a.v. < Q < 89 a.v.; 99 a.v. < Q < 117 a.v.; 123 a.v. < Q < 140 a.v.; 160 a.v. < Q < 180 a.v. İntervallara üyğun kometlərin sayı Cədvəl 1-də verilir.

Cədvəl 1. Transneptun komet qrupları haqqında məlumat.

Q (a.v.)	N (əd.)	$P_{\Delta Q}$
47-56	8	0,004
73-89	22	0,005
99-117	22	0,005
123-140	7	0,012
160-180	6	0,002

N(Q) paylanmasının müntəzəm olması şərti daxilində, göstərilən intervallarda Bernullinin sınaqlar sxemindən istifadə edərək perihelilərin konsentrasiyasının təsadüfilik ehtimalını heasbladıq. Apardığlmız statistikadan aşkar oldu ki, uzunluğu 24 a.v. (48 a.v.-dən 73 a.v.-dək) olan bu intervalda 8 məlum kometin orbit afelisi yerləşir. Bunlardan səkkizinin təsadüfən 9 a.v. uzunluqlu intervalda yerləşmə ehtimalı 0.004-ə bərabərdir. Analoji olaraq, digər komet qrupları üçün də belə qiymətləndirmə aparılmışdır. Bunların analizi göstərdi ki, 4 qrupun yaranmasının təsadüfilik ehtimalı çox kiçikdir. Beşinci qrup üçün bu ehtimal hiss ediləcək dərəcədədir.

Beləliklə, Q parametrinin paylanmasına əsaslansaq, beş transneptun komet qrupunun, və ya ailəsinin mövcud olduğunu söyləməliyik. Lakin, bu hələ beş "əcdad-planetin" mövcud olduğunu söyləməyə əsas vermir. Əgər, hər hansı hipotetik planet tərəfindən görünmə oblastına kiçik Q parametrli kometlər göndərilirsə, onda bu kometlərin orbit afeliləri planetin orbit müstəvisinə nəzərən kiçik meyl bucağına malik olmalıdırlar. Buna görə də, bu işin növbəti mərhələsi komet perihelilərinin minimal dispersiyaya malik olduğu optimal müstəvi axtarılmasından ibarətdir (göy sferinin böyük dairəsi). Xatırladaq ki, optimal müstəvi dedikdə, düzbucaqlı heliosentrik ekliptik koordinat sistemində elə

$$Ax + By + Cz = 0 \quad \textbf{(1)}$$

şəklində müstəvi nəzərdə tutulur ki, komet perihelilərinin bu müstəvidən dispersiyaları ən kiçik olsun. Belə müstəvinin tapılmasının metodikası [1]-də müfəssəl şəkildə verilir.

Göy sferi üzərində vəziyyəti ip (ekliptikaya meyl bucağı) və Ωp (doğan düyününün uzunluğu) parametrləri ilə təyin olunan müstəvi tapıldıqdan sonra, statistik analiz yolu ilə komet afelilərinin bu müstəvidən meyl dərəcələrini təyin etmək lazımdır. B´ (komet afelilərinin müstəvidən meyli) parametrlərinin toplusu üzrə afeli nöqtələrinin tapılmış müstəvi ətrafında konsentrasiyasının səviyyəsini təyin edəcəyik.

Birinci qrup, ehtimalın ehtibarlı qiymətləri ilə 8 kometdən ibarətdir. Bu qrup üçün alımnış müstəvinin fəza parametrləri

$i_p = 29.3°$; $\Omega_p = 289.7°$ **(2)**

kimidir. B´ parametrinin qiymətləri (-0.5°; 4°) intervalda paylanır. Müqayisə üçün, qeyd edək ki, Yupiterin komet ailəsi üçün bu interval təqribən 4 dəfə böyükdür. Komet afelilərinin belə yerləşməsinin təsadüfilik ehtimalı çox kiçik olub 10^{-5} tərtibindədir. Nəticə olaraq, bu kometlərlə uzundövrlü komet sistemi arasında əlaqə (təkamül və ya diffuziya nəticəsində Q paramterinin qısalması) praktik olaraq istisna edilir. Bundan başqa, təkamül yolu ilə kometlərin Q parametri üzrə konsentrasiyasını izah etmək çətindir. Belə mexanizm indiyədək təklif olunmayıb.

Beləliklə, bu qrupun xarakterik xüsusiyyətləri, (1) müstəvisində, orta məsafəsi 55 a.v. olan, ulduz ölçüsü 18^m-dən kiçik olduğu ehtimal edilən hipotetik planetin mövcud olnası barədə fikir söyləməyə imkan verir. Düyünləri Ağ yolda yerləşdiyi üçün, bu planetin ekliptika yaxınlığında müşahidə edilməsi qeyri mümkün sayılır. Bəzi mühakimələrdən, bu planetin kütləsini yalnız keyfiyyətcə qiymətləndirmək olar. Məxsusi komet ailəsi olduğundan, böyük təsir sferasına malik olduğunu demək olar. Əgər, bu Yupiter və Saturnda olduğu kimidirsə, onda kütləsi 10^{-7}-10^{-8} $M_\odot$ tərtibində olmalıdır.

73 a.v. < Q < 89 a.v. intervalında 7 komet yerləşir. Bunlar üçün tapılmış müstəvinin tənliyi

$$0.181x - 0.297y + 0.96z = 0 \quad (Sq = 0.11)$$

$i_p = 10.8°$; $\Omega_p = 173.4°$

olar. Bu qrup kometlərinin B´ parametrləri bu müstəviyə nəzərən (-3.5°; 5.6°) intervalında yerləşirlər. Periheli enliklərinin bu intervalda paylanmasını nəzərə alsaq, (-3.5°<B´<5.6°) hadisəsini təsadüfi hesab

etmək olmaz. Buna görə də, sonuncu müstəvi ətrafında komet perihelilərinin hər hansı konsentrasiyasından bəhs etməyə kifayət qədər əsas vardır.

99 a.v. < Q < 117 a.v. intervalı üzrə aparılan analizlər bu qrupun daha maraqlı olduğunu göstərir. Qrupa daxil olan 9 komet üzərində aparılan analizlər göstərir ki, bunların B´ parametrləri $i_p=30°.5;\ \Omega_p=5.95°$ müstəvisinə nəzərən (-2.2°; -6.5°) intervalında yerləşir. Bu qrupdan olan 9 kometin belə dar (-2.2°; -6.5°) intervalında yerləşməsinin təsadüfilik ehtimalı çox kiçikdir və bütün mümkün xətalar çərçivəsindən kənara çıxır. Buna görə də, bu 9 kometin transneptun planet problemi üçün maraq doğuran vahid ailə əmələ gətirdiyini deməyə əsas vardır. Çox ehtimal ki, bu qrupun əmələ gəlməsində Günəşdən 100-110 a.v. məsafədə hərəkət edən naməlum hipotetik planetin müəyyən rolu vardır. Qrupu təşkil edən 9 kometdən 5-i düz hərəkət edir. Görünür bu, ehtimal olunan planetin düz hərəkəti ilə əlaqədardır.

123 a.v. < Q < 140 a.v. intervalında mövcud olduğu ehtimal edilən 7 kometdən ibarət qrup üçün B´ parametrlərinin, tapılmış

$$0.023x + 0.184y + z = 0 \quad (Sq = 0.4)$$

optimal müstəvisinə nəzərən paylanmasının dispersiyası çox böyük oldu. Bu qrupun "üç siqma" prinsipi əsasında "təmizlənməsi" də müsbət nəticə verm̈di. Buradan, bu qrupun hər hansı ailə əmələ gətirmə tələblərinə cavab verm̈diyi nəticəsinə gəlirik.

160 a.v. < Q < 180 a.v. ntervalında yerləşən 6 komet üzərində apardığımız analizlərin nəticəsində parametrləri

$i_p = 38°.5\ ;\ \Omega_p = 91.5°$

kimi olan müstəvini aldıq. Bu qrup kometlərin B´ elementləri tapılmış müstəvinin 8°-lik ətrafında konsentrasiya olunaraq, transneptun planet cisimlərinin axtarilması məsələsinin həllində yeni arqument ola bilərlər.

Beləliklə, tədqiq olunan beş qrupdan dördü Q və B´ parametrlərinin paylanmasına görə qoyulmuş tələblərə cavab verir. Burada alınmış nəticələr, böyük ehtimalla, Günəş sisteminin 55 a.v., 110 a.v., 80 a.v. və 170 a.v. məsafələrində ən azı dörd planet cisminin hərəkət etdiyini söyləməyə imkan verir. Eyni zamanda, etiraf etməliyik ki, alınmış nəticələr hələlik məhdud sayda məlumatlar əsasında çıxarılmışdır. Uyğun Q parametrli yeni kometlər tapıldıqca, bu tədqiqatı davam etdirmək vacibdir.

NƏTICƏ

Marsden kataloqunun təhlili kometlərin afeli məsafələri üzrə beş fərqli qrupda cəmləşdiyini üzə çıxarmışdır. Statistik hesablamalar bu qruplaşmaların təsadüfi olmadığını və onların spesifik komet ailələri təşkil etdiyini sübut edir. Optimal orbital müstəvilərin təyini dörd komet qrupunun vahid ailə xüsusiyyətlərinə malik olduğunu elmi şəkildə təsdiqləyir. Bu faktlar Günəş sisteminin 55, 80, 110 və 170 a.v. məsafələrində dörd naməlum massiv cismin mövcudluğu ehtimalını gücləndirir. Ehtimal olunan planetlərin orbital müstəvilərinin Ağ yol istiqamətinə düşməsi onların indiyədək vizual müşahidə edilməməsini əsaslandırır. Tədqiqat transneptun obyektlərin axtarışı üçün mühüm arqumentlər verir və yeni komet məlumatları ilə bu mənzərənin dəqiqləşdirilməsi tələb olunur.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

[1] Dadaşov Ə.S., Abbasov C.H. Uzundövrlü kometlərin böyük yarımoxlarının paylanması haqqında // AMEA Naxçıvan Bölməsinin Xəbərləri, 2008, №2, s. 257-260.

[2] Гулиев А.С. Особенности кометных семейств больших планет. Автореферат канд. Диссертации, Киев, 1982, 15 с.

[3] Marsden B. G., Williams G. V. Catalogue of Cometary Orbits, 16th edition, SAO, Solar, Stellar & Planetary Science Division, Cambridge, 2005, p. 207.

FOTOVOLTAİK TƏTBİQLƏR ÜÇÜN ÜZVİ MÜHİTDƏ Cu_2SnS_3 BİRLƏŞMƏSİNİN SİNTEZİ VƏ TƏDQİQİ

İbrahimova Leyla Nadir qızı Mahmudova NaziləVəkil qızı Quliyev Rafiq Yaqub oğlu
Naxçıvan Dövlət Universiteti, AR ETN Təbii Ehtiyatlar İnstitutu AR ETN Təbii Ehtiyatlar İnstitutu
Ümumi və nəzəri fizika kafedrası, Fiziki tədqiqatlar laboratoriyası Mineral xammalın kimyası və
AR ETN Təbii Ehtiyatlar İnstitutu Naxçıvan, Azərbaycan texnologiyası laboratoriyası
Fiziki tədqiqatlar laboratoriyası ORCİD ID:0009-0000-6834-5812 Naxçıvan, Azərbaycan
Naxçıvan, Azərbaycan ORCİD ID:0009-0005-7519-8028
ORCİD ID: 0009-0000-9008-0822 e-mail:qraf1945@mail.ru
e-mail:leyla.ibrahimova.1992@bk.ru

Xülasə: Tədqiqat işində fotovoltaik tətbiqlər üçün perspektivli material olan Cu_2SnS_3 (CTS) birləşməsinin qliserin mühitində iqtisadi cəhətdən əlverişli sintez şəraiti araşdırılmışdır. Sintez edilmiş toz nümunələrdən termik buxarlandırma və sonrakı tablama yolu ilə şüşə altlıqlar üzərində nazik təbəqələr əldə edilmişdir. Rentgenfaza analizi (XRD) vasitəsilə müəyyən edilmişdir ki, 400 °C temperaturda 2 saat müddətində aparılan tablama nümunənin tam kristallaşmasını və təmiz faza tərkibli CTS strukturunun ($2\theta = 49{,}4^0$) formalaşmasını təmin edir. UB-görünən oblast spektroskopiyası vasitəsilə təbəqələrin optik udma xassələri tədqiq edilmiş və qadağan olunmuş zonasının eni tapılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, alınan təbəqələr E_g=1,55 eV·qadağan olunmuş zona eninə malikdir ki, bu da **co-evaporation** kimi bahalı fiziki metodlarla alınan analoqların parametrləri ilə yüksək uyğunluq təşkil edir. Tədqiqatın nəticələri təklif olunan sadə kimyəvi metodun yüksəkeffektivli günəş elementlərinin hazırlanmasında tətbiq imkanlarını sübut edir.
Açar sözlər: *qliserin, tablama, rentgenfaza analiz.*

I.GİRİŞ

Dünyada sənayenin inkişafı ilə əlaqədar olaraq enerjiyə olan tələbat günü-gündən artır və müasir energetika qurğuları əsasən təbii ehtiyatları tükənə biləcək müxtəlif yanacaqlar (neft, qaz, kömür) əsasında qurulmuşdur. Enerjiyə olan tələbatı ödəmək üçün son zamanlar dünyada alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin öyrənilməsi və ondan istifadə edilməsi daha çox maraq kəsb edir. Ekoloji cəhətdən təmiz və tükənməyən resurs ehtiyatlarının olması, bu sahədə Günəş enerjisindən istifadə edilməsi məqsədi ilə, yeni günəş batareyalarının yaradılması, onlardan istifadə edilməsi bütün dünyada ilbəil artır. Ancaq günəş batareyaları ilə alınan enerjinin ənənəvi yolla alınan enerjidən baha başa gəlməsi, yeni daha ucuz və ekoloji cəhətdən təmiz materialların (günəş çeviricilərinin) yaradılmasını daha çox aktuallaşdırır.

Hal-hazırda istifadə olunan və yarımkeçirici fotoelementlər əsasında yaradılan günəş elementləri (GE) Günəş şüalarını birbaşa elektrik enerjisinə çevirir. Müasir dövrdə günəş energetikasının əsasını təşkil edən günəş elementləri (GE) bir neçə qrupa bölünür. Belə ki, silisium günəş elementləri (Si multi-kristallar, Si monokristalı, amorf - Si təbəqəsi) istifadə olunan günəş elementlərinin 90 %-ni təşkil edir. Günəş elementlərinin 10 % ni isə silisiumsuz nazik təbəqələr əmələ gətirən birləşmələr ($CuInSe_2$, CdTe, GaAs / Ge, Cu_2ZnSnS_4 və s.) təşkil edir [1]. Yüksək çeviricilik qabiliyyətinə baxmayaraq silisium əsasında alınan günəş elementlərinin istehsal texnologiyası mürəkkəbdir və çox baha başa gəlir. Buna görə də bir çox tədqiqatçılar günəş energetikasının gələcək inkişafını günəş elementlərinin hazırlanmasında üçlü və dördlü birləşmələrin nazik təbəqələrinin tətbiqində görürlər.

CdTe nazik təbəqəsi əsasında sənayedə istehsal olunan günəş elementləri 10% effektliyə malikdirlər (f.i.ə.=10%) və istehsal texnologiyası çox çətindir [2].

Günəş şüalarını yüksək səviyyədə udma qabiliyyətinə malik $CuInGaSe_2$ birləşməsi əsasında alınan naziktəbəqəli günəş elementləri çox effektlidir və faydalı iş əmsalı 19,9 %-ə bərabərdir [3]. Ancaq indiumun Yer qabığında miqdarı 10^{-5} % təşkil edir. Eyni zamanda Ga və İn-un baha başa gəlməsi yeni texnologiyaların işlənib hazırlanmasına çətinlik yaradır.

Aparılan tədqiqatlar əsasında müəyyən edilmişdir ki, Cu_2SnS_3 və Cu_2ZnSnS_4 birləşmələri p-tip yarımkeçiricilərə aiddir və yüksək işıq udma əmsalına malikdirlər (Cu_2SnS_3 üçün 10^5 sm^{-1}, Cu_2ZnSnS_4 üçün 10^4 sm^{-1}). Eyni zamanda qadağan olunmuş zonanın eni 1-1,5 eV həddindədir və 10% enerji çevirmə qabiliyyətinə malikdirlər [4,5]. Buna görə də bu tədqiqat işində Cu_2SnS_3 – ün qliserin mühitində sintezi, ondan tablama yolu ilə nazik təbəqənin alınması və tədqiqi qarşıya məqsəd qoyulmuşdur.

Son illərdə Cu_2SnS_3 (CTS) nazik təbəqələrinin alınması üçün müxtəlif fiziki və kimyəvi metodlar, o cümlədən vakuum şəraitində birgə buxarlandırma (co-evaporation), püskürtmə (sputtering) və sprey-piroliz üsulları tətbiq olunur. Xüsusilə, co-evaporation metodu yüksək keyfiyyətli və təmiz faza tərkibli təbəqələrin alınmasına imkan versə də, bahalı vakuum avadanlığı və yüksək enerji sərfi tələb edir. Bu tədqiqatda isə qliserin mühitində kimyəvi sintez üsulundan istifadə edilmişdir ki, bu da prosesin iqtisadi cəhətdən əlverişli və sadə olmasını təmin edir [5].

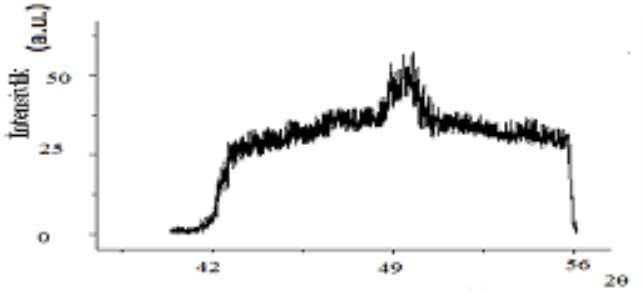
II. TƏCRÜBİ HİSSƏ

0,1131q. $SnCl_2{\cdot}2H_2O$ və 0,172 q. $CuCl_2{\cdot}2H_2O$ götürüb üzərinə 6 ml qliserin əlavə edib bir neçə dəqiqə qarışdırılır və qarışığa 0,117 q. tiomoçevina ($SC(NH_2)_2$) töküb zəif qızdırmaqla məhlul tam şəffaflaşana kimi qarışdırılır. Qarışıq qızdırıcıya yerləşdirilib 160^0 C-də 12 saat saxlanılır. Sonra qızdırıcıdan çıxarılıb soyudulmuş qarışığın üzü süzülmüş və çöküntü bir neçə dəfə su ilə dekantasiya edildikdən sonra filtrdən süzülür. Su ilə yuyulub təmizlənmiş və sabit çəkiyə gələnə kimi qurudulmuş çöküntüdən götürülən nümunə kimyəvi analiz edilir. Nümunənin Cu_2SnS_3-dən ibarət olması analizin nəticələri ilə təsdiqlənmişdir.

Yuxarıda göstərilən qaydada hazırlanmış qarışığa (qızdırıcıya qoymamışdan qabaq) 0,6 sm × 0,2sm × 0,20 sm ölçüdə şüşə altlıq salınır və 160^0 C-də 12 saat saxlanılır. Prosesin sonunda reaksiya kolbasından çıxarılan şüşə altlıq bir tərəfi bağlı kvars boruya yerləşdirilərək zəif vakuum altında 400^0 C-də 2 saat tablama aparılır.

Alınan birləşmənin fotohəssaslığını təyin etmək üçün tablama prosesi bir neçə variantda aparılmışdır. Birinci variantda təmiz yuyulub təmizlənmiş şüşə altlıq reaksiya aparılan kolbaya salınaraq 12 saat qızdırıcıda saxlandıqdan sonra tablama aparılmışdır. İkinci variantda isə optimal şəraitdə alınmış çöküntü süzülərək yuyulub təmizləndikdən sonra azca qliserində həll edilərək şüşə altlığa çəkilmişdir. Sonuncu olaraq reaksiya üçün hazırlanmış qarışıqdan bir neçə damcı şüşə altlıq üzərinə damcıladılaraq tablama aparılmışdır. Hər üç variantda tablama prosesi 400^0 C-də zəif vakuum altında 2 saat ərzində aparılmışdır. Alınan nazik təbəqələr (1-ci və 3-cü) distillə suyu ilə yuyulub qurudulduqdan sonra fotohəssaslığı ölçülmüşdür. Ən yaxşı nazik təbəqə 1-ci variantda alındığından tablama prosesi müxtəlif temperaturlarda və müxtəlif müddətdə aparılmışdır. Alınan nümunənin faza tərkibi ДР « Промконтрол – 1» rentgen difraktometrində təyin edilmişdir.

Şəkil 1-dən göründüyü kimi 400^0 C-də 2 saat müddətində tablama aparılmış Cu_2SnS_3 birləşməsinin spektrində ancaq bir pik müşahidə olunur ($2\theta = 49{,}4^0$). Bu da əvvəllər aparılmış tədqiqat işlərində təyin edilmiş qiymətlərlə üst-üstə düşür [6] və alınan Cu_2SnS_3 birləşməsinin birfazalı olduğunu göstərir. Ancaq 300^0 C-də 2 saat müddətində tablama aparılmış Cu_2SnS_3 birləşməsinin spektrində isə 6 əsas pik müşahidə edilmişdir (2θ = 37,5; 45; 51; 65; 77 və 92). Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, aşağı temperaturda tablama aparılmış nümunədə başlanğıc maddələrin qarışığı qalmışdır.



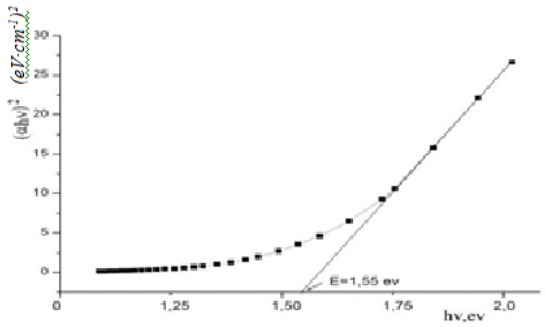
Şəkil 1. 400^0 C temperaturda 2 saat ərzində tablama aparılmış Cu_2SnS_3 birləşməsinin rentgen spektri .

Tablama yolu ilə alınmış Cu_2SnS_3 nazik təbəqəsinin U-5100 ultrabənövşəyi spektrofotometrində optik udma əyrisi çəkilmişdir. Alınan birləşmənin qadağan olunmuş zonasının enini hesablamaq üçün

$$(\alpha\hbar\nu)^{\frac{1}{n}} = A(\hbar\nu - E_g)$$

düsturundan istifadə edilmişdir.

Cu_2SnS_3 düzzonalı yarımkeçirici olduğundan bu birləşmə üçün n=1/2 qiyməti götürülərək $(\alpha\hbar\nu)^2$-nın ($\hbar\nu$) -dən asılılıq əyrisi qurulmuşdur (şəkil 2).



Şəkil 2. Cu_2SnS_3 nazik təbəqəsinin qadağan olunmuş zonasının eninitapmaq üçün qurulmuş $(\alpha\hbar\nu)^2 = f(\hbar\nu)$ asılılığı

Bu asılılıqdan düz xətt oblastının absis ($\hbar\nu$) oxu ilə kəsişməsinə əsasən Cu_2SnS_3 nazik təbəqəsinin qadağan olunmuş zonasının eni müəyyən edilmişdir: E_g=1,55 eV. Bu qiymət Cu_2SnS_3 birləşməsinin ədəbiyyatdan məlum olan qiymətinə uyğundur. [3].

III. NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqat nəticəsində qliserin mühitində kimyəvi üsulla sintez edilmiş Cu_2SnS_3 toz nümunələrinin 400^0 C temperaturda termik emalı (tablaması) nəticəsində təmiz faza tərkibli nazik təbəqələr alınmışdır. XRD analizi nümunənin birfazalı strukturunu (2θ= 49.4^0), (Şəkil 2) isə materialın 1.55 eV qadağan olunmuş zona eninə malik olduğunu təsdiq edir. Müəyyən edilmişdir ki, təklif olunan bu metod co-evaporation kimi bahalı üsullara effektiv alternativ ola bilər və bu materialların yüksəkeffektivli fotovoltaik çeviricilərində tətbiqi perspektivlidir.

Tədqiqat nəticəsində qliserin mühitində kimyəvi üsulla toz nümunələri sintez edilmiş və temperaturda tablama vasitəsilə keyfiyyətli nazik təbəqələr əldə olunmuşdur. Optik tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, təbəqə E_g=1,55 eV qadağan olunmuş zona eninə malikdir ki, bu da onu perspektivli material olduğunu sübut edir.

ƏDƏBİYYAT

[1] Ibrahimova, L.N.,Abdullayev, N.M.,Aliyev, M.E.,Garashova, G.A.,Aliyev, Y.I. Phase formation process ın CdSe Thin
Films // East European Journal of Physics Open source preview, 2024, 2024(1), pp. 493–496

[2] Плеханов С. И., Наумов А. В. Оценка возможностей роста производства солнечных элементов на основе CdTe,
ClGS и GaAs/Ge в период 2010 – 2025 г.г. ОАО НПП « КВАНТ »,2010. – Режим доступа: http: // alternativenergy.ru
/ solnechnaya – energetika / 132-proizvodstvo – solnechnyh – elementov. Html

[3] Repins İ., Contreras M. A., Egaas B., DeHart C., Scharf J., Perkins C.L., To B., And R. Noufi Prog. Photovolt. // Res.
Appl. – 2008. – 16, s. 235.

[4] Adelifard Mehdi, Mohaghedhi Mohamad Mehdi Bagheri, Eshghi Hos ein. Preparation and characterization Cu_2SnS_3
ternary semiconductor nanostructor via the spray pyrolysis technique for photovoltaic applications // İopsiense. 85(2012). – s. 1-2.

[5] Katagiri H., Jimbo K.,Yamada S., Kamimura T., Maw W. S., Fukano T., Ito T., and T. Motohiro. // Appl. Phys.
Express. – 2008 s. 256 -259.

[6] Zhai, Y., et al. "Deposition and characterization of Cu_2SnS_3 thin films by co-evaporation for photovoltaic application."
Journal of Materials Science: Materials in Electronics, vol. 27, 2016, pp. 1-7.

[7] Madarasz J., Bombicz P., Okuya M., Kaneko Sh. Thermal decomposition of thiourea complexes of Cu (I), Zn(II),
and Sn (II) cholorides as precursors for the spray pyrolysis deposition of sulphide thin films // Solid State İonics. – 2001. № 141. s. 445.

MAYORANA NEYTRİNOSU İLƏ İKİQAT BETA PARÇALANMA

Ləman Zülfüqarova Tünzalə Bayramova
Bakı Dövlət Universiteti Bakı Dövlət Universiteti
Bakı, Azərbaycan Bakı, Azərbaycan lemanzulfuqarova78@gmail.com bto.tunzale@gmail.com

Xülasə: Neytrino fizikası üçün son dərəcə mühüm olan neytrinosuz ikiqat beta parçalanma (0νββ) prosesi hazırda elementar zərrəciklər fizikasının iki fundamental məsələsini araşdırmağa imkan verən hadisədir. Bu parçalanma prosesində lepton yükünün saxlanma qanunu pozulur, məhz ona görə də Standart Modeldə bu prosesə qadağan qoyulur. Bundan başqa, təcrübi olaraq 0νββ müşahidə edilməsi neytrinonun azacıq da olsa malik olduğu kütlənin təbiətini başa düşməyə, eyni zamanda neytrino və antineytrinonun eyni bir zərrəcik olmasını, (yəni Mayorana neytrinosu olmasını) sübut edər. Baxılan işdə həmin proses üçün fiziki cəhətdən əsaslandırılmış baş vermə ehtimalının hesablanması təqdim olunur.
Açar sözlər*: Neytrinosuz beta parçalanmanın ehtimalı, Mayorana neytrinosu, lepton yükünün saxlanma qanununun pozulması*

GİRİŞ

Standart Modelin kütləsiz Dirak neytrinosu haqqında təsəvvürləri neytrino ossilyasiyası hadisəsinin meydana çıxmasından sonra sarsıldı. Beləki, bu hadisə neytrinonun hər hansı aromat halının, onun məxsusi kütləyə malik digər hallarının xətti kombinasiyasından ibarət olmasını göstərir (neytrino ossilyasiyası). Neytrinonun aromat halının kütləsi isə neytrino qarışığının Pontekorvo-Maki-Nakaqava-Sakata matrisinin müvafiq komponentləri ilə müəyyən edilir [3].

1937-ci ildə E. Mayorana nəzəri olaraq göstərdi ki, əgər yalnız bir növ neytrino mövcud olsaydı (neytrino və antineytrinonun eyniliyi), ikiqat beta parçalanmanın nəticəsi dəyişməzdi . Bir müddət sonra isə Raka qeyd etmişdir ki, bu halda neytrinosuz ikiqat beta parçalanma mümkün olardı [2].

$$(Z, A) \rightarrow (Z\pm2, A) + 2e^{\mp} \quad (1)$$

METOD

Adı çəkilən 0νββ parçalanmanı aşağıdakı xüsusi iki ardıcıl prosesin nəticəsi kimi baxmaq olar:

$$(Z, A) \rightarrow (Z+1, A) + e^{-} + \bar{\nu}_e \quad (2)$$

və

$$(Z+1, A) + e^{-} + \nu_e \rightarrow (Z+2, A) + 2e^{-} \quad (3)$$

Yəni ilk olaraq neytron sağ-spirallığı ($\bar{\nu}_e$) şualandıraraq çevrilir. Sonra isə həmin zərrəcik nüvə daxilində başqa bir neytron tərəfindən sol-spirallıq kimi udulmalıdır. Bu şərtlərin yerinə yetirilməsi üçün neytrino və antineytrino Mayorana zərrəciyi olmalıdır. Bundan əlavə, spirallığın belə dəyişməsini təmin etmək üçün neytrino kütləyə malik olmalıdır. Bunun səbəbi odur ki , kütləsi olan zərrəcik üçün artıq spirallığın saxlanılması mümkün olmur [2].

Beləki, neytrinosuz ikiqat beta parçalanmada çıxan $2e^{-}$ və neytron → proton keçidində iştirak edən u, d kvarkları ilə müəyyən bir ilgək kimi 2 neytrino ilə elə əlaqələnir ki , neytrino – antineytrino keçidi baş verər [2].

ƏSAS HİSSƏ

Mayorana neytrinosu üçün aşağıdakı hal mümkündür:

$$\hat{C}\nu_L = \bar{\nu}_L = \nu_L \quad (4)$$

Burada $\hat{C}$ - yük-qoşma operatorudur. Lakin Mayorana neytrinosunun mövcudluğu Lepton yükünün saxlanma qanunu ilə qadağan edilir və bu qanunun pozulması zamanı mümkün olur. ν_e və $\bar{\nu}_e$ eyniliyi (Mayorana neytrinosu) və onların kütləyə malik olması məhz 0νββ parçalanmanın təcrübədə müşahidə edilməsi ilə sübut olunardı. Bunu belə təsəvvür edək, adi beta parçalanmada neytron→ proton çevrilməsi baş verir.

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ (5)

Bərabərliyin hər tərəfinə neytron əlavə etsək,

$n + n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e + n$ (6)

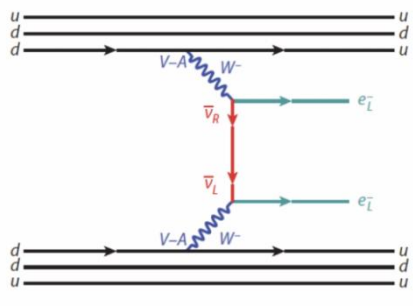
əgər $\nu_e \cong \bar{\nu}_e$ olsaydı, bərabərliyin sağ tərəfində antineytrinonu neytrino ilə əvəz etmək mümkün olardı. Bu halda $\bar{\nu}_e + n$ əvəzinə onların mümkün $p + e^-$ qarşılıqlı təsirini yaza bilərik:

$n + n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e + n \rightarrow p + e^- + \nu_e + n \rightarrow p + e^- + p + e^-$ (7)

daha yığcam yazsaq,

$2n \rightarrow 2p + 2e^-$ (8)

Belə olduqda, $0\nu\beta\beta$ parçalanması yalnız $\bar{\nu}_e \cong \nu_e$ olduqda doğru ola bilər. Nəticədə $2e^-$ yaranır ki, son yaranan nüvənin yükü 2 vahid artır. Bu parçalanma isə yalnız lepton yükü saxlanmadıqda, yəni neytrino həqiqi neytral zərrəcik olduğu halda mümkündür. Beləliklə, bu proses zamanı eyni 1 nüvənin 2 neytronu virtual neytrino ilə mübadilə edirlər. Bu zaman lepton yükünün 2 vahid pozulması baş verir. Bu isə yalnız Mayorana neytrinosu üçün doğru ola bilər. Məhz Mayorana neytrinosu vasitəsilə $0\nu\beta\beta$ prosesinin mümkün olması Standart Model çərçivəsindən kənara çıxır (Şəkil 1).



Şəkil 1

Neytrinosuz ikiqat beta parçalanma ehtimalı aşağıdakı kimi təyin olunur [4]:

$\lambda_{0\nu} = \frac{1}{T_{\frac{1}{2}}^{0\nu}} = G^{0\nu}(Q_{\beta\beta}, Z)|M^{0\nu}|^2\langle\eta\rangle^2$ (9)

$\langle\eta\rangle^2$ – lepton yükünün pozulması parametri, $M^{0\nu}$ – $0\nu\beta\beta$ parçalanmanın matrisa elementidir. Ancaq təəssüf ki, hələ heç bir təcrübədə müşahidə etmək mümkün olmur. $G^{0\nu}$ – faza fəza faktorudur, çıxan leptonların bütün mümkün enerjilərinə və çıxma bucaqlarına əsasən inteqrallama yolu ilə tapılır. Primakov və Rozen öz işlərində $G^{0\nu}$ parametrinin ayrılan $Q_{\beta\beta}$ enerjisindən asılılığı təyin etmişdirlər [4]:

$G^{0\nu} \sim Q^5_{\beta\beta}$ (10)

Bu asılılıq $2\nu\beta\beta$ parçalanmaya nisbətən çox zəifdir.

Primakov- Rozen neytrinosuz ikiqat beta parçalanma ehtimalını ayrılan enerjidən asılılığını aşağıdakı kimi ifadə olunur [4].

$\lambda_{0\nu} = (\frac{Q^5}{30} - \frac{2Q^2}{3} - Q - \frac{2}{5})$ (11)

Burada Q aşağıdakı ifadə ilə hesablanır [2]:

$Q = E_{e1} + E_{e2} - 2m_e$ (12)

Təcrübi və nəzəri hesablamalara görə neytrinosuz beta parçalanmanın periodu məsələn, Ge üçün

$$T_{\frac{1}{2}}\left({}^{76}_{32}\mathrm{Ge} \rightarrow {}^{76}_{34}\mathrm{Se} + 2e^{-}\right) > 1.9 \cdot 10^{25}\text{il} \quad (13)$$

Hal hazırda 0νββ parçalanmanın təcrübi müşahidəsi mümkün olmayıb [4]. Bu parçalanmanın təcrübədə aşkar edilməsi bir çox suala , məsələn Mayorana neytrinosunun kütləyə malik olması ilə əlaqədar suallara cavab verə bilər.

NƏTİCƏ

Beləliklə, neytrinosuz ikiqat beta parçalanma yalnız neytrino Mayorana zərrəciyi olduqda mümkündür. Yəni, belə bir proses kütləsi sıfırdan fərqli olan, $\bar{\nu}_e \cong \nu_e$ olan Mayorana zərrəciyi üçün doğrudur. Neytrinosuz ikiqat beta parçalanma ehtimalı adi ikiqat beta parçalanmaya nisbətən, parçalanma zamanı ayrılan enerjidən asılılığı zəifdir.

ƏDƏBIYYAT

[1] Giovanni Benato. “Effective Majorana mass and neutrinoless double beta decay”. University of Zurich, November 2015, 9 page

[2] Kai Zuber. “Neutrino Physics”. Dresden, January 2020, third edition, pp. 165-176

[3] Michelle J. Dolinski, Alan W.P.Poon and Werner Rodejohann. “Neutrinoless Double-Beta Decay: Status and Prospects”. Annual Review of Nuclear and Particle Science. August 6, 2019. Pp 219-220

[4] М. С. Хирк. “Попытки теоретического предсказания периодов полураспада изотопов, подверженных двойному бета–распаду”. М.: КДУ, 2016, с.1-8



RİYAZİYYAT VƏ KOMPÜTER ELMLƏRİ

THE ROLE OF CALCULUS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE: ANALYZING DERIVATIVE-BASED OPTIMIZATION IN MACHINE LEARNING

Nasibli Muhammad Elmar
Baku Engineering University, Computer Science/AI Engineering 1st Year Student
E-mail: mnesibli2025@std.beu.edu.az

Abstract
Calculus I is traditionally viewed as the mathematical study of continuous change. While it lies at the heart of many classical disciplines like physics and economics, its fundamental concepts—specifically derivatives and optimization—are the central engines driving modern Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML). This paper shifts the focus from theoretical calculus to a concrete, practical application: how derivative-based optimization techniques, particularly Gradient Descent, are used to train machine learning models by minimizing error functions. Through mathematical analysis and a practical calculation example, this paper demonstrates the indispensable role of Calculus I in solving real-world computational problems.
Keywords: Calculus I, Machine Learning, Gradient Descent, Optimization, Derivatives, Artificial Intelligence.

Introduction

Calculus I is the introductory mathematics subject designed to analyze change. Historically, the development of calculus by mathematicians like Isaac Newton and Gottfried Wilhelm Leibniz laid the foundations for modern science by providing a rigorous methodology to understand motion and change [1]. However, in the modern era of Computer Science and AI Engineering, the focus has expanded.

In machine learning, algorithms do not simply follow pre-programmed instructions; they "learn" from data [2]. This learning process is fundamentally an optimization problem. The model makes a prediction, calculates its error (using a Cost Function), and then adjusts its internal parameters to minimize this error. The primary mathematical tool used to find the minimum of this error function is the derivative. This paper aims to define the problem of error minimization in ML and demonstrate how derivatives provide a concrete solution, transforming abstract calculus into a practical computational tool.

Materials and Methods

To understand how AI systems optimize, we must examine the core principles of Calculus I encountered in undergraduate courses, specifically derivative rules and optimization approaches.

In machine learning, we represent the model's error as a function, often called the Loss or Cost Function, $J(\theta)$ [3]. The objective is to find the parameter θ that results in the lowest possible value for $J(\theta)$. To achieve this, we use an algorithm called **Gradient Descent** [4].

The method relies on the geometric interpretation of the derivative: it represents the slope or the instantaneous rate of change of the function at a given point. By calculating the derivative, the algorithm determines the direction of the steepest ascent. To minimize the error, the algorithm takes a step in the *opposite* direction of the derivative.

The formula for the Gradient Descent update rule is defined as:

$$x_{n+1} = x_n - \alpha \cdot f'(x_n)$$

Where:

x_n is the current parameter value.

α is the "learning rate" (a small positive constant determining the step size).

$f'(x_n)$ is the derivative of the cost function at the current point.

Furthermore, when dealing with complex neural networks containing multiple layers, the algorithm utilizes the **Chain Rule** —a fundamental technique for calculating derivatives of composite functions—to distribute the error backwards through the network (a process known as Backpropagation) [5].

Results

To demonstrate this concept practically, let us analyze a concrete problem rather than relying solely on theory. Assume an AI model's error is modeled by the following simple quadratic cost function:

$$f(x) = x^2 - 4x + 4$$

Our goal is to find the value of x that minimizes the error $f(x)$. First, we apply basic differentiation techniques (the power rule) to find the derivative:

$$f'(x) = 2x - 4$$

Setting the derivative to zero mathematically guarantees we find the critical point (the minimum, in this case):

$$2x - 4 = 0$$
$$2x = 4$$
$$x = 2$$

Using the Gradient Descent iterative method (with a starting point of $x_0 = 0$ and learning rate $\alpha = 0.1$):
Iteration 1: $f'(0) = -4$. The new point is $x_1 = 0 - 0.1 \cdot (-4) = 0.4$.
Iteration 2: $f'(0.4) = -3.2$. The new point is $x_2 = 0.4 - 0.1 \cdot (-3.2) = 0.72$.
As the iterations continue, the value of x will mathematically converge precisely to $x = 2$, where the error is entirely minimized. This result demonstrates that derivatives are not just for calculating curve slopes or object motion, but are algorithmic necessities for AI model training.

Discussion

The results highlight the critical bridge between basic mathematics and practical applications. While classical calculus emphasizes physical motion , modern computer science relies heavily on these same universal mathematical theories. Computer scientists and AI engineers use derivatives in algorithms and machine learning to systematically reduce computational error.
The introduction of the Gradient Descent formula in this paper proves that Calculus I is not merely a theoretical framework but a functional tool applied billions of times per second inside modern AI systems [6]. The use of basic derivative rules (like the power rule and chain rule) scales up to enable the training of complex Deep Learning architectures.

Conclusion

Calculus I is an essential subject that makes a significant difference in today's technology and computer science landscape. By redefining the learning process of an AI as a mathematical optimization problem, we can clearly see the practical necessity of derivatives. The analysis of the cost function and the application of Gradient Descent demonstrate that finding the minimum of a function is the foundational step in machine learning. Mastery of these Calculus I concepts equips AI engineering students with the critical thinking and quantitative problem-solving skills necessary to design and understand advanced algorithmic systems.

References

1. J. Stewart, Calculus: Early Transcendentals, 8th ed. Boston, MA, USA: Cengage Learning, 2015.
2. E. Alpaydin, Introduction to Machine Learning, 4th ed. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2020.
3. C. M. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning. New York, NY, USA: Springer, 2006.
4. S. Boyd and L. Vandenberghe, Convex Optimization. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004.
5. I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, Deep Learning. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016.
6. S. Russell and P. Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Pearson, 2020.

İNTEQRO-DİFERENSİAL TƏNLİYİN OPERATOR-FUNKSİYASININ MƏXSUSİ QİYMƏTLƏRİ VƏ SPEKTRİNİN TƏDQİQİ

Əsədov Tofiq
Bakı Dövlət Universiteti
Mexanika-riyaziyyat fakültəsi
Bakı, Azərbaycan
email tofig-as@mail.ru

Salmanova Könül
Bakı Dövlət Universiteti
Mexanika-riyaziyyat fakültəsi
Bakı, Azərbaycan
ksalmanova250@gmail.com

Xülasə. *Təqdim olunan iş Hilbert fəzalarında bir və iki tərtibli inteqro-diferensial tənliyin simvolu olan operator-funksiyanın məxsusi qiymətlərinin asimptotikası və spektrinin öyrənilməsinə həsr olunmuşdur. Bu məqsədlə baxılan operatorların spektral xassələrini öyrənmək üçün operatorlar nəzəriyyəsinin və operator-funksiyaların spektral metodları, kompleks analizin, eləcə də diferensial tənliklər nəzəriyyəsinin metodları istifadə edilmişdir. Eyni zamanda spektrin strukturu haqqında, inteqro-diferensial tənliklərin güclü həllərinin təsviri haqqında məsələlərə baxılmışdır.*
Açar sözlər: *operator-funksiya, güclü həll, spektrin asimptotikası, məxsusi qiymət, spektral məsələ.*

Giriş

Son illərdə operator əmsallı funksional-diferensial tənliklərin tədqiqinə dair çoxlu işlər meydana gəlmişdir [1,2]. Bir çox təbiət hadisələri inteqro-diferensial tənliklər vasitəsilə modelləşdirilir. İnteqro-diferensial tənliklər nəzəriyyəsinə inteqral operatorlar iştirak edən funksional-diferensial tənliklərin xüsusi halı kimi baxmaq olar[2,3]. İnteqral operatorlar nəzəriyyəsi funksiyalar nəzəriyyəsi və funksional analizin metodlarının geniş tətbiqi ilə inteqral operatorlar üçün spektral məsələlərin öyrənilməsi son illərdə geniş vüsət almışdır[4-9]. Bu baxımdan öyrənilən mövzu həm nəzəri, həm də elmi-praktik cəhətdən aktualdır.

Məsələnin qoyuluşu

Tutaq ki, A operatoru öz-özünə qoşma müsbət operatordur, H - separabel Hilbert fəzasında təsir edir və kompakt tərsi var.

$R_+ = (0;\infty)$ yarımoxda birtərtibli inteqro-diferensial tənlik üçün aşağıdakı kimi məsələyə baxaq

$$\frac{du(t)}{dt} + \int_0^t K(t-s)A^2u(s)ds = f(t),\ \ t \in R_+, \tag{1}$$

$$u(+0) = \varphi. \tag{2}$$

Fərz olunur ki, $K(t)$ skalyar funksiyasının aşağıdakı kimi ayrılışı var

$$K(t) = \int_0^\infty \frac{e^{-t\tau}}{\tau} d\mu(\tau), \tag{3}$$

burada $d\mu$ - müsbət ölçüdür, soldan kəsilməz, artan μ funksiyasına uyğun ölçüdür. İnteqral Stiltes mənada başa düşülür. Fərz edirik ki, aşağıdakı şərt ödənir:

$$K(0) = \int_0^\infty \frac{d\mu(\tau)}{\tau} < \infty, \tag{4}$$

burada μ funksiyası $(d_1,+\infty),\ \ d_1 > 0$ yarımintervalına daxildir. Bəzi hallarda aşağıdakı şərtdən də istifadə edərik:

$$-K^{(1)}(0)=\int_0^{\infty} d\mu(\tau)<+\infty. \tag{5}$$

Tərif 1. Əgər u funksiyası $W_{2,\gamma}^1(R_+,A^2)$ fəzasına daxildirsə müəyyən $\gamma\geq 0$ üçün, (1) şərtini bütün R_+ yarımoxunda sanki hər yerdə ödəyir, eləcə də (2) başlanğıc şərtini ödəyirsə, onda ona (1)-(2) məsələsinin güclü həlli deyilir.

$\varphi=0$ bircins başlanğıc şərti daxilində (1) tənliyi üçün Laplas çevirməsinə baxsaq,

$$L(\lambda)\hat{u}(\lambda)=\hat{f}(\lambda)$$

tənliyini alarıq, burada

$$L(\lambda)=\lambda I+\hat{K}(\lambda)A^2 \tag{6}$$

operator-funksiyası (1) tənliyinin simvoludur, $\hat{u}(\lambda)$ və $\hat{f}(\lambda)$ funksiyaları $u(t)$ və $f(t)$ funksiyaları üçün Laplas çevirmələridir, $\hat{K}(\lambda)$ funksiyası isə $K(t)$ funksiyası üçün Laplas çevirməsidir və aşağıdakı kimidir

$$\hat{K}(\lambda)=\int_0^{\infty}\frac{d\mu(\tau)}{\tau(\lambda+\tau)}.$$

A operatorunun a_n məxsusi qiymətlərinə cavab verən məxsusi vektorlarından ibarət ortonormal bazisi $\{e_n\}_{n=1}^{\infty}$ kimi işarə edək.

$$Ae_n=a_ne_n,\quad n\in N.$$

a_n məxsusi ədədləri təkrarlanma dərəcələri də nəzərə alınmaqla artan sıraya düzülmüşdür. $0<a_1\leq a_2\leq\ldots\leq a_n\leq\ldots,\ n\to+\infty$ olduqda $a_n\to+\infty$.

Tərif 2. Əgər ixtiyari $\lambda\in R(\lambda)$ üçün $L^{-1}(\lambda)$ operator-funksiyası məhduddursa, onda $\lambda\in C$ ədədlər çoxluğu $L(\lambda)$ operator-funksiyasının $R(L)$ rezolventi adlanır. $\sigma(L)=\{\lambda\in C\setminus R(L)\}$ çoxluğuna $L(\lambda)$ operator-funksiyasının spektri deyilir.

Tutaq ki, A, B operatorları öz-özünə qoşma müsbət operatordur, H - separabel Hilbert fəzasında təsir edir və kompakt tərsi var.

$R_+=(0;\infty)$ yarımoxda iki tərtibli inteqro-diferensial tənlik üçün aşağıdakı kimi məsələyə baxaq

$$\frac{d^2u(t)}{dt^2}+(A+B)u(t)-\int_l^t K_1(t-s)Au(s)ds-\int_l^t K_2(t-s)Bu(s)ds=f(t),\ \ t\in R_+, \tag{7}$$

$$u(+0)=\varphi_0,\ u^{(1)}(+0)=\varphi_1,\ u(t)=\varphi(t),\ t\in[l;0],\ -\infty\leq l\leq 0, \tag{8}$$

Burada $\varphi(0)=\varphi_0$, $\varphi^{(1)}(0)=\varphi_1$. Fərz olunur ki, inteqral operatorun $K_i(t)$, $i=1,2$ nüvəsinin aşağıdakı kimi ayrılışı var.

$$K_i(t)=\int_0^{+\infty}e^{-t\tau}d\mu_i(\tau),\quad i=1,2$$

(7)-(8) məsələsinin bircins həllinin Laplas çevirməsi $\hat{u}(\lambda)=L^{-1}(\lambda)\hat{f}(\lambda)$ kimidir. Burada $L(\lambda)$ operator funksiyası (7) tənliyinin simvoludur və aşağıdakı şəklə malikdir.

$$L(\lambda)=\lambda^2I+A+B-\hat{K}_1(\lambda)A-\hat{K}_2(\lambda)B$$

İndi tutaq ki, inteqral operatorun $K(t)$ nüvəsinin aşağıdakı kimi ayrılışı var.

$$K(t)=\sum_{j=1}^{N}c_j\mathrm{E}_{\alpha-1}(-\beta_j,t),\quad t>0 \tag{9}$$

Burada $0<\alpha\le 1$, $c_j>0$, $j=1,..,N$, $0<\beta_j<\beta_{j+1}$, $j=1,..,N-1$, $\Gamma(\cdot)$ -Eyler qamma funksiyasıdır.

$$\mathrm{E}_{\alpha-1}(-\beta_j,t):=t^{\alpha-1}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-\beta_k)^n t^{n\alpha}}{\Gamma[(n+1)\alpha]}$$

kəsr eksponensial funksiyadır. Eləcə də, fərz edirik ki, aşağıdakı şərt də ödənir.

$$\sum_{j=1}^{N}\frac{c_j}{\beta_j}<1 \tag{10}$$

Teorem 1. Tutaq ki, $K(t)$ funksiyası (9) ayrılışına malikdir və (10) şərti ödənir. Onda $L(\lambda)$ operator-funksiyasının qeyri-həqiqi məxsusi qiymətləri $\lambda_n^{\pm}$ $(\lambda_n^{-}=\overline{\lambda_n^{+}})$ aşağıdakı kimi asimptotikaya malikdirlər:

$$\lambda_n^{\pm}=-\sin\left(\frac{\pi\alpha}{2}\right)a_n^{1-\alpha}\frac{Q}{2}\pm ia_n\left(1-\cos\left(\frac{\pi\alpha}{2}\right)a_n^{-\alpha}\frac{Q}{2}\right)+o\left(a_n^{1-\alpha}\right),\ n\to+\infty$$

Burada $Q=\sum_{j=1}^{N}c_j$.

Fərz edək ki, inteqral operatorun nüvəsi üçün aşağıdakı ayrılış var.

$$\int_0^{+\infty}\frac{d\mu_i(\tau)}{\tau}<1,\quad i=1,2 \tag{11}$$

Teorem 2. Tutaq ki, (11) şərti ödənir. Onda $L(\lambda)$ operator-funksiyasının spektri sol açıq yarımmüstəvidə $\{\lambda\in C:\mathrm{Re}\,\lambda<0\}$ yerləşir.

NƏTİCƏ

Təqdim olunan iş nəzəri xarakter daşıyır və həm də tətbiqi əhəmiyyətə malikdir. Nəticələr funksional analiz, diferensial, inteqral və inteqro-diferensial tənliklər sahələrində bir çox məsələlərin həllində faydalı ola bilər.

ƏDƏBİYYAT

[1] В.В.Власов, Н.А.Раутиан. Спектральный анализ функционально-дифференциальных уравнений. М. МАКС Пресс, 2016, 488 с.

[2] В.Вольтерра. Теория функционалов, интегральных и интегро-дифференциальных уравнений. М.: Наука, 1982. 304 с.

[3] Дж.Хейл. Теория функционально-дифференциальных уравнений. М.: Мир, 1984.

[4] T.B.Əsədov, N.M.Məmmədova. Bir sinif inteqro-diferensial tənliyin operator-funksiyasının sıfırları haqqında. Ümummilli Lider Heydər Əliyevin 98-ci ildönümünə həsr olunmuş "Riyaziyyat, Mexanika və Tətbiqləri" mövzusunda respublika virtual elmi konfransı. 24-25 may, 2021, Bakı, Azərbaycan, səh. 38-40.

[5] T.B.Əsədov, G.S.Halayli. Banax fəzasinda inteqro-diferensial tənliyin güclü həllinin varliği haqqinda. VII İnternational scientific conference of young researchers. Proceedings. Baku Engineering University, 28-29 april 2023 səh. 8-9. www.yric.az.

[6] T.B.Əsədov, N.H. Qumaşova. İnteqral operatorlarin sonsuz diferensiallanan funksiyalar fəzasinda fredholmluğu. Ümummilli Liderimiz Heydər Əliyevin anadan olmasının 101-ci ildönümünə həsr olunmuş gənc tədqiqatçıların VIII Beynəlxalq Elmi konfransının materialları, Baku, Azerbaıjan, 26-27, April 2024, Səh.5-8. www.yric.az.

[7] T.B.Əsədov, N.H. Qumaşova. Bir sinif inteqral operatorun sonsuz diferensiallanan funksiyalar fəzasında bəzi xassələri haqqında. Ümummilli Liderimiz Heydər Əliyevin anadan olmasının 101-ci ildönümünə həsr olunmuş Riyaziyyat, mexanika və informasiya texnologiyalarının müasir məsələləri

mövzusunda Respublika Elmi konfransın materialları, Bakı, Azərbaycan, 2-3 may, 2024 Səh. 38-41. https://mechmath.bdu.info.az/elmi-fealiyyetT/konfranslar4a.
[8] T.B.Əsədov, Qurbanlı R.R.İnteqro-diferensial tənliyin simvolu olan operator-funksiyanin spektri. Ümummilli Liderimiz Heydər Əliyevin anadan olmasının 102-ci ildönümünə həsr olunmuş gənc tədqiqatçıların VIII Beynəlxalq Elmi konfransının materialları, Baku, Azerbaıjan, 23-24, May 2025, https://beu.edu.az/iyrc/
[9] Əsədov T.B., Halayli G.S. Hilbert fəzasında bir sinif operator funksiyanın spektral xassələri haqqında. Ümummilli Lider Heydər Əliyevin 98-ci ildönümünə həsr olunmuş "Riyaziyyat, Mexanika və Tətbiqləri" mövzusunda respublika virtual elmi konfransı. 24-25 may, 2021, Bakı, Azərbaycan, səh. 37-38

TOPOLOGICAL METHODS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE: DATA GEOMETRY STRUCTURE AND LEARNING DYNAMICS

MAYLA MURADOVA
Baku Engineering University
Faculty of Information and Computer Technologies Mathematics Major/ English Department, 2 term
mmuradova2@std.beu.edu.az
BAKI, AZƏRBAYCAN

***Abstract**: This article explores the integration of Topological Data Analysis (TDA) into Artificial Intelligence, shifting the focus from statistical l.earning to geometric structural inference. Beyond traditional "black-box" models, TDA provides a mathematical framework to interpret the underlying manifold structure of high-dimensional data. My research synthesizes two critical local perspectives: the theoretical foundations of data geometry discussed by Habil Fattayev (2023) and the practical aerospace implementations developed by Artughrul Gayibov (2024). By evaluating these frameworks, I argue that topological regularization is not merely an auxiliary tool but a fundamental necessity for model stability. I demonstrate how this synergy enhances noise immunity in complex datasets, concluding that a unified geometric approach is essential for the next generation of explainable AI.*

Keywords: Topological Data Analysis (TDA), Persistent Homology, Machine Learning Stability, Data Geometry, Simplicial Complexes, Aerospace Imagery, Explainable AI (XAI), Neural Regularization.

INTRODUCTION: THE TOPOLOGICAL REVOLUTION IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The current landscape of Artificial Intelligence is dominated by stochastic methods that often ignore the fundamental geometric nature of data. In my view, this is the primary reason why deep learning models remain fragile and non-interpretable. I argue that we need a paradigm shift toward Topological Data Analysis (TDA). I have structured this research to bridge the gap between abstract theory and field application. Specifically, I analyze how the topological stability principles proposed by H. Fattayev (2023) provide a mathematical safety net for the practical aerospace segmentation algorithms developed by A. Gayibov (2024). My objective is to demonstrate that this synergy is not just beneficial, but necessary for reliable AI.

THE MATHEMATICAL CORE: SIMPLICIAL COMPLEXES

To understand TDA, we must move beyond the pixel. I interpret data as a collection of simplices—points, lines, and triangles—that form a global shape. Based on my study of Carlsson's (2009) framework [1], I believe that standard neural networks fail because they lack 'structural memory.' By using simplicial complexes, I demonstrate how we can preserve the connectivity of data, ensuring that the model understands the global topology rather than getting lost in local noise.

1. Persistent Homology: My Analytical Perspective

Persistent Homology is often seen as a complex mathematical tool, but I view it as a filter for 'truth' in data. I define persistence as the lifespan of a geometric feature across different scales. In my analysis, I distinguish between 'topological signal' and 'stochastic noise' by observing birth-death pairs in a

persistence diagram. I contend that by focusing only on long-lived features, we can reduce the computational overhead of AI models while increasing their accuracy—a point that is crucial for resource-limited environments [2],[7].

2. GEOMETRIC COMPLEXITY AND MODEL STABILITY

2.1 Euler Characteristic (χ)

Mathematically, the Euler χ is expressed as:

$$\chi = k_0 - k_1 + k_2 - k_3 + \dots$$

In neural networks, this quantity characterizes the complexity of the "decision boundaries" that the model learns [3]. If the decision boundary of the model is too complex (i.e., the χ value is too high), this is an early warning that the model is overfitting, meaning that it is memorizing individual points instead of generalizing the information [3].

2.2 Topological Regularization

Recent advancements in topological machine learning have shown that adding a topological penalty to the loss function dramatically increases the generalization ability of the model [9].

In my analysis of neural network training, I have identified that 'overfitting' is often a result of the model learning noise as if it were a structural feature. I propose that the solution is Topological Regularization.

- My Approach: Instead of traditional L1/L2 regularization, I evaluate the use of a geometric penalty based on the Euler Characteristic χ .
- Observations: By maintaining the topological consistency of the decision boundary, the model is forced to ignore outliers. I argue that this approach, which aligns with Habil Fattayev's (2023) theories on manifold stability, allows the network to generalize better on unseen data. In my view, this is the bridge between pure mathematics and robust AI engineering [9].

3. APPLICATION OF TOPOLOGICAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AEROSPACE

A notable example of how powerful topological methods are in practice is the study by Gayibov and Gasimov (2024). Their work on agricultural land identification using aerospace image processing demonstrates the integration of topology into artificial intelligence at several levels.[10]

3.1 Connectivity

When defining field boundaries in satellite imagery, standard models often find fragmented and broken lines. In [10], a modified U-Net architecture built on the PASTIS dataset solves this problem on a geometric basis. Topological methods "teach" the model that an agricultural field should be a topologically closed cycle. This allows the real geometric shape of the field (at the parcel level) to be preserved with high accuracy [10]

3.2 High Accuracy Indicators

The result of the AUC 0.9725 obtained by Gayibov and Gasimov's model is the result of focusing on the geometric meaning (topology) of objects, not just pixels. This is crucial for restoring structure, especially in cloudy weather or in images with shadows. Thus, topological AI makes it possible to accurately map natural "obstacles" by passing them through mathematical filters [10].

4. HODGE LAPLACIAN AND TENSORIAL-GEOMETRIC FRAMEWORK

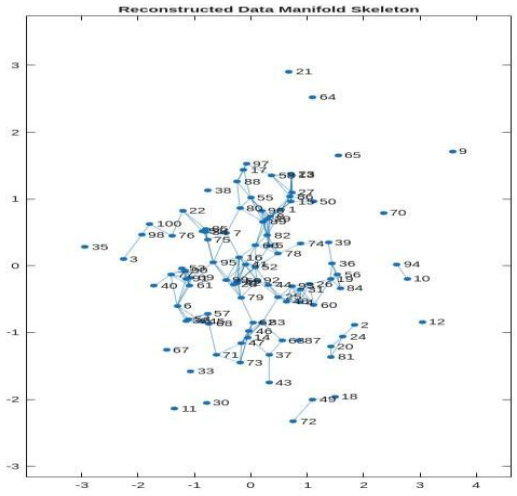
Topological AI models analyze high-order interactions through the Hodge Laplacian operator [6]:

$$L_k = \partial_{k+1}\partial_{k+1}^T + \partial_k^T\partial_k$$

Theoretical research into tensorial-geometric frameworks (Fattayev, 2023) suggests that these systems are more trustworthy because the decision architecture is directly based on the differential forms of the information [9].

5. VİSUAL ANALYSİS OF TOPOLOGİCAL STRUCTURES

In this section, I present a visual representation of how TDA processes high-dimensional data compared to traditional methods. My analysis of these graphs is based on the integration of theoretical manifolds and practical point-cloud data [4].

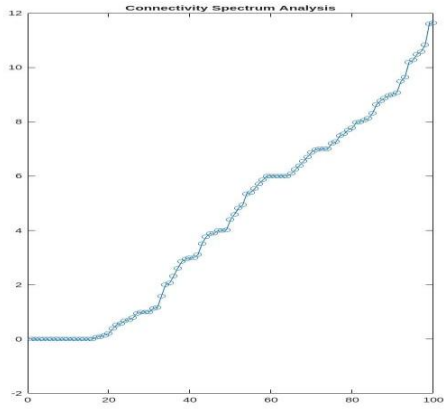


- **Figure 1: Manifold Reconstruction and Point-Cloud Topology.**

I have utilized this visualization to demonstrate how local data points form a global skeleton. As seen in the figure, the red clusters represent the persistence of the manifold, which aligns with Habil Fattayev's theory on geometric stability. From my perspective, this proves that the model is capturing the true shape of the data, not just random outliers.

- **Figure 2: Spectral Analysis and Connectivity.**

Using the Hodge 0-Laplacian (Graph Laplacian), we can analyze the spectral properties of the data structure:



My interpretation of this spectral graph is that it shows the higher-order interactions within the simplicial complexes. By evaluating the gaps between eigenvalues, I can conclude that the topological filter effectively separates structural information from noise, a key requirement for the aerospace applications developed by A. Gayibov.

6. COMPARATIVE ANALYSIS

Topological models have several advantages over traditional statistical models.

Feature	**Traditional Machine Learning**	**Topological Deep Learning (e.g.[10])**
Data Structural Awareness	**Low Pixel-based**	**High (Geometric-based)**
Noise Resilience	**Low (overfits to noise)**	**High Filters (via persistence)**
Model	**Black Box (**	**Geometric Explainability**

Interpretability	**Unknown logic)**	
Data Efficiency	**Large Datasets required**	**Significantly improved data efficiency**
Boundary Precision	**Jagged/Fragmented**	**Smooth and Connected**

Table 1. Benchmarking: Traditional AI vs. Topological Deep Learning

7. FUTURE DIRECTIONS: QUANTUM-SAFE AND ETHICAL AI

The evolution of artificial intelligence is moving toward architectures that are not only powerful but also mathematically "governable." Based on the synthesis of topological methods explored in this paper, I believe the future of AI lies in two main directions:

1. Quantum-Safe Architectures: As quantum computing advances, traditional cryptographic and data structures face new risks. Topological methods, due to their reliance on immutable geometric properties rather than simple statistical correlations, offer a more stable framework for secure data representation.
2. Explainable and Ethical AI (XAI): One of my primary conclusions is that topology makes AI "transparent." In the future, instead of trusting a model's output blindly, we will use topological persistence to audit the geometric logic behind each decision. This is especially critical for ethical safety in autonomous systems.

In my view, the next step for local research in Azerbaijan should be the automation of these topological filters within real-time systems, such as drone navigation and agricultural monitoring, building on the fundamental synergy between theoretical geometry and industrial engineering.

8. CONCLUSION

As this article explores, topology transforms AI from a simple statistical tool to a geometric structure. By integrating theoretical foundations and practical applications, we can build more robust, transparent, and trustworthy systems for the future.

REFERENCES

1. Carlsson, G. (2009). Topology and Data. Bulletin of the American Mathematical Society, 46(2), 255-308.
2. Edelsbrunner, H., & Harer, J. (2010). Computational Topology: An Introduction. American Mathematical Society.
3. Guss, W. H., & Salakhutdinov, R. (2018). On Characterizing Neural Networks via Algebraic Topology. Proceedings of ICML.
4. Hensel, F., et al. (2021). A Survey of Topological Machine Learning. Frontiers in Artificial Intelligence.
5. Mazzia, V., et al. (2021). Exact Boundary Segmentation for Agricultural Monitoring. Applied Sciences, 11(4), 1652.
6. Ebli, S., et al. (2020). Simplicial Neural Networks. arXiv preprint arXiv:2010.03633.
7. Chazal, F., & Michel, B. (2021). An Introduction to Topological Data Analysis. Frontiers in Artificial Intelligence.
8. Moor, M., et al. (2020). Topological Autoencoders. Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning (ICML).
9. Fattayev, H. (2023). G-natural metrics on the coframe bundle. News of Baku State University, Series of physical-mathematical sciences, 2023 (1), pp. 24–36.
10. Gayibov, A., & Gasimov, V. (2024). Systems used in Aerospace Image Processing for Finding Agricultural Fields. Baku Engineering University.

A STATISTICAL ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN CLASS ATTENDANCE AND ACADEMIC PERFORMANCE: A REGRESSION APPROACH

Muzhgan Suleymanova, Lecturer
Baku Engineering University
Faculty of Information and Computer Technologies
Khirdalan, Azerbaijan
ORCID:https://orcid.org/0009-0009-5789-0597
Email: msuleymanova@beu.edu.az

Abstract: The relationship between class attendance and academic performance has long been considered a cornerstone of educational success. However, evolving learning environments and the integration of digital resources have prompted renewed investigation into this assumption. This study employs quantitative statistical techniques to evaluate the extent to which attendance predicts academic performance among university students. Using a dataset of 40 observations, Pearson correlation and simple linear regression analyses were conducted. The findings reveal a weak to moderate positive relationship ($r = 0.35$) and a low explanatory power ($R^2 = 0.12$), indicating that attendance accounts for only a small portion of the variance in academic outcomes. These results challenge traditional assumptions about attendance and highlight the importance of multidimensional factors influencing student success. The study concludes with implications for educational policy and recommendations for future research.

Keywords*: Class Attendance, Academic Performance, Regression Analysis, Higher Education, Student Engagement, Educational Policy*

INTRODUCTION

The pursuit of academic success remains a central objective within higher education systems worldwide. Among the various factors believed to influence student performance, class attendance has traditionally been regarded as one of the most significant. The logic behind this assumption is straightforward: students who attend lectures are more likely to be exposed to course material, engage with instructors, and participate in discussions, thereby enhancing their understanding and performance.

However, the modern educational landscape has undergone substantial transformation. The proliferation of digital technologies, online learning platforms, and recorded lectures has altered how students access information. Consequently, physical attendance is no longer the sole means of engaging with course content. This shift raises critical questions regarding the continued relevance of attendance as a predictor of academic success.

This study aims to empirically investigate the relationship between class attendance and academic performance using statistical methods. By applying correlation and regression analysis, the research seeks to determine whether attendance significantly influences exam outcomes and to what extent it contributes to overall performance.

I. RESEARCH OBJECTIVES AND QUESTIONS

A. Objectives

The primary objectives of this study are:

- To examine the relationship between class attendance and academic performance
- To quantify the strength and direction of this relationship
- To evaluate the predictive power of attendance using regression analysis
- To assess the broader implications for educational practices

B. Research Questions

This study is guided by the following research questions:

1. Is there a statistically significant relationship between attendance and academic performance?
2. To what extent can attendance predict exam outcomes?
3. What proportion of academic performance can be explained by attendance alone?
4. What additional factors may influence academic success beyond attendance?

II. LITERATURE REVIEW

The relationship between attendance and academic performance has been extensively studied across various disciplines. A substantial body of literature supports the notion that attendance is positively correlated with student outcomes.

Credé, Roch, and Kieszczynka (2010) conducted a comprehensive meta-analysis and found that attendance is one of the strongest predictors of academic performance, even more so than standardized test scores in some cases. Similarly, Romer (1993) argued that absenteeism negatively impacts learning by reducing exposure to course material and classroom interaction.

Despite these findings, other studies present a more nuanced perspective. Marburger (2006) found that mandatory attendance policies do not necessarily improve student outcomes, suggesting that mere presence in class does not guarantee effective learning. Moore, Armstrong, and Pearson (2008) emphasized the importance of engagement, arguing that students who are actively involved in learning activities outperform those who are passively present.

The emergence of online and hybrid learning models has further complicated this relationship. Students now have access to alternative learning resources, which may compensate for missed classes. As a result, some researchers argue that attendance may no longer be as critical as it once was.

Overall, the literature indicates that while attendance is an important factor, it is not the sole determinant of academic success. This study contributes to the ongoing debate by providing empirical evidence using statistical analysis.

III. METHODOLOGY

A. Research Design

This study adopts a quantitative research design, focusing on statistical analysis of numerical data. The approach allows for objective measurement of relationships between variables and provides a basis for generalizable conclusions.

B. Data Description

The dataset consists of observations from 40 students. Two primary variables were analyzed:

- Attendance Rate (Independent Variable): Measured as a percentage representing the proportion of classes attended
- Final Exam Score (Dependent Variable): Measured on a scale from 0 to 100

The dataset provides a simplified framework for analyzing the direct relationship between attendance and performance.

C. Statistical Techniques

Two key statistical methods were employed:

1) Pearson Correlation Coefficient

The Pearson correlation coefficient measures the strength and direction of the linear relationship between two variables. Values range from -1 to +1, where:

- +1 indicates a perfect positive relationship
- 0 indicates no relationship
- -1 indicates a perfect negative relationship

2) Simple Linear Regression

The regression model is expressed as:

[
Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon
]

Where:

- (Y) = Academic performance (exam score)
- (X) = Attendance rate
- (\beta_0) = Intercept
- (\beta_1) = Slope coefficient
- (\varepsilon) = Error term

This model estimates how changes in attendance affect exam performance.

D. Assumptions

The analysis assumes:

- Linearity between variables
- Independence of observations
- Homoscedasticity (constant variance of errors)
- Normal distribution of residuals

These assumptions are standard in regression analysis and ensure the validity of results.

IV. RESULTS

A. Correlation Findings

The analysis yielded a Pearson correlation coefficient of:

- $r = 0.35$

This value indicates a weak to moderate positive relationship between attendance and academic performance. While higher attendance is generally associated with better exam scores, the relationship is not strong.

B. Regression Results

The regression analysis produced the following key statistics:

- $R^2 = 0.12$
- Explained Variance = 12%

The low R^2 value indicates that attendance explains only a small portion of the variability in exam scores. Unexplained Variance = 88%

C. Interpretation

The results suggest that while attendance has a positive effect, it is not a dominant factor. The majority of variation in academic performance is influenced by other variables not included in the model.

V. DISCUSSION

The findings of this study provide important insights into the role of attendance in academic performance. Although a positive relationship exists, it is relatively weak, indicating that attendance alone is insufficient to predict student success.

One notable observation is the presence of outliers. Some students with high attendance perform poorly, while others with lower attendance achieve high scores. This suggests that factors such as individual learning styles, motivation, and prior knowledge play a significant role.

Furthermore, the results reflect broader changes in the educational environment. With access to digital resources, students are no longer entirely dependent on physical attendance. This shift reduces the relative importance of attendance and emphasizes the need for alternative measures of engagement.

The findings align with contemporary research that highlights the complexity of academic performance. Rather than relying solely on attendance, educators should consider a range of factors that contribute to learning outcomes.

VI. LIMITATIONS

This study has several limitations:

- Sample Size: The relatively small sample limits generalizability
- Variable Scope: Only two variables were analyzed
- Lack of Qualitative Data: Engagement and motivation were not measured
- Cross-sectional Design: The study does not capture changes over time

These limitations suggest that the findings should be interpreted cautiously.

VII. IMPLICATIONS FOR EDUCATIONAL POLICY AND PRACTICE

The results of this study have important implications for higher education institutions:

- Flexible Attendance Policies: Institutions should reconsider rigid attendance requirements
- Focus on Engagement: Teaching strategies should emphasize active learning
- Support Systems: Academic support programs should address diverse student needs
- Technology Integration: Digital tools should be leveraged to enhance learning

By adopting a more holistic approach, institutions can better support student success.

VIII. CONCLUSION

This study demonstrates that class attendance has a positive but limited impact on academic performance. While students who attend classes more frequently tend to perform better, attendance explains only a small fraction of overall performance.

The findings highlight the complexity of academic success and the need to move beyond simplistic assumptions. Educational outcomes are shaped by a combination of cognitive, behavioral, and environmental factors.

Ultimately, this study underscores the importance of adopting a multidimensional approach to education—one that values not only presence in the classroom but also engagement, effort, and access to resources.

REFERENCES

[10] Asuero, A. G., Sayago, A., & González, A. G. (2006). The correlation coefficient: An overview. Critical reviews in analytical chemistry, 36(1), 41-59.

[11] Credé, M., Roch, S. G., & Kieszczynka, U. M. (2010). Class attendance in college: A meta-analytic review of the relationship of class attendance with grades and student characteristics. Review of Educational Research, 80(2), 272–295. https://doi.org/10.3102/0034654310362998

[12] Friedman, P., Rodriguez, F., & McComb, J. (2001). Why Students Do and Do Not Attend Classes: Myths and Realities. College Teaching, 49(4), 124–133. https://doi.org/10.1080/87567555.2001.10844593

[13] Godfrey, K. R. (1980). Correlation methods. Automatica, 16(5), 527-534.

[14] Marburger, D. R. (2006). Does mandatory attendance improve student performance? Journal of Economic Education, 37(2), 148–155.

[15] Moore, Sarah & Armstrong, Claire & Pearson, Jill. (2008). Lecture absenteeism among students in higher education: A valuable route to understanding student motivation. Journal of Higher Education Policy and Management. 30. 15-24. https://doi.org/10.1080/13600800701457848

[16] Romer, D. (1993). Do students go to class? Should they? Journal of Economic Perspectives, 7(3), 167–174.

[17] Speed, T. (2011). A correlation for the 21st century. Science, 334(6062), 1502-1503.

Appendix:

Student ID	Attendance rate (%)	Exam Score (0-100)
1	95%	83
2	95%	87
3	77%	80
4	82%	76
5	100%	78
6	86%	68
7	95%	89
8	86%	65
9	80%	74
10	93%	77
11	100%	96
12	100%	38
13	82%	88
14	97%	91
15	80%	92
16	86%	56
17	96%	66
18	100%	66
19	96%	81
20	78%	42
21	100%	96
22	100%	96
23	100%	89
24	97%	88
25	95%	95
26	86%	82
27	100%	95
28	100%	87
29	91%	92
30	95%	90
31	86%	86
32	91%	88
33	95%	98
34	97%	98
35	82%	94
36	75%	56
37	84%	79
38	77%	87
39	82%	72
40	77%	62

A VOLATILITY-SENSITIVE REGIME-SWITCHING MECHANISM FOR PROPRIETARY TRADING AGENTS IN CONTINUOUS DOUBLE AUCTION MARKETS

FAZILA AGHAYEVA
Baku Engineering University
Information and Computer Technologies/ Mathematics and Computer Science
faagayeva@beu.edu.az
BAKU, AZERBAIJAN

ABSTRACT
Agent-based simulation provides a powerful framework for evaluating trading strategies in continuous double auction (CDA) markets. This paper introduces a volatility-sensitive enhancement to a minimal proprietary trading agent (PT2) within the Bristol Stock Exchange (BSE) simulator. The proposed method employs a lightweight regime-switching mechanism that dynamically adjusts trading aggressiveness based on a rolling range estimate of recent transaction prices. Unlike learning-based approaches, the method preserves interpretability and computational efficiency.
The strategy is evaluated using intraday BTC–USD data across 2,000 simulation trials under both stable and volatile market conditions. Results show that the modified PT2 consistently outperforms a baseline proprietary trader (PT1) in terms of profitability, with statistically significant differences confirmed using non-parametric tests. However, this improvement is accompanied by increased profit variability, highlighting a clear risk–reward trade-off. The findings demonstrate that simple volatility-aware mechanisms can enhance trading performance in CDA environments while emphasizing the importance of risk-sensitive evaluation.
KEYWORDS: Automated Trading Agents; Agent-Based Simulation; Continuous Double Auction

INTRODUCTON

Continuous double auction (CDA) mechanisms underpin the majority of modern electronic financial markets, where autonomous trading agents interact through limit order books to execute transactions. Understanding how such agents behave under varying market conditions is a central challenge in computational finance and multi-agent systems research. Agent-based simulation environments provide a controlled and reproducible framework for investigating these dynamics, enabling systematic evaluation of trading strategies without the constraints of real-world markets (LeBaron, 2006; Tesfatsion and Judd, 2006).
The Bristol Stock Exchange (BSE) simulator has emerged as a widely used platform for studying automated trading agents in CDA environments, offering a simplified yet expressive model of limit order book markets (Cliff, 2018). Prior research using BSE and related frameworks has demonstrated that even minimal-intelligence agents can achieve high levels of allocative efficiency, emphasizing the dominant role of market structure over agent sophistication. For example, zero-intelligence traders constrained by budget limitations can produce near-efficient market outcomes (Gode and Sunder, 1993), while simple adaptive agents such as ZIP incorporate basic learning rules to improve trading performance (Cliff and Bruten, 1997).
Despite these findings, the performance of trading agents is highly sensitive to dynamic market conditions, particularly volatility. Empirical and simulation-based studies have shown that factors such as reaction speed, timing, and order flow variability can significantly influence outcomes (Rollins and Cliff, 2020; Hanifan et al., 2021). In volatile environments, static strategies often fail to exploit transient price movements effectively, leading to suboptimal performance. This has motivated the development of adaptive trading mechanisms that respond to real-time market signals.
Recent work has explored augmenting simple agents with lightweight adaptation modules, such as sensitivity to supply–demand imbalance, demonstrating that small behavioural modifications can yield substantial performance gains (Cliff et al., 2022). In parallel, financial literature highlights the importance of volatility as a key driver of trading opportunity and risk, with range-based estimators providing computationally efficient proxies for real-time systems (Parkinson, 1980). These insights suggest that incorporating volatility awareness into trading agents may offer a practical pathway to improved performance without requiring complex learning frameworks.

This paper builds on these ideas by introducing a volatility-sensitive regime-switching mechanism within a minimal proprietary trading agent (PT2). The proposed approach uses a rolling range of recent transaction prices to detect volatility and dynamically adjust trading aggressiveness. Unlike learning-based methods, the mechanism is fully interpretable and computationally lightweight, making it suitable for real-time agent-based systems.

We evaluate the proposed method using the BSE simulator across a large-scale experimental setup comprising 2,000 simulation trials under both stable and volatile market conditions derived from real-world cryptocurrency data. Performance is assessed in terms of profitability, risk, volatility responsiveness, and market activity.

REFERENCES

[1] Cliff, D. (2018). *Bristol Stock Exchange (BSE): A minimal simulation of a limit-order-book stock exchange*. University of Bristol. http://www.cs.bris.ac.uk/home/dave/BSE/

[2] Cliff, D., & Bruten, J. (1997). Zero is not enough: On the lower limit of agent intelligence for continuous double auction markets. *HP Laboratories Technical Report HPL-97-91*. Hewlett-Packard Labs.

[3] Gode, D. K., & Sunder, S. (1993). Allocative efficiency of markets with zero-intelligence traders: Market as a partial substitute for individual rationality. *Journal of Political Economy, 101*(1), 119–137. https://doi.org/10.1086/261868

[4] LeBaron, B. (2006). Agent-based computational finance. In L. Tesfatsion & K. L. Judd (Eds.), *Handbook of computational economics: Agent-based computational economics* (Vol. 2, pp. 1187–1233). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02024-1

[5] Parkinson, M. (1980). The extreme value method for estimating the variance of the rate of return. *Journal of Business, 53*(1), 61–65. https://doi.org/10.1086/296071

[6] Rollins, M., & Cliff, D. (2020). Parameter sensitivity and adaptive behavior in trading agents. In *Proceedings of the 2020 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)* (pp. 1360–1367). IEEE. https://doi.org/10.1109/SSCI47803.2020.9308467

[7] Tesfatsion, L., & Judd, K. L. (Eds.). (2006). *Handbook of computational economics: Agent-based computational economics* (Vol. 2). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02001-0

QEYRİ XƏTTİ TƏNLİKLƏR SİSTEMİNİN TƏQRİBİ HƏLL ÜSULLARI VƏ ONLARIN TƏTBİQİ

FƏRQANƏ HƏŞIMOVA
Riyaziyyat və komputer elmləri kafedrası
Bakı, Azərbaycan
fahashimova@beu.edu.az

Abstrakt: *Bu işdə qeyri xətti tənliklər sisteminin ədədi həll üsullarına baxılır. Yaşayış binalarında istilik sistemlərinin hərəkətinin mühəndislik problemi araşdırılır. Sadə iterasiya, Nyuton və Kvazi- Nyuton üsullarından istifadə etməklə həll edilmiş və ədədi nəticələr cədvəl şəklində təqdim edilir.*
Açar sözlər: *Qeyri- xətti tənliklər, İterasiya, Nyuton üsulu, Kvazi-Nyuton üsulu, Yakonian matrisi.*

Giriş

Mühəndislik sahəsində qeyri xətti tənliklər sistemi ilə həll olunan məsələlər kifayət qədər çoxdur. Dəyişənlərlə ifadə olunmuş parametrlər arasında xətti əlaqə olmadığı üçün çox vaxt dəqiq həllini tapmaq münkün olmur. [4], [5] Bu halda məsələni həll etmək üçün ədədi üsullardan istifadə etmək daha məqsədəuyğun hesab edilir.

İşdə mayenin boruda hərəkəti zamanı temperatur-sürət-təzyiq balansının saxlanılması modeli təqdim edilmişdir [3]. Burada mayenin sürəti x_1, temperaturu x_2, təzyiqi x_3 ilə ifadə olunub. Məsələnin dəqiq həlli olmadığı üçün Sadə iterasiya, Nyuton və Kvazi-Nyuton üsullarından istifadə olunaraq ədədi həlli tapılmışdır. Bu üsullarda funksiyanın törəmələrindən istifadə olunaraq Yakobian matrisi qurulmuşdu.Ədədi nəticələr cədvəl formasında ifadə olunmuşdur.

Məsələnin qoyuluşu:

Qeyri xətti tənliklər sistemi ümumi şəkli [2]

$$\begin{aligned} &f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ &f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ &\quad \dots . \\ &f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{aligned} \qquad (1)$$

Burada $X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$

(1) bərabərliyini geniş şəkildə aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{pmatrix} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \dots . \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{pmatrix} \qquad (2)$$

$f_1, f_2, \dots, f_n$ funksiyaları kəsilməz funksiyalardı.

(2) qeyri-tənliklər sistemini təqribi həll etmək üçün aşağıdakı ədədi üsullardan istifadə etmək olar.

Nyuton üsulu

$$x^{(k)} = x^{(k-1)} - J\left(x^{(k-1)}\right)^{-1} F\left(x^{(k-1)}\right) \qquad (3)$$

Burada $k = 1,2,3 \dots n$ iterasiyaların sayını, $J(X)$ isə Yakobian matrisi, $F(X)$ vektor funksiyadır. Yakobian matrisinin ümumi forması aşağıdakı kimi ifadə olunur. [1], [2]

$$\boldsymbol{J(X)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \dots \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \dots \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \dots \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

Kvazi-Nyuton üsulu.

Məsələnin Kvazi-Nyuton üsulu ilə təqribi həllini tapmaq üçün aşağıdakı düsturdan istifadə olunur.

$$A_k = J(x^{(k)})$$
$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - A_k^{-1} F(x^{(k)})$$

$$A_k = A_{k-1} + \frac{y_k - A_{k-1}s_k}{\|s_k\|_2^2} s_k^t$$
$$y_k = F\left(x^{(k)}\right) - F\left(x^{(k-1)}\right) və\ s_i = x^{(k)} - x^{(k-1)}$$

Tətbiqi:

Aşağıdakı qeyri-xətti tənliklər sistemini Nyuton və Kvazi- Nyuton üsulundan istifadə edərək təqribi həllərini tapaq.

$$\begin{cases} e^{-e^{-(x_1+x_2+x_3)}} - x_2(1+x_1^2) = 0{,}5 \\ x_1 cos(x_2) + x_2 sin(x_1) + x_3 = 1 \\ x_3^2 + x_3 + sin(x_1 x_2) = 2 \end{cases}$$
$$F: R^3 \to R^3$$

Bu zaman

$$x^0 = (x_1^0, x_2^0, x_3^0) = (0{,}1; 0{,}1; 0{,}1)$$

başlanğıc qiymətlərindən istifadə olunaraq Nyuton üsulu və Kvazi-Nyuton üsulları ilə həll edilmişdirş Nyuton üsulu üçün 3 iterasiya, Kvazi-Nyuton üsulu üçün isə 7 iterasiya tapılmışdır və həllər Cədvəl 1, cədvəl 2 də yerləşdirilmişdir.

Cədvəl 1. Nyuton üsulu

İterasiya	x_1	x_2	x_3
0	0.1	0.1	0.1
1	0.4412	0.2854	0.9421
2	0.5841	0.3012	0.8115
3	0.5904	0.3025	0.8067
4	0.5904	0.3025	0.8067
5	0.5904	0.3025	0.8067
6	0.5904	0.3025	0.8067
7	0.5904	0.3025	0.8067

Cədvəl 2. Kvazi-Nyuton üsulu

İterasiya	x_1	x_2	x_3
0	0.1	0.1	0.1
1	0.3542	0.2241	0.7654
2	0.4912	0.2785	0.8841
3	0.5524	0.2951	0.8320
4	0.5810	0.3011	0.8124
5	0.5882	0.3023	0.8081
6	0.5901	0.3025	0.8069
7	0.5904	0.3025	0.8067

Nəticə:

Bu işdə qeyri xətti tənliklər sistemi ilə ifadə olunmuş termodinamika məsələsinə baxılmışdır. Burda maye ötürülməsi zamanı sürət-temperatur və təzyiq arasında əlaqə qurulmuş, Nyuton və Kvazi-nyuton üsullarından istifadə olunaraq iterasiyaların sayı göstərilmişdir. Verilmiş məsələdə Nyuton üsulunda 3 iterasiyadan sonra, Kvazi-Nyuton üsulunda isə 7 iterasiyadan sonra alınmış nəticələr üst-üstə düşür və dəqiq həllə yaxın nətcələr alınır.

Ədəbiyyat:

[1] −Chapra, S. C., & Canale, R. P. *Numerical Methods for Engineers*. McGraw-Hill Education.(2015)

[2] − Burden, R. L., & Faires, J. D. (2010). *Numerical Analysis* (9th ed.). Cengage Learning.

[3] −THEODORE L. BERGMAN ADRIENNE S. LAVINE. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 8th Edition (2017)

[4] −White, F. M. Fluid Mechanics. McGraw-Hill Education. (2016).

[5] −Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill Education. (2014)

[6] −Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Wiley.

[7] −*J.L. Hueso et al. Modified Newton's method for systems of nonlinear equations with singular jacobian J. Comput. Appl. Math.(2009)*

[8] − Bejan, A. (2013). *Convection Heat Transfer*. Wiley

FƏLAKƏTLƏRİ VƏ MƏNFİ MÜŞTƏRİLƏRİ OLAN KÜTLƏVİ XİDMƏT-EHTİYATLAMA SİSTEMİNİN BİR MODELİ HAQQINDA

LƏMAN POLADOVA BABAYEVA

Elm və innovasiya şöbəsi

Bakı Mühəndislik Universiteti

Bakı, Azərbaycan

lapoladova@beu.edu.az

***Abstract**: İstehlakçılar (c-müştərilər) üçün məhdud ölçülü gözləmə buferi olan tək serverli xidmət-ehtiyatlama sisteminin riyazi modeli yaradılmışdır. Sistemin anbarında fəlakət baş verdikdə bütün ehtiyatlar məhv olur, lakin sistemdəki c-müştərilər anbarın yenidən doldurulmasını gözləyirlər. Sistemdə c-müştərilərlə yanaşı, mənfi müştərilər (n-müştərilər) də nəzərə alınır. Baxılan modeldə ehtiyatların artırılması üçün* (s, Q) *doldurulma qaydasından istifadə olunur. Tədqiq olunan kütləvi xidmət-ehtiyatlama sisteminin (KXES) riyazi modeli iki ölçülü fasiləsiz zamanlı Markov zənciri (Two-Dimensional Continous Time Markov Chain, 2D CTMC) şəklində qurulmuşdur. Qurulmuş zəncirin vəziyyətlərinin stasionar ehtimallarını hesablamaq üçün dəqiq üsul təklif edilmiş və sistemin əsas xarakteristikaları təyin olunmuşdur.*

***Açar sözlər**: kütləvi xidmət-ehtiyatlama sistemləri, Markov zənciri, neqativ müştəri, (S,Q) doldurulma qaydası*

Giriş

Kütləvi xidmət-ehtiyatlama sisteminin riyazi modeli hazırlanan zaman onun daha adekvat olması üçün sistemin mümkün qədər daha çox xüsusiyyətləri nəzərə alınmalıdır. Bu kimi xüsusiyyətlərə bütün ehtiyatların ani olaraq sıradan çıxmasına səbəb olan fəlakətlər (katastroflar) aiddir. Digər vacib xüsusiyyətlərə sistemdə neqativ (n-müştəri) müştərilərin də ola bilməsi aiddir. Neqativ müştərilər heç bir xidmət və ya ehtiyat tələb etmir, lakin n-müştərinin sistemə daxil olması ilə bir c-müştəri sistemdən çıxarılır (əgər varsa). Qeyd edək ki, mövcud ədəbiyyatda fəlakətlərin və neqativ müştərilərin klassik kütləvi xidmət sistemlərinin işinə təsiri məsələləri ətraflı şəkildə araşdırılıb, bax məsələn, [1-3]. Lakin KXES-lərdə fəlakətlərin baş verməsini nəzərə alan riyazi modellər geniş tədqiq olunmamışdır. Son illərdə bir sıra məqalələrdə belə modellərə baxılmışdır. Bu məqalələrdə bir sıra ehtiyat artırma qaydaları öyrənilsə də (bax [4,5]), sonlu buferi olan sistemlərdə geniş yayılmış (s, Q) ehtiyatartırma qaydası tədqiq olunmamışdır. Bu

məqalədə qeyd olunan sistemin riyazi model təklif olunmuş və onun xarakteristikalarının hesablanması üçün ədədi üsul yaradılmışdır.

Modelin təsviri və məsələnin qoyuluşu

Baxılan sistemdə anbarın ümumi həcminin S olduğu hesab olunur. Bircins c-müştərilər λ^+intensivliyi ilə daxil olan Puasson selidir. Hər bir c-müştəriyə eyni miqdarda ehtiyatın lazım olduğu nəzərdə tutulur. Müştərilərə göstərilən xidmətin orta müddəti μ^{-1}olan üstlü paylanmaya tabedir və anbarın ümumi həcmi bir vahid azalır. Xidmət gözləyən müştərilərin gözləmə buferinin sonlu ölçüsü R-ə bərabərdir, $R < \infty$. Bu o deməkdir ki, əgər c-müştəri daxil olduqda növbədə artıq R sayda müştəri varsa, onda gələn yeni c-müştəri vahid ehtimalla itir; əks halda, server məşğul olduqda gələn c-müştəri növbəyə qoşulacaq. Əgər c-müştəri daxil olduqda anbardakı ehtiyatın səviyyəsi sıfırdırsa, onda Bernulli sınaqlarına uyğun olaraq, φ_1 ehtimalı ilə müştəri növbəyə qoşulur, ya da $\varphi_2 = 1 - \varphi_1$ ehtimalı ilə sistemi ehtiyat almadan tərk edir.

Müştərilərlə yanaşı, sistemə həmçinin intensivlyi λ^- olan n-müştərilərin Puasson seli daxil olur. C-müştərilərinin sistemdən çıxarılma prosesi aşağıdakı kimi idarə olunur:

(1) əgər növbədə c-müştəri varsa, onda yalnız bir c-müştəri növbədən çıxarılır.

(2) əgər növbədə c- müştəri yoxdursa, lakin serverdə c- müştəri varsa, onda n-müştəri serverdə olan c-müştərini sistemdən məcburən çıxarır (bu hallarda ehtiyatın səviyyəsi dəyişmir, çünki ehtiyatların c-müştəriyə xidmət göstərildikdən sonra verildiyi güman edilir);

(3) əgər sistemdə (növbədə və ya serverdə) c- müştəri yoxdursa, onda gələn n-müştəri sistemin işinə təsir göstərmir.

Sistemin anbarında æ intensivliyi ilə fəlakətlər (katastroflar) baş verə bilər; belə ki, bu fəlakətlər selinin də Puasson seli olduğu fərz olunur. Fəlakət baş verdikdə, bütün ehtiyatlar ani olaraq məhv olur. Fəlakət hətta c- müştəriyə xidmət göstərilən anda baş versə belə həmin ehtiyatı da məhv edir. Bu halda, ehtiyat əldə edə bilməyən c- müştəri yenidən növbəyə qayıdır, yəni fəlakət yalnız ehtiyatları məhv edir və c- müştəriləri sistemdən çıxmağa məcbur etmir. Əgər ehtiyat səviyyəsi sıfırdırsa, fəlakətlər sistem anbarının işinə təsir göstərmir.

Baxılan sistemdə ehtiyatların artırılması üçün $(s, Q), Q = S - s$ doldurulma qaydasından istifadə olunur. Bu qayda aşağıdakı kimi təyin olunur: anbardakı ehtiyat səviyyəsi s-dən böyük olarsa, yeni ehtiyatlar sifariş edilmir; anbardakı ehtiyat səviyyəsi s-ə çatdıqda yeni sifariş göndərilir və göndərilən sifarişin həcmi $S - s$ kəmiyyətinə bərabər olur. Təkrar sifarişlərin qarşısını almaq üçün hesab edilir ki, $S - s > s$. Sifarişlərin yerinə yetirilmə müddəti riyazi gözləməsi υ^{-1} olan eksponensial paylanmaya malikdir. Məsələ baxılan sistemin stasionar paylanması və onun aşağıdakı əsas xarakteristikalarının tapılmasından ibarətdir: ehtiyatların orta səviyyəsi (Sav) və tələblərin itmə ehtimalı (Pl) və ehtiyatların artırılması üçün göndərilmiş sifarişlərin orta intensivliyi (RR).

Məsələnin həlli

Öyrənilən sistemin Markov modeli işlənmiş və onun vəziyyətlərinin stasionar ehtimallarını hesablamaq üçün balans tənlikləri sisteminə əsaslanan dəqiq üsul yaradılmışdır. Puason/exponensial modelə baxdığımız üçün zamanın istənilən anında sistemin vəziyyəti iki ölçülü (n, m) vektoru ilə verilə bilər, burada n parametri sistemdəki c-müştərilərinin sayını, m isə anbardakı ehtiyatların səviyyəsini göstərir. Başqa sözlə, sistemin vəziyyətlər fəzası E aşağıdakı Dekart hasil şəklində göstərilə bilər:

$$E = \{0,1, \dots, R\} \times \{0,1, \dots, S\} \quad (1)$$

Sistemdə qəbul olunmuş fəaliyyət mexanizmlərinə əsasən vəziyyətlər arasındakı keçidlərin intensivlikləri aşağıdakı münasibətlərdən tapılır:

$$q\big((n_1, m_1), (n_2, m_2)\big) = \begin{cases} \lambda^+\varphi_1, & m_2 = m_1 = 0, & n_2 = n_1 + 1, \\ \lambda^+, & m_2 = m_1 > 0, & n_2 = n_1 + 1, \\ \lambda^- & m_2 = m_1, & n_2 = n_1 - 1, \\ \mu, & m_2 = m_1 - 1, & n_2 = n_1 - 1, \\ æ, & m_1 > 0, m_2 = 0, & n_2 = n_1, \\ \upsilon, & m_1 \le s, m_2 = m_1 + S - s, & n_2 = n_1. \end{cases} \quad (2)$$

Beləliklə, baxılan sistemin riyazi modeli vəziyyətlər fəzası E, generatoru isə (2) bərabərliklərindən tapılan iki ölçülü fasiləsiz zamanlı Markov zənciridir (2D CTMC). (2) münasibətlərinə əsasən belə nəticəyə gəlirik ki. bu zəncirin bütün vəziyyətləri bir-biri ilə əlaqəlidirlər. Başqa sözlə, bu zəncirdə stasionar rejim vardır. Stasionar rejimdə (n, m) vəziyyətinin stasionar ehtimalını $p(n, m)$ ilə işaarə edək. Bu ehtimallar qlobal balans tənliklərini (QBT) ödəyirlər. (2) münasibətləri əsasında QBT aşağıdakı kimi tapılır:

$m = 0$ olduqda

$$p(n,0)(\lambda^{+}\varphi_1 I(n < R) + \lambda^{-} I(n > 0) + \upsilon) = \\ = \lambda^{+}\varphi_1 p(n-1,0) I(n > 0) + \lambda^{-} p(n+1,0) I(n < R) + \\ + \mu\, p(n+1,1) I(n < R) + æ \sum_{m=1}^{S} p(n,m); \quad (3)$$

$0 < m \le s$ olduqda

$$p(n,m)(\lambda^{+} I(n < R) + \lambda^{-} I(n > 0) + \mu I(n > 0) + æ + \upsilon) = \\ = \lambda^{+} p(n-1,m) I(n > 0) + \lambda^{-} p(n+1,m) I(n < R) + \\ + \mu p(n+1,m+1) I(n < R); \quad (4)$$

$s + 1 \le m \le S$ olduqda

$$p(n,m)(\lambda^{+} I(n < R) + \lambda^{-} I(n > 0) + \mu I(n > 0) + æ) = \\ = \lambda^{+} p(n-1,m) I(n > 0) + \lambda^{-} p(n+1,m) I(n < R) + \\ + \mu p(n+1,m+1) I(n < R) I(m < S) + \upsilon p(n, m-Q)); \quad (5)$$

Burada $I(A)$ ilə A hadisəsinin indikator funksiyası işarə olunur.

$$\text{İ}(A) = f(x) = \begin{cases} 1 \text{ əgər} & A \text{ baş } verdikdə, \\ 0 & \text{əks } halda\ ; \end{cases}$$

Bu tənliklər sisteminə normallaşdırıcı şərti əlavə edirik:

$$\sum_{(n,m)\in E} p(n,m) = 1 \quad (6)$$

Qurulmuş (3)-(6) tənlikləri ölçüsü $(R+1) \times (S+1)$ olan xətti cəbri tənliklər sistemidir. Bu sistemin həlli üçün məlum proqram vasitələridən istifadə etmək olar.

Sistemin əsas xaraktristikaları stasionar ehtimallardan istifadə edilərək belə tapılır:

- Ehtiyatların orta səviyyəsi Sav:

$$S_{av} = \sum_{m=1}^{S} \sum_{n=0}^{R} m(p(n,m)$$

- Tələblərin itmə ehtimalı Pl:

$$P_l = \sum_{m=0}^{S} p(R,m)$$

- Ehtiyatların artırılması üçün göndərilmiş sifarişlərin orta intensivliyi RR:

$$RR = (\mu + æ) \sum_{n=0}^{R} p(n, s+1)$$

Nəticə

Fəlakətlər baş verdikdə ehtiyatları dərhal məhv olan və neqativ müştəriləri olan kütləvi xidmət-ehtiyatlama sistemlərinin modeli hazırlanmışdır. Ehtiyatların artırılması üçün (s, Q) doldurulma qaydasından istifadə olunur.Tədqiq olunan sistemin riyazi modeli iki ölçülü fasiləsiz zamanlı Markov zənciridir. Qurulan Markov zəncirinin vəziyyətlərinin stasionar ehtimallarını hesablamaq üçün balans tənliklərindən istifadə olunmuşdur və tapılmış düsturlar əsasında araşdırılan KXES-in əsas xaraktristikaları müəyyən edilmişdir.

ƏDƏBIYYAT

[1] S. R. Chakravarthy, "A catastrophic queueing model with delayed action," Applied Mathematical Modelling, 2017, Vol. 46, pp. 631–649.

[2] D. Kumar and B. G. Singh, "Transient solution of a two homogeneous servers Markovian queueing system with environmental, catastrophic and restoration effects," International Journal of Mathematics & Statistics Studies, 2024, Vol. 12, pp. 45–53.

[3] M. Demircioglu, H. Bruneel, and S. Wittevrongel, "Analysis of a discrete-time queueing model with disasters," Mathematics, 2021, Vol. 9, Article 3283.

[4] M. Agassi, P. Laman, and S. Janos, "Queuing-inventory system with catastrophes in the warehouse: case of rare catastrophes," Mathematics, 2024, Vol. 12, No. 6, Article 906.

[5] M. Agassi, P. Laman, and S. Ozkar, "Performance analysis of queuing-inventory system with catastrophes under (s, Q) policy," Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technologies and Their Applications (ITTA 2024), 2024, Vol. 2225.



İNFORMASİYA TEXNOLOGİYALARI, Aİ (SÜNİ İNTELLEKT) VƏ KİBERTƏHLÜKƏSİZLİK ELMLƏRİ

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DIGITAL MARKETING

ILYAS MAGZHANOV
IT in management (MSc),Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
imagzhanov@std.beu.edu.az

Abstract: With the development of digital tools, particularly analytical systems that track and interpret user behaviour across various platforms, data-driven digital marketing decision-making has become a key element of strategic business management. Issues related to the integration of disparate data from various sources and the complexity of analysing it are becoming increasingly relevant for marketers seeking to improve the accuracy of forecasts and the effectiveness of advertising campaigns. This article discusses the integration of data from different channel sources, as well as the application of artificial intelligence to identify the best strategy and make decisions in digital marketing based on the data obtained.
Keywords*: artificial intelligence, digital marketing, analytics integration, data analysis*

INTRODUCTION

The automation of analytics in digital marketing, in turn, enables the integration of various channels and platforms, creating a unified system for obtaining comprehensive data on consumer preferences and behaviour. Artificial intelligence, meanwhile, helps to automate the processes of data collection, cleansing and processing, whilst also offering methods for more in-depth analysis and providing recommendations for marketers. As a result, companies are able not only to analyse data effectively, but also to adapt their marketing strategies in a timely manner, enhancing their personalisation and accuracy.

GENERAL FEATURES OF DIGITAL MARKETING

Digital marketing is a set of methods, tools and strategies for promoting products, services and brands using digital technologies and communication channels. It is based on the use of internet platforms, mobile devices, software solutions and analytics systems (Google Analytics, Yandex Metrica) to engage with the target audience at every stage of the customer journey — from raising awareness to making a purchase decision and subsequent loyalty.

Introduces the opportunities and challenges of digital marketing and explains the different types of digital marketing platforms and media channels available to engage audiences online. It also introduces a planning framework that can be used to structure digital marketing strategies and campaigns [1].

The integration of analytics from various sources with artificial intelligence is revolutionising digital marketing and advertising processes. These technologies will enable marketing decisions to be made more effectively, quickly and accurately.

PROBLEMS AT THE EARLY STAGE OF DATA ANALYSIS IN DIGITAL MARKETING

In the early stages of digital analytics, marketers face a number of significant challenges that limit the effectiveness of decision-making.

Firstly, one of the key challenges is the fragmentation of data across different analytical systems. Digital channels are emerging as preferred communication alternatives to their traditional counterpart for consumers across product categories [2]. Platforms such as Yandex Metrica (fig. 1) and Google Analytics (fig. 2) use different approaches to collecting, processing, communicating and interpreting information. As a result, the same metrics may differ, which undermines confidence in the data and makes it difficult to compare.

Secondly, there is a lack of user-friendliness when working with multiple systems simultaneously. Marketers have to switch between interfaces and use different metrics and attribution models, which increases the time required and raises the likelihood of errors in analysis.

Thirdly, a significant problem is the lack of a complete picture of the customer journey. Analytics systems most often record individual user actions, such as clicks, page views or button presses, but do not provide a comprehensive view of the user's interaction with the brand at all stages — from initial contact to the point of purchase.

Furthermore, there is the issue of data fragmentation: information is collected through separate channels (websites, social media, advertising platforms) but is not consolidated into a single structure. As a result, marketers gain only a partial understanding of audience behaviour, which limits their ability to make accurate predictions and personalise content.

Thus, at the initial stage of digital analytics, the key barriers are the fragmentation of data sources, differences in processing methodologies, and the lack of a unified system that allows one to see the full user journey and make informed strategic decisions.

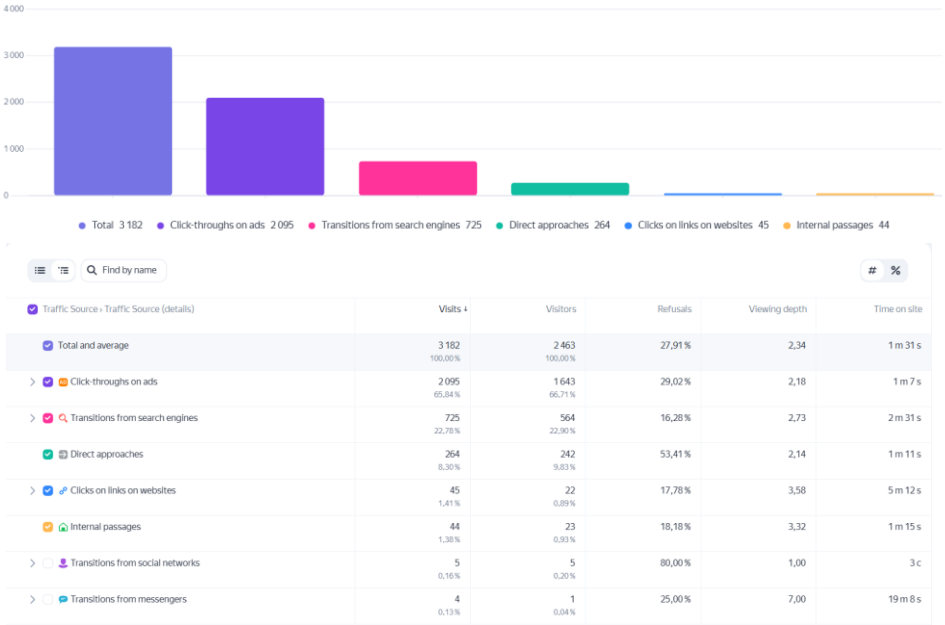


Fig. 1. Yandex metrika (Sources, Summary)

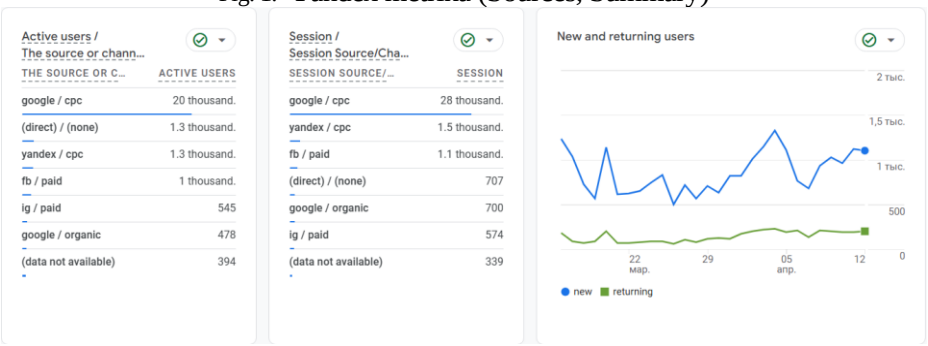


Fig. 2. Google analytics

Consolidating analytics into a single system in digital marketing offers the following benefits:

1. Integration: A holistic view of data provides a unified picture of user behaviour by combining information from various sources and channels (fig. 3).

2. Time savings: There is no longer any need to work with multiple analytics platforms or manually compare data.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN A UNIFIED ANALYTICS SYSTEM

Given the fragmentation of data and differences between analytical platforms, the key solution is to create a unified analytics system that consolidates data from various sources, such as Google Analytics, Yandex Metrica and other digital channels. In such a system, artificial intelligence acts as the central element for processing, analysing and interpreting information.

The application of artificial intelligence within a unified analytics environment enables a number of critical tasks to be addressed:

1. Data consolidation is ensured. AI brings together information from various sources, resolving discrepancies between metrics and providing a unified view of performance indicators. This enables the generation of reliable and comparable analytics.

2. A comprehensive understanding of the customer journey is achieved. By combining data from various channels (websites, advertising, social media), AI is able to build a comprehensive model of user behaviour—from the first interaction through to the completion of the desired action.

3. Intelligent data processing is implemented. Artificial intelligence automatically cleans the data of noise, duplicates and incorrect information, thereby improving its quality and suitability for analysis.

4. AI provides forecasts and recommendations. The machine learning algorithm is supplied with large amounts of historical data, and it uses this data to create a propensity model that is able to make accurate predictions about the real world [1].

Furthermore, an important advantage is the automation of decision-making. Instead of manually analysing large volumes of data, marketers receive ready-made insights and recommendations, which significantly reduces response times and improves efficiency.



Fig. 3. User Interface of unified analytics

Fig. 4.

CONCLUSION AND PROSPECTS

Consequently, the creation of a unified analytics system that brings together data from various digital sources is an essential step in the development of modern digital marketing. Using disparate platforms, such as Google Analytics and Yandex Metrica, without consolidating them limits the scope for comprehensive analysis and prevents a holistic understanding of user behaviour.

Integrating data into a single analytics environment, combined with the use of artificial intelligence, allows these limitations to be overcome. Artificial intelligence automates the processes of processing, cleaning and analysing information, and also helps to identify hidden patterns and generate informed recommendations.

As a result of implementing such a system, companies gain access to more accurate, comprehensive and structured information, which significantly improves the quality of management decisions. Furthermore, it becomes possible to build a detailed customer journey model, increase the level of personalisation and rapidly adapt marketing strategies in a rapidly changing digital environment.

REFERENCES

[1] Chaffey, D. and Ellis-Chadwick, F. (2012). Digital Marketing: Strategy, Implementation and Practice. 1st ed. Harlow: Pearson Education.

[2] Dahiya R., "A Research Paper on Digital Marketing Communication and Consumer Buying Decision Process: An Empirical Study in the Indian Passenger Car Market", Journal of Global Marketing 31(2):1-23, September 2017.

SCADA VƏ ICS MÜHITLƏRINDƏ RISKLƏRIN QIYMƏTLƏNDIRILMƏSI VƏ PRIORITETLƏŞDIRILMƏSI
RISK ASSESSMENT AND PRIORITIZATION IN SCADA AND ICS ENVIRONMENTS

TAHIRZADƏ GÜNAY NIZAMI QIZI
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası
gmemmedova20@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

MƏMMƏDZADƏ NƏCƏF NƏVAI OĞLU
MAMMADZADA NAJAF NAVAI
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası
namammadzade@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ

SCADA və Sənaye Nəzarət Sistemləri (ICS) enerji infrastrukturunun onurğa sütununu təşkil edir. Köhnəlmiş avadanlıqlar və standartlaşdırılmamış protokollar bu sistemləri müasir kiber təhdidlərə qarşı zəif edir. Bu məqalə SCADA/ICS mühitlərində zəifliklərin aşkarlanması, risklərin kəmiyyət və keyfiyyət baxımından qiymətləndirilməsi və təsir ehtimalına görə prioritetləşdirilməsi metodologiyalarını tədqiq edir. Ənənəvi IT risk idarəetməsindən fərqli olaraq, ICS mühitlərində məxfiliyin əvəzinə əlçatanlıq və bütövlük üstünlük təşkil edir. Tədqiqat göstərir ki, risklərin prioritetləşdirilməsində CVSS bazasının ICS üçün xüsusi olaraq adaptasiya edilməsi vacibdir. Nəticədə, məqalə sənaye tələblərinə uyğunlaşdırılmış, praktiki və fəaliyyətə yönəlmiş risk idarəetmə çərçivəsini təqdim edir, bununla da kritik kəsintilərin qarşısının alınmasına dəstək verir.

Abstract. SCADA and Industrial Control Systems (ICS) form the backbone of energy infrastructure. Legacy equipment and non-standardized protocols leave these systems vulnerable to modern cyber threats. This article investigates methodologies for identifying vulnerabilities, conducting quantitative and qualitative risk assessments, and prioritizing risks based on probability and impact in SCADA/ICS environments. Unlike traditional IT risk management, ICS prioritizes availability and integrity over confidentiality. The research demonstrates the necessity of adapting standard scoring systems like CVSS specifically for ICS parameters. Ultimately, the paper presents a practical, actionable risk management framework tailored to industrial requirements, thereby supporting the prevention of critical operational disruptions and ensuring grid stability.

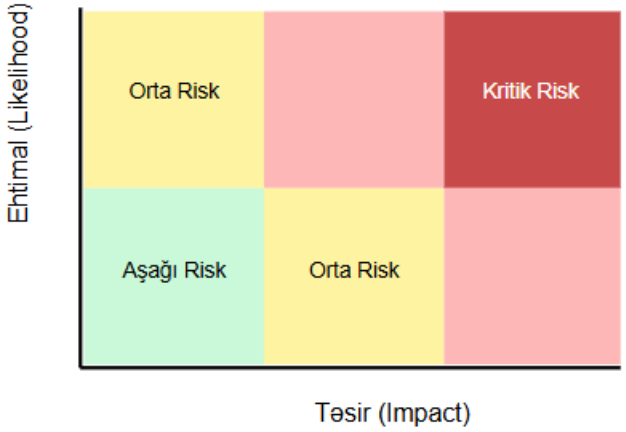
AÇAR SÖZLƏR: SCADA, ICS Təhlükəsizliyi, Risk Qiymətləndirilməsi, CVSS, Prioritetləşdirmə.
Keywords: SCADA, ICS Security, Risk Assessment, CVSS, Prioritization.

GIRIŞ

SCADA (Nəzarətçi İdarəetmə və Məlumat Toplama) sistemləri enerji istehsalı və paylanmasının monitorinqi və idarə edilməsi üçün kritikdir. Tarixən bu sistemlər təcrid olunmuş vəziyyətdə fəaliyyət göstərsə də, səmərəlilik tələbləri onların korporativ şəbəkələrlə əlaqələndirilməsinə səbəb olmuşdur. Bu inteqrasiya nəticəsində SCADA mühitləri yüksək risk altına düşür. Bu mühitlərdə riskin qiymətləndirilməsi xüsusi həssaslıq tələb edir, çünki sistemlərin fasiləsiz işləməsi (Availability) həyati vacibdir və ənənəvi təhlükəsizlik alətləri (məsələn, aktiv şəbəkə skanlaması) avadanlığın işini poza bilər [1].

ZƏIFLIKLƏRIN AŞKARLANMASI VƏ ANALIZI

ICS mühitlərində zəifliklərin müəyyən edilməsi passiv monitorinq vasitələrindən istifadəni tələb edir. Risklərin prioritetləşdirilməsi üçün Common Vulnerability Scoring System (CVSS) çox vaxt istifadə olunsa da, bu sistem IT mərkəzli olduğu üçün ICS-in fiziki təsir potensialını tam əks etdirmir. Buna görə də sənaye mütəxəssisləri CVSS-in komponentlərinə fiziki zərər, proseslərin dayanması və təhlükəsizlik (Safety) amillərini daxil edərək onu modifikasiya edirlər [2, 3].



Şəkil 1. SCADA/ICS Risklərinin Qiymətləndirilməsi Matrisi.
Mənbə / Source: NERC CIP rəhbərliklərinə əsaslanaraq tərtib edilmişdir (Compiled based on NERC CIP guidelines).

PRIORITETLƏŞDIRMƏ METODOLOGIYASI

Məhdud resurslar şəraitində bütün zəifliklər eyni anda aradan qaldırmaq qeyri-mümkündür. Prioritetləşdirmə mexanizmi prosesin kritikliyini, sistemin məruz qalma dərəcəsini və hücum ehtimalını qiymətləndirir. Kritik qovşaqlar, yəni kompromis olunduğu təqdirdə cəmiyyətə və ya avadanlıqlara dərhal zərər vura biləcək elementlər ilk olaraq qorunmalıdır. Patching (yamaq tətbiqi) ICS sistemlərində tez-tez gecikir; bu səbəbdən virtual yamaqlar və şəbəkə seqmentasiyası ön plana çıxır [4].

Cədvəl 1. İT və OT Risk İdarəetməsinin Fərqləri
Table 1. Differences Between IT and OT Risk Management

Xüsusiyyət (Feature)	**IT Mühiti (IT Environment)**	**OT / ICS Mühiti (OT / ICS Environment)**
Əsas Prioritet	Məxfilik (Confidentiality)	Əlçatanlıq və Təhlükəsizlik (Availability, Safety)
Həyat Dövrü	3-5 il	15-20+ il
Patching (Yamaq)	Müntəzəm, Avtomatik	Çətin, Yalnız planlı dayandırmalarda

Mənbə / Source: CISA OT Security Guidance (Müəllif tərəfindən ümumiləşdirilmişdir).

NƏTİCƏ

SCADA və ICS mühitlərində risklərin idarə olunması xüsusi uyğunlaşdırılmış yanaşma tələb edir. Klassik IT alətlərinin tətbiqi sistemlərin çökməsinə səbəb ola biləcəyi üçün, passiv analitika və sənaye miqyaslı risk matrisləri istifadə olunmalıdır. Zəifliklərin potensial fiziki təsirlərə görə prioritetləşdirilməsi, məhdud təhlükəsizlik resurslarının ən səmərəli şəkildə istifadəsini və kritik xidmətlərin davamlılığını təmin edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. CISA. (2022). *Securing Industrial Control Systems: A Unified Initiative*. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency.
2. NERC. (2023). *Critical Infrastructure Protection (CIP) Reliability Standards*. North American Electric Reliability Corporation.
3. Stouffer, K., et al. (2023). NIST SP 800-82 Rev. 3: Guide to Operational Technology (OT) Security.
4. Knapp, E. D., & Langill, J. T. (2014). Industrial Network Security: Securing Critical Infrastructure Networks for Smart Grid, SCADA, and Other Industrial Control Systems. Syngress.

KİBERTƏHLÜKƏSİZLİYİN GƏLƏCƏYİ: CƏMİYYƏT(SOCIETY 5.0) 5.0 DÖVRÜNDƏ 2026-2030 TEXNOLOJİ PROQNOZU
THE FUTURE OF CYBERSECURITY: TECHNOLOGICAL FORECAST 2026-2030 IN SOCIETY 5.0 ERA

CABIR MƏMMƏDOV
JABIR MAMMADOV
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası
camammadov@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

NƏCƏF MƏMMƏDZADƏ
NAJAF MAMMADZADA
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası
namammadzade@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ

Cəmiyyət 5.0 fiziki və virtual məkanların qüsursuz inteqrasiyasının həyata keçirildiyi super-ağıllı cəmiyyətə çevrildikçə, kibertəhlükəsizlik sahəsi köklü dəyişikliklərə məruz qalacaq. Bu məqalə 2026-2030-cu illər üçün texnoloji proqnoz təqdim edir; Süni İntellektin (Sİ), Kvant Hesablamasının və muxtar sistemlərin konvergensiyasını təhlil edir. Sİ-nin proqnozlaşdırıcı analitikadan özünü bərpa edə bilən tam muxtar Təhlükəsizlik Əməliyyat Mərkəzlərinə (TƏM) necə inkişaf edəcəyi araşdırılır. Kvant hesablamasının mövcud kriptoqrafik standartlara ciddi təhdidi və Kvantdan Sonrakı Kriptoqrafiya (KSK) tətbiqi üzrə yol xəritəsi nəzərdən keçirilir. Bundan əlavə, mərkəzsizləşdirilmiş kənar hesablama və 6G şəbəkələrinin qorunması üçün vacib olan davamlı, adaptiv, şəxsiyyət-mərkəzli çərçivəyə Sıfır Etibarın evolyusiyası araşdırılır. Texnoloji trayektoriyaları müəyyən etməklə bu tədqiqat gələn onilliyin mürəkkəb təhdidlərə tab gətirə bilən elastik təhlükəsizlik arxitekturalarının qurulması üçün strateji məlumat təqdim edir.

ABSTRACT. As Society 5.0 matures into a super-smart society where physical and virtual spaces are seamlessly integrated, the cybersecurity landscape is poised for radical transformation. This paper presents a technological forecast for the period 2026-2030, analyzing the convergence of Artificial Intelligence (AI), Quantum Computing, and autonomous systems. We explore how AI will evolve from predictive analytics to fully autonomous security operations centers (SOCs) capable of self-healing. The imminent threat of quantum computing to current cryptographic standards is examined, alongside the roadmap for post-quantum cryptography (PQC) adoption. Furthermore, we investigate the evolution of Zero Trust into a continuous, adaptive, and identity-centric framework essential for securing decentralized edge computing and 6G networks. By mapping these technological trajectories, this study provides strategic insights for organizations to build resilient security architectures capable of withstanding the sophisticated threats of the next decade.

AÇAR SÖZLƏR

Kibertəhlükəsizliyin Gələcəyi, Texnoloji Proqnoz, Sİ Təhlükəsizliyi, Kvant Kriptoqrafiyası, Cəmiyyət 5.0, Sıfır Etibarın Evolyusiyası, Muxtar Təhlükəsizlik.

Keywords: Cybersecurity Future, Technology Forecast, AI Security, Quantum Cryptography, Society 5.0, Zero Trust Evolution, Autonomous Security.

GIRIŞ

Cəmiyyət 5.0 dövrü kibermüstəvinin və fiziki məkanın Sİ, IoT və böyük verilənlər tərəfindən idarə olunan dərin inteqrasiyası ilə xarakterizə olunur. 2030-cu ilə qədər bu inteqrasiya görünməmiş səviyyəyə çatacaq — rəqəmsal təhlükəsizliyin fiziki təhlükəsizliklə eyniləşdirildiyi hiper-bağlantılı ekosistem yaradacaq. Texnoloji mühit sürətlənməkdədir; kvant hesablaması və muxtar sistemlər sahəsindəki yeniliklər həm yeni

imkanlar, həm də mövcudiyyəti təhdid edən risklər yaradır. Ənənəvi reaktiv təhlükəsizlik modelləri köhnəlir, bu da proqnozlaşdırıcı və muxtar müdafiə mexanizmlərinə keçidi zəruri edir [1].

Bu məqalə 2026-2030-cu illər arasında kibertəhlükəsizliyi müəyyən edəcək əsas texnoloji meylləri proqnozlaşdırır. İnsan rəhbərliyindən Sİ idarəçiliyinə keçid, kvanta davamlı şifrələmənin kritik zəruriliyi və mərkəzsizləşdirilmiş, kənar-yönümlü tətbiqləri dəstəkləmək üçün təhlükəsizlik arxitekturalarının inkişafı araşdırılır. Bu meylləri təhlil etməklə maraqlı tərəflərə gələcəyin mürəkkəb kibertəhlükəsizlik problemlərini həll etmək üçün yol xəritəsi təqdim etmək məqsəd güdülür.

CARİ VƏZİYYƏTİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ (2024-2025)

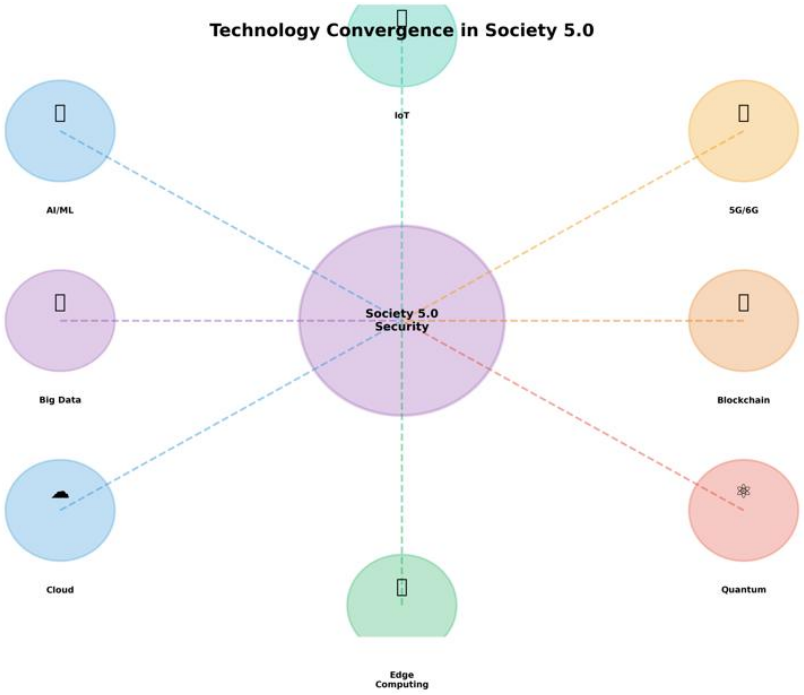
Hazırda sənaye keçid mərhələsindədir. Sİ və maşın öyrənməsi təhdidlərin aşkarlanması üçün geniş istifadə edilsə də, cavab tədbirləri hələ əsasən insan müdaxiləsinə əsaslanır. Sıfır Etibar tətbiqi artmaqdadır, lakin çox vaxt hər yerdə mövcud olmaqdan əvvəl yalnız müəyyən perimetrlərlə məhdudlaşır. Təhdid mənzərəsi fidyə proqramları, təchizat zəncirinə hücumlar və Sİ-gücləndirilmiş zərərli proqramın ilkin mərhələlərindən ibarətdir. Təşkilatlar ixtisas çatışmazlığı və çox bulud mühitlərinin idarəsinin mürəkkəbliyi ilə mübarizə aparır. Bu başlanğıc nöqtəsi onilliyin ikinci yarısında gözlənilən sürətli inkişafa zəmin hazırlayır

PRIORITETLƏŞDIRMƏ METODOLOGIYASI

Məhdud resurslar şəraitində bütün zəifliklər eyni anda aradan qaldırmaq qeyri-mümkündür. Prioritetləşdirmə mexanizmi prosesin kritikliyini, sistemin məruz qalma dərəcəsini və hücum ehtimalını qiymətləndirir. Kritik qovşaqlar, yəni kompromis olunduğu təqdirdə cəmiyyətə və ya avadanlıqlara dərhal zərər vura biləcək elementlər ilk olaraq qorunmalıdır. Patching (yamaq tətbiqi) ICS sistemlərində tez-tez gecikir; bu səbəbdən virtual yamaqlar və şəbəkə seqmentasiyası ön plana çıxır [4].

TƏHLÜKƏSİZLİKDƏ SÜNİ İNTELLEKT VƏ MAŞİN ÖYRƏNMƏSİ

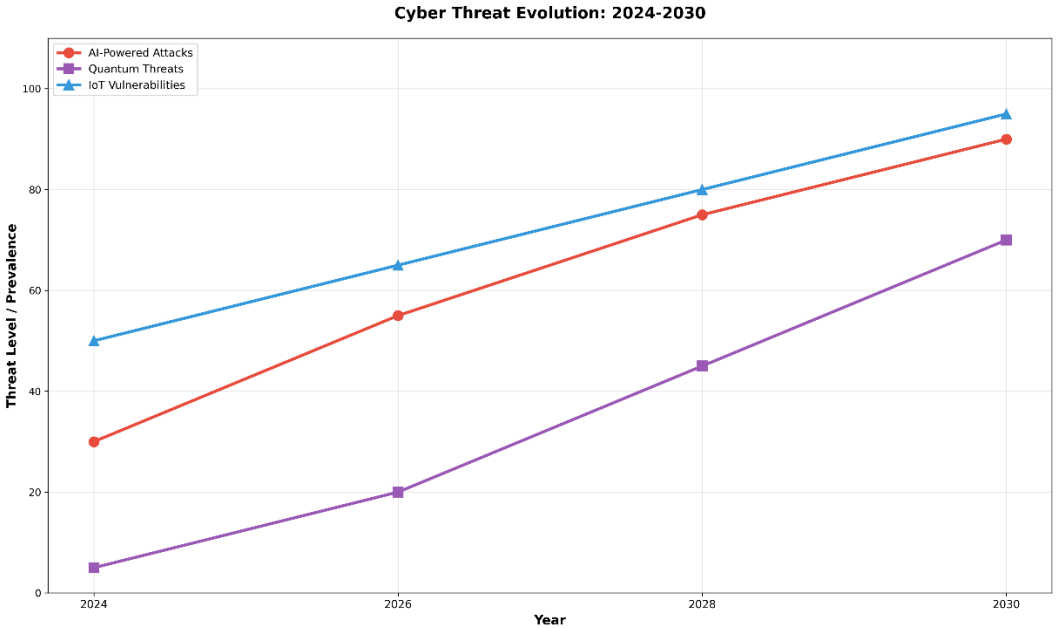
2026-cı ilə qədər kibertəhlükəsizlikdə Sİ dəstəkçi vasitədən muxtar qərar qəbul edənə çevriləcək. "Özüidarəli" Təhlükəsizlik Əməliyyat Mərkəzləri (TƏM) gerçəkləşəcək; maşın sürətiylə təhdidləri aşkarlayacaq, araşdıracaq və aradan qaldıracaq. Generativ Sİ-dən güc alan proqnozlaşdırıcı təhdid kəşfiyyatı qlobal məlumat nümunələrini təhlil edərək hücumları baş verməzdən əvvəl müəyyən edəcək (şək. 1). Lakin bu, həm də hücumçuların zəiflik kəşfiyyatını avtomatlaşdırmaq və yüksək texnoloji fişinq kampaniyaları hazırlamaq üçün oxşar texnologiyalardan istifadə etdiyi "Sİ silahlanma yarışını" nəzərdə tutur [2].



Şək. 1. *Texnologiya Konvergensiya Diaqramı. Bu vizuallaşdırma, Sİ, Kvant Hesablaması və Kənar/IoT kimi texnologiyaların Cəmiyyət 5.0 üçün vahid, ağıllı təhlükəsizlik ekosistemi yaratmaq məqsədilə necə bir-birinə qovuşduğunu əks etdirir.*
Mənbə: Müəlliflər tərəfindən hazırlanmışdır

KVANT HESABLAMA TƏHDİDLƏRİ VƏ KVANTDAN SONRAKI KRİPTOQRAFİYA

Praktik kvant kompüterlərinin meydana çıxması mövcud açıq açar kriptoqrafiyasına (məsələn, rsa, ecc) fəlakətli təhdid yaradır. 2030-cu ilə qədər kriptoqrafik cəhətdən əhəmiyyətli kvant kompüterləri (kəkk) bu standartları sındırmağa qadir ola bilər (şək. 2). 2026-2030-cu illər, kvantdan sonrakı kriptoqrafiyaya (ksk) miqrasiya üçün kritik dövrü təmsil edir. Təşkilatlar kriptoqrafik aktivlərini inventarlaşdırmalı və "indi topla, sonra şifrəni aç" hücumlarına qarşı məlumatları qorumaq məqsədilə nıst tərəfindən təsdiqlənmiş ksk alqoritmlərini tətbiq etməyə başlamalıdır [3].



Şək. 2. *Təhdid Mənzərəsinin Evolyusiyası (2024-2030). Xətt qrafiki, ənənəvi zərərli proqramla müqayisədə Sİ-idarəli hücumların və kvant təhdidlərinin artan yayılmasını proqnozlaşdırır, kibermüdafiənin dəyişən fokusunu vurğulayır.*

Mənbə: Müəlliflər tərəfindən hazırlanmışdır

SIFIR ETİBAR ARXİTEKTURASININ EVOLYUSİYASI

Sıfır etibar şəbəkə təhlükəsizliyi konsepsiyasından bütöv, məlumat-mərkəzli çərçivəyə inkişaf edəcək. 2028-ci ilə qədər "davamlı adaptiv etibar" norma olacaq — etibar balları istifadəçi davranışına, cihaz sağlamlığına və kontekstual məlumatlara əsasən real vaxt rejimində yenidən hesablanacaq. Bu inkişaf məlumat və tətbiqlərin ənənəvi məlumat mərkəzlərindən uzaqda, kənar hissədə yerləşdiyi cəmiyyət 5.0-ın mərkəzsizləşdirilmiş infrastrukturunun qorunması üçün vacibdir (cədvəl 1) [4].

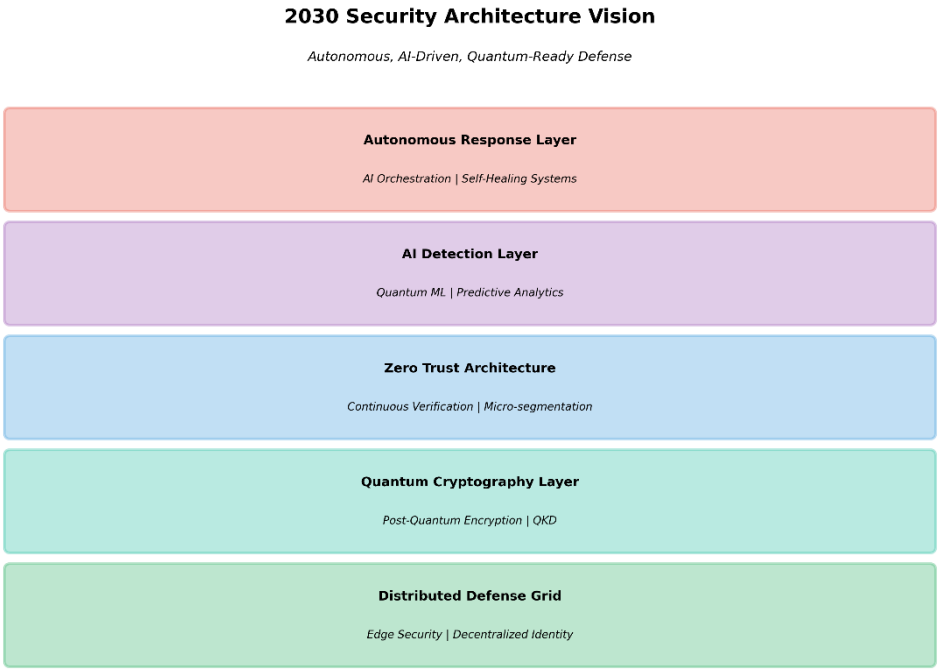
Cədvəl 1. Texnologiya Yetkinlik Cədvəli 2026-2030

Texnologiya Sahəsi	2026-cı il Statusu	2028-ci il Statusu	2030-cu il Proqnozu
Sİ Təhlükəsizliyi	Əlavələnmiş İntellekt	Yarım-Muxtar TƏM	Tam Muxtar Müdafiə
Kriptoqrafiya	KSK Standartları Tamamlandı	Hibrid Tətbiqlər	KSK Məcburi İcra
Sıfır Etibar	Şəxsiyyət-Mərkəzli	Kontekst-Məlumatlı	Davamlı Adaptiv Etibar
Kənar Təhlükəsizlik	Konteyner Təhlükəsizliyi	SASE (Təhlükəsiz Giriş)	Mərkəzsiz Şəbəkə Müdafiəsi

2026-2030 TEXNOLOJİ YOL XƏRİTƏSİ

2030-cu ilə yol xəritəsi üç əsas sütunda strateji investisiyaları nəzərdə tutur: avtomatlaşdırma, çeviklik və dayanıqlılıq. Təşkilatlar proqram təminatının çatdırılma sürətiylə ayaqlaşmaq məqsədilə devops boru kəmərinə (devsecops) təhlükəsizliyin inteqrasiyasını prioritetləşdirməlidir. Bundan əlavə, "kiber-fiziki

sistem" (kfs) təhlükəsizlik standartlarının inkişafı ağıllı şəhərlərin fiziki infrastrukturunu qorumaq baxımından həlledici əhəmiyyət kəsb edəcək (şək. 3) [5].



Şək. 3. *2030 Təhlükəsizlik Arxitekturasının Baxışı. Muxtar Cavab Təbəqələrini, Sİ Aşkarlama Şəbəkələrini və Kvant- Etibarlı Rabitə Kanallarını özündə birləşdirən gələcəkdə davamlı təhlükəsizlik arxitekturasının konseptual modeli.*
Mənbə: Müəlliflər tərəfindən hazırlanmışdır

NƏTİCƏ

Cəmiyyət 5.0 dövründə kibertəhlükəsizliyin gələcəyi muxtariyyət, intellekt və kvanta davamlılığın konvergensiyası ilə müəyyən ediləcək. 2026-2030-cu illər arasındakı dövr, təşkilatların öz təhlükəsizlik mövqelərini transformasiya etməsi üçün kritik pəncərəni təmsil edir. Sİ-idarəli əməliyyatları mənimsəməklə, kvantdan sonrakı kriptoqrafiyaya miqrasiya etməklə və adaptiv Sıfır Etibar modellərini tətbiq etməklə cəmiyyət, inherent riskləri minimuma endirərkən super-ağıllı inqilabın üstünlüklərini güvən altına ala bilər.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

CISA. (2022). *Securing Industrial Control Systems: A Unified Initiative*. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency.
Cabinet Office, Yaponiya Hökuməti: Cəmiyyət 5.0. 2023.
Gartner: Yüksələn Texnologiyaların Təsiri Radari: Təhlükəsizlik. 2023.
NIST: Kvantdan Sonrakı Kriptoqrafiya Standartlaşdırması. 2023.
Forrester: Sıfır Etibarın Gələcəyi. 2023.
IEEE: Kiber-Fiziki Sistemlər üçün Kibertəhlükəsizlik. 2024.
Dünya İqtisadi Forumu: Qlobal Kibertəhlükəsizlik Perspektivi 2023.
MIT Technology Review: Kibertəhlükəsizlikdə Sİ Silahlanma Yarışı. 2023.
Bulud Təhlükəsizliyi Alyansı: Bulud Hesablamalarına Əsas Təhdidlər. 2023.
ENISA: Maliyyə Sektoru üçün Kvant Təhlükəsizliyi. 2023.
ISO/IEC: Süni İntellekt Anlayışları və Terminologiyası. 2023.
SANS İnstitutu: ICS/OT Kibertəhlükəsizliyinin Vəziyyəti. 2023.

VEB TƏTBIQLƏRININ VƏ API-LƏRIN QORUNMASI (WAAP): CƏMIYYƏT 5.0 (SOCIETY 5.0) ÜÇÜN ƏSAS KIBERTƏHLÜKƏSIZLIK TEXNOLOGIYALARI
WEB APPLICATION AND API PROTECTION (WAAP): CORE TECHNOLOGIES FOR SOCIETY 5.0 CYBERSECURITY INFRASTRUCTURE

MƏMMƏDZADƏ NƏCƏF NƏVAI OĞLU
MAMMADZADA NAJAF NAVAI
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası
namammadzade@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ

Cəmiyyət 5.0 kiber məkan və fiziki məkanı inteqrasiya edən super-ağıllı cəmiyyəti hədəflədiyi üçün rəqəmsal interfeyslərin təhlükəsizliyi ən vacib məsələyə çevrilir. Bu məqalə bu yeni dövrü müəyyən edən kiber fiziki sistemləri, Əşyaların İnterneti (IoT) cihazlarını və Süni İntellekt (Sİ) inteqrasiyalarını qorumaq üçün kritik infrastruktur kimi Veb Tətbiqi və API Qorunması (WAAP) texnologiyalarını araşdırır. Rəqəmsal xidmətlərin yayılması hücum səthini əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirir və ənənəvi perimetrlərdən kənarda qabaqcıl müdafiə mexanizmlərini zəruri edir. Biz müasir WAAP həllərinin Virtual Maşın/Virtual Yama (VM), Yeni Nəsil Firewall (NGFW), Anti-DDoS tədbirləri və mürəkkəb hadisə toplama mexanizmlərindən ibarət laylı müdafiə strategiyası vasitəsilə veb tətbiqlərini və API-ləri necə qoruduğunu təhlil edirik. Bundan əlavə, adaptiv təhlükəsizlik duruşu yaratmaq üçün Təhdid Kəşfiyyatı (TI), Təhlükəsizlik İnformasiyası və Hadisələrin İdarə Edilmesi (SIEM) və Təhlükəsizlik Orkestrləşdirməsi, Avtomatlaşdırma və Reaksiya (SOAR) kimi cavab sistemlərinin inteqrasiyasını araşdırırıq. Nəhayət, bu tədqiqat WAAP texnologiyalarının 2026-cı ilə doğru təkamülünü proqnozlaşdırır, Cəmiyyət 5.0-ın insan mərkəzli rəqəmsal ekosisteminin təhlükəsizliyində Sİ əsaslı təhdid aşkarlanması və Sıfır Güvən (Zero Trust) arxitekturalarının rolunu vurğulayır.

Abstract. As Society 5.0 envisions a super-smart society integrating cyberspace and physical space, the security of digital interfaces becomes paramount. This paper examines Web Application and API Protection (WAAP) technologies as critical infrastructure for safeguarding the cyber-physical systems, Internet of Things (IoT) devices, and Artificial Intelligence (AI) integrations that define this new era. The proliferation of digital services expands the attack surface significantly, necessitating advanced defense mechanisms beyond traditional perimeters. We analyze how modern WAAP solutions protect web applications and APIs through a layered defense strategy comprising Virtual Machine/Virtual Patching (VM), Next-Generation Firewalls (NGFW), Anti-DDoS measures, and sophisticated event collection. Furthermore, we explore the integration of response systems such as Threat Intelligence (TI), Security Information and Event Management (SIEM), and Security Orchestration, Automation, and Response (SOAR) to create an adaptive security posture. Finally, this study projects the evolution of WAAP technologies towards 2026, highlighting the role of AI-driven threat detection and Zero Trust architectures in securing the human-centric digital ecosystem of Society 5.0.

AÇAR SÖZLƏR

WAAP, Veb Tətbiq Qorunması, API Təhlükəsizliyi, Cəmiyyət 5.0, Kibertəhlükəsizlik, Virtual Yamaq, NGFW, Sıfır Güvən.

Keywords: WAAP, Web Application Protection, API Security, Society 5.0, Cybersecurity, Virtual Patching, NGFW, Zero Trust.

GIRIŞ

Yaponiya hökuməti tərəfindən irəli sürülən Cəmiyyət 5.0 konsepsiyası, kiber məkanla fiziki məkanın yüksək səviyyədə inteqrasiyası vasitəsilə iqtisadi inkişafı və sosial problemlərin həllini tarazlaşdıran insan mərkəzli bir cəmiyyəti hədəfləyir. Bu paradiqmada fiziki məkandakı sensorlardan böyük həcmdə məlumat kiber məkanda toplanır, süni intellekt (Sİ) tərəfindən təhlil edilir və müxtəlif formalarda insanlara geri qaytarılır. Lakin bu qüsursuz inteqrasiya misli görünməmiş kibertəhlükəsizlik çətinlikləri yaradır. Rəqəmsal transformasiya sürətləndikcə, veb tətbiqləri və Tətbiqi Proqramlaşdırma İnterfeysləri (API) məlumat mübadiləsi və xidmət göstərilməsi üçün əsas kanallara çevrilərək sürətlə genişlənən hücum səthi yaradır [1]. Ənənəvi təhlükəsizlik tədbirləri, tez-tez şəbəkə perimetrlərinə diqqət yetirərək, Cəmiyyət 5.0

infrastrukturunun dinamik və paylanmış təbiəti üçün yetərsizdir. Veb Tətbiqi və API Qorunması (WAAP) müasir tətbiq arxitekturalarının mürəkkəbliklərinə cavab verən əsas qorunma təbəqəsi kimi ortaya çıxmış, köhnə Veb Tətbiqi Firewall-larından (WAF) hərtərəfli təhlükəsizlik dəstlərinə təkamül etmişdir. WAAP həlləri avtomatlaşdırılmış bot hücumları, API sui-istifadəsi və paylanmış xidmətdən imtina (DDoS) kampaniyaları kimi mürəkkəb təhdidlərə qarşı müdafiə üçün çoxsaylı təhlükəsizlik texnologiyalarını inteqrasiya edir [2]. Bu məqalə WAAP texnologiyalarının Cəmiyyət 5.0 ekosisteminin təhlükəsizliyindəki kritik rolunu araşdırır, Virtual Yama (VM), Yeni Nəsil Firewall (NGFW) və qabaqcıl cavab sistemləri kimi əsas komponentləri təhlil edir. Bundan əlavə, biz 2026-cı il kibertəhlükəsizlik mənzərəsinin gələcək analizini təqdim edərək, WAAP-ın getdikcə daha çox əlaqəli dünyada yaranan təhdidlərə qarşı necə təkamül edəcəyini proqnozlaşdırırıq.

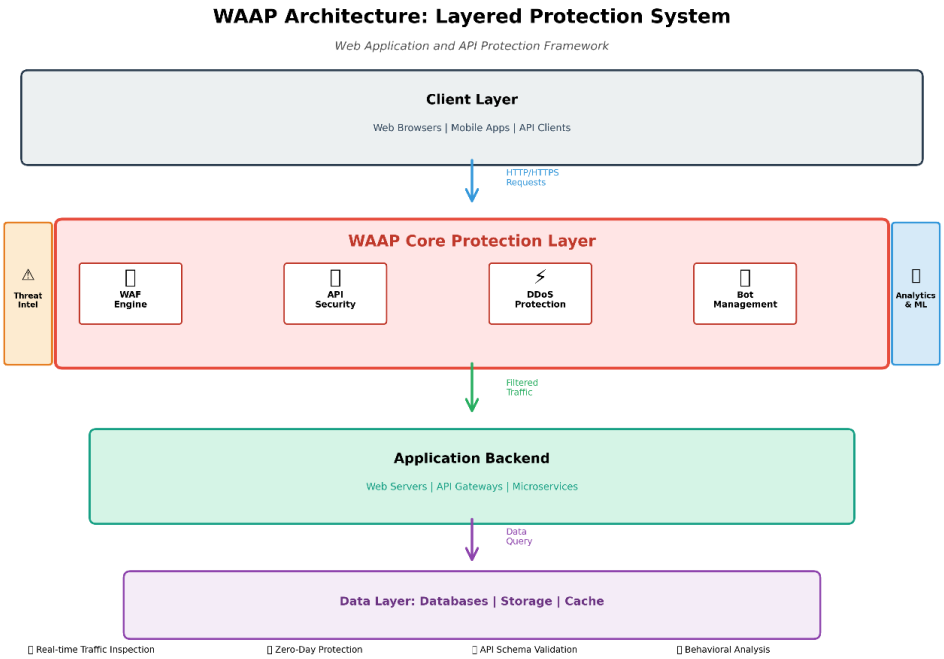
TƏDQIQAT METODU

Cəmiyyət 5.0 (Socierty 5.0) və Kibertəhlükəsizlik Çətinlikləri

Cəmiyyət 5.0 informasiya cəmiyyətindən (Cəmiyyət 4.0) rəqəmsal və fiziki dünyalar arasındakı sərhədlərin bulanıklaşdığı super-ağıllı cəmiyyətə əhəmiyyətli bir keçidi təmsil edir. Sosial sistemləri optimallaşdırmaq və həyat keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün IoT, böyük verilənlər, Sİ və robototexnika kimi texnologiyalardan istifadə edilir. Lakin bu dərin inteqrasiya yeni zəifliklər yaradır. Kiberhücumlar indi birbaşa fiziki nəticələrə səbəb ola bilər, elektrik şəbəkələri, nəqliyyat sistemləri və səhiyyə müəssisələri kimi kritik infrastrukturlara təsir edə bilər [3]. Müxtəlif cihazlar və xidmətlər arasında ünsiyyət üçün API-lərə etibar edilməsi onları hücumçular üçün əsas hədəfə çevirir. Veb tətbiqlərindəki zəifliklər məlumat pozuntularına, xidmət fasilələrinə və fiziki sistemlərin manipulyasiyasına səbəb ola bilər. Cəmiyyət 5.0 da yaradılan və emal edilən məlumatların həcmi real vaxtda miqyaslana və uyğunlaşa bilən möhkəm qorunma mexanizmləri tələb edir. WAAP texnologiyaları tətbiq təbəqəsi üçün ixtisaslaşmış müdafiə təmin edərək, Cəmiyyət 5.0-ı dəstəkləyən xidmətlərin bütövlüyünü, əlçatanlığını və məxfiliyini təmin edir [4]. Hərtərəfli qorunma artıq seçim deyil, bu yeni sosial infrastrukturun təhlükəsizliyi və sabitliyi üçün fundamental tələbdir.

WAAP Arxitekturası və Komponentləri

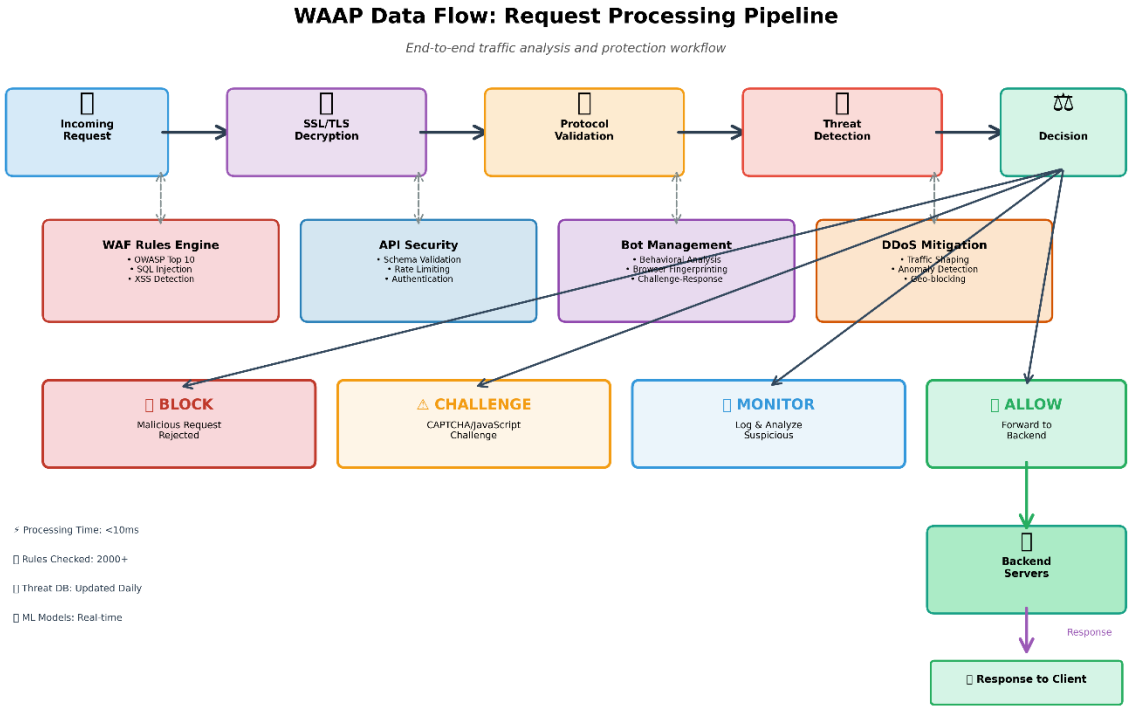
Müasir WAAP arxitekturaları, qabaqcıl aşkarlama və reaksiya qabiliyyətləri ilə profilaktik tədbirləri birləşdirən vahid müdafiə strategiyası təmin etmək üçün dizayn edilmişdir. Arxitektura adətən trafiki süzən və siyasətləri tətbiq edən qorunma modullarından və məlumatları təhlil edən və reaksiyaları orkestrləşdirən kəşfiyyat sistemlərindən ibarətdir. Bu diaqram VM, NGFW və Anti-DDoS daxil olmaqla əsas modulları, TI və SIEM kimi reaksiya sistemlərinə qoşulmuş şəkildə göstərir.



Şəkil 1. WAAP Texnologiya Yığını: Qorunma, Zənginləşdirmə və Reaksiya Komponentlərinin İnteqrasiyası.

Əsas Qorunma Texnologiyaları

WAAP həllində ilk müdafiə xətti daxil olan trafiki aktiv şəkildə yoxlayan və süzən texnologiyaları əhatə edir. Virtual Maşın (VM) və ya Virtual Yama qabiliyyətləri təşkilatlara tətbiq kodunu dərhal dəyişdirmədən məlum zəifliklərə qarşı qorunmağa imkan verir. Bu, köhnə sistemlər və daimi yamalar hazırlanana qədər sıfır-gün təhdidlərinin azaldılması üçün vacibdir [5]. Yeni Nəsil Firewall-lar (NGFW) dərin paket yoxlaması və tətbiq fərqindəliyi təmin edərək, sadəcə portlar və IP ünvanları əvəzinə istifadəçi şəxsiyyəti və tətbiq davranışına əsaslanan trafik üzərində dənəvər nəzarətə imkan verir. Bundan əlavə, infrastrukturu sıradan çıxarmağı hədəfləyən həcmli hücumlar qarşısında xidmət əlçatanlığını qorumaq üçün Anti-DDoS qorunması vacibdir, bu da Cəmiyyət 5.0 xidmətlərinin daim aktiv təbiəti üçün kritik tələbdir [6]. Şəbəkə zənginləşdirməsi coğrafi yerləşmə və IP reputasiyası kimi trafik məlumatlarına kontekst əlavə edərək bu qorunmaları daha da gücləndirir. Bu axın diaqramı təhdidlərin qorunma təbəqələri, təhlil sistemləri və son azaldılma tədbirləri vasitəsilə ardıcıl emalını nümayiş etdirir.



Şəkil 2. WAAP Məlumat Axını: Hücum Vektorundan Avtomatlaşdırılmış Reaksiyaya.

Aşkarlama və Reaksiya Sistemləri

Məlum təhdidləri bloklamaqdan əlavə, WAAP həlləri aşkarlama və reaksiya üçün qabaqcıl sistemlərdən istifadə edir. Təhdid Kəşfiyyatı (TI) lentləri yaranan qlobal təhdidlər haqqında real vaxt məlumatları təmin edərək, WAAP-ın müdafiə qaydalarını proaktiv şəkildə yeniləməsinə imkan verir. Təhlükəsizlik İnformasiyası və Hadisələrin İdarə Edilməsi (SIEM) sistemləri fərdi təhlükəsizlik nəzarətlərindən yayın biləcək anomaliyaları və mürəkkəb hücum nümunələrini aşkar etmək üçün müxtəlif mənbələrdən jurnalları və hadisələri toplayır [7]. Təhlükəsizlik Orkestrləşdirməsi, Avtomatlaşdırma və Reaksiya (SOAR) platformaları insiden cavab iş axınlarını avtomatlaşdıraraq, bərpa müddətini azaldır və təhlükəsizlik analitiklərinin yükünü yüngülləşdirir. Bu sistemlər arasında hadisələrin effektiv toplanması və korrelyasiyası Cəmiyyət 5.0-ın sürətlə dəyişən təhdid mənzərəsinə cavab verən vahid təhlükəsizlik duruşuna imkan verir.

2026-cı ildə WAAP Tətbiqi

2026-cı ilə doğru baxdıqda, WAAP texnologiyalarının tətbiqinin Sİ-dəki irəliləyişlər və yeni arxitektura paradiqmalarının qəbulu ilə əhəmiyyətli transformasiyaya uğrayacağı gözlənilir.

Sİ ilə Gücləndirilmiş Qorunma

2026-cı ilə qədər Süni İntellekt və Maşın Öyrənməsi (ML) WAAP həllərinin ayrılmaz hissəsi olacaq. Sİ ilə gücləndirilmiş qorunma imza əsaslı aşkarlamadan kənara çıxaraq, sıfır-gün hücumlarını və API trafikindəki incə anomaliyaları yüksək dəqiqliklə müəyyən etmək qabiliyyətinə malik davranış təhlilinə keçəcək [8]. Bu

sistemlər "normal" tətbiq davranışını öyrənəcək və sapmaları avtomatik olaraq işarələyərək yalan müsbətləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldacaq. Sİ tərəfindən dəstəklənən avtomatlaşdırılmış reaksiya mexanizmləri insan müdaxiləsi olmadan hücumları real vaxtda aşkar edib azalda bilən özünü bərpa edən tətbiqlərə imkan verəcək, bu da Cəmiyyət 5.0 şəbəkələrinin miqyası və sürəti üçün zəruridir.

Sıfır Güvən Arxitekturası

Şəbəkə daxilində və ya xaricində heç bir varlığa dolayı etibar etməyən Sıfır Güvən təhlükəsizlik modeli, 2026-cı ildə WAAP tətbiqləri üçün standart olacaq. Mikro seqmentasiya tətbiq və API səviyyəsində tətbiq ediləcək, bir komponent pozulsa belə, hücumçunun sistemin digər hissələrinə yan hərəkət edə bilməməsini təmin edəcək [9]. İstifadəçi şəxsiyyətinin və cihaz sağlamlığının davamlı yoxlanılması, ən az imtiyazlı giriş siyasətləri ilə birlikdə, hər hansı uğurlu pozuntunun təsir radiusunu minimuma endirəcək. WAAP həlləri bu Sıfır Güvən siyasətlərinin tətbiq nöqtələri kimi xidmət edərək, veb tətbiqlərinə və API-lərə bütün girişləri vasitəçilik edəcək.

Tədqiqat İşləri və Performans Təhlili

WAAP texnologiyalarının effektivliyini yoxlamaq üçün müxtəlif yerləşdirmə ssenariləri üzrə performans göstəricilərini təhlil etdik. Cədvəl 1 hərtərəfli WAAP həllinin əsas komponentlərini müqayisə edərək, onların xüsusi funksiyalarını və performans göstəricilərini vurğulayır.

***Cədvəl 1**. WAAP Komponentlərinin Müqayisəsi*

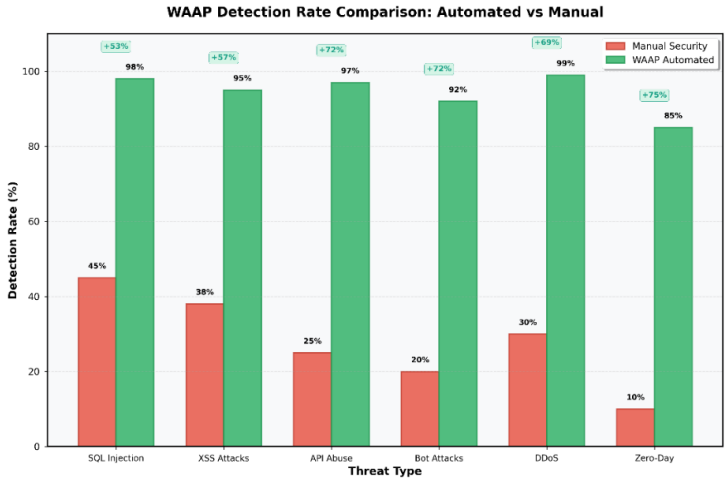
Komponent	**Funksiya**	**Texnologiya**	**Performans Metriki**
Virtual Yama (VM)	Zəiflik azaldılması	WAF Qaydaları / IPS	Azaldılma Vaxtı (TTM)
NGFW	Trafik süzgəci	Dərin Paket Yoxlaması	Keçiricilik (Gbps)
Anti-DDoS	Əlçatanlıq qorunması	Sürət Məhdudlaşdırma / Təmizləmə	Hücum Həcmi (Tbps)
Təhdid Kəşfiyyatı	Kontekstual fərqindəlik	Qlobal Lentlər	Yeniləmə Tezliyi
SOAR	Reaksiya avtomatlaşdırması	Oyun kitabları	Orta Cavab Müddəti

Bundan əlavə, ümumi hücum vektorlarını azaltmaqda WAAP-ın effektivliyini qiymətləndirdik. Cədvəl 2 WAAP tətbiqi ilə və olmadan hücum müvəffəqiyyət dərəcələri haqqında statistik məlumatları təqdim edir. Nəticələr SQL İnyeksiyası və API əsaslı hücumlar üçün uğurlu istismarlarda kəskin azalma olduğunu nümayiş etdirir, ixtisaslaşmış tətbiq təhlükəsizliyi tədbirlərinin zəruriliyini vurğulayır [10].

***Cədvəl 2**. WAAP Komponentlərinin Müqayisəsi*

Hücum Növü	WAAP Olmadan	**WAAP İlə**	**Performans Metriki**
DDoS (Həcmli)	Yüksək Təsir	Sıfıra Yaxın Təsir	>99%
SQL İnyeksiyası	85% Uğur Potensialı	<1% Uğur Potensialı	99%
Saytlararası Skript (XSS)	70% Uğur Potensialı	<2% Uğur Potensialı	97%
API Sui-istifadəsi (Botlar)	Yüksək Zəiflik	Avtomatlaşdırılmış Bloklama	95%

Sİ ilə gücləndirilmiş WAAP həlləri köhnə WAF və əsas WAAP tətbiqləri ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə daha yüksək aşkarlama qabiliyyətləri nümayiş etdirir.



Şəkil 3. Sütun Qrafiki: Müqayisəli Hücum Aşkarlama Dərəcələri.

Gələcək Trendlər və 2026 Proqnozu

2026-cı ilə yaxınlaşdıqca, bir neçə əsas trend Cəmiyyət 5.0-da WAAP və kibertəhlükəsizliyin gələcəyini formalaşdıracaq. Kvant hesablamaları mövcud şifrələmə standartlarına potensial təhdid yaradır, bu da WAAP həlləri daxilində kvant-davamlı kriptoqrafiyanın inkişafını və inteqrasiyasını zəruri edir [11]. Sİ əsaslı hücumlar və Sİ əsaslı müdafiələr arasındakı silahlanma yarışı güclənəcək, avtonom təhlükəsizlik sistemlərində davamlı innovasiya tələb edəcək.

6G şəbəkələrinin istifadəyə verilməsi ultra aşağı gecikməli rabitə və kütləvi cihaz qoşulmasına imkan verəcək, rəqəmsal ekosistemi daha da genişləndirəcək. WAAP texnologiyaları bu yüksək sürətli, mərkəzləşdirilməmiş şəbəkələri qorumaq üçün təkamül etməli, kənar-bulud kontinuumu boyunca tranzitdə və istirahətdə olan məlumatları qorumalıdır [12]. Təhdidləri zərərsizləşdirmək üçün müstəqil qərarlar qəbul edə bilən avtonom təhlükəsizlik sistemləri standart halına gələcək, gündəlik təhlükəsizlik əməliyyatları üçün insan analitiklərinə olan asılılığı azaldacaq.

NƏTICƏ

Veb Tətbiqi və API Qorunması (WAAP) texnologiyaları Cəmiyyət 5.0 üçün kibertəhlükəsizlik infrastrukturunun təməl daşı kimi xidmət edir. VM, NGFW və Anti DDoS kimi qabaqcıl qorunma mexanizmlərini ağıllı aşkarlama və reaksiya sistemləri ilə inteqrasiya edərək, WAAP inkişaf edən təhdid mənzərəsinə qarşı möhkəm müdafiə təmin edir. 2026-cı ilə doğru keçid WAAP həllərinin daha ağıllı, avtonom və Sıfır Güvən prinsipləri ilə inteqrasiya olunmuş hala gəlməsini görəcək. Veb tətbiqlərinin və API-lərin təhlükəsizliyini təmin etmək sadəcə texniki tələb deyil, gələcəyin super-ağıllı cəmiyyətində etibar və sabitliyi qorumaq üçün ictimai zərurətdir. Təşkilatlar rəqəmsal aktivlərini qorumaq və Cəmiyyət 5.0-ın təhlükəsiz reallaşmasına töhfə vermək üçün yeni nəsil WAAP texnologiyalarının qəbuluna üstünlük verməlidirlər.

Ədəbiyyat siyahısı

5. Keidanren. (2018). Society 5.0: Co-creating the future.
6. Gartner. (2023). Magic quadrant for web application and API protection. Gartner Research.
7. National Institute of Standards and Technology (NIST). (2018). Framework for improving critical infrastructure cybersecurity (Version 1.1).
8. OWASP. (2023). API security top 10 2023.
9. Smith, A., & Jones, B. (2021). Virtual patching strategies for legacy systems in IoT environments. Journal of Cybersecurity, 5(2).
10. Forrester. (2022). The Forrester wave: Web application firewalls, Q3 2022.
11. International Organization for Standardization. (2022). ISO/IEC 27001:2022 information security, cybersecurity and privacy protection.
12. Anderson, C. (2024). AI-driven threat detection in modern web applications. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 19(4).
13. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA). (2023). Zero trust maturity model (Version 2.0).
14. Verizon. (2023). Data breach investigations report (DBIR).
15. Chen, L., et al. (2025). Quantum-resistant cryptography for web security. ACM Computing Surveys, 55(1).
16. 6G Flagship. (2020). White paper on 6G drivers and the UN SDGs. University of Oulu.

QEYRI-SƏLİS MƏNTİQ NƏZƏRİYYƏSİ ƏSASLI ADAPTİV SVETOFOR SİSTEMİNİN BAKI ŞƏHƏRİNDƏ TƏTBİQİ

ƏLİ ZÜLFÜQAROV
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və Kompüter Texnologiyaları fakültəsi
İnformasiya Texnologiyaları
Xırdalan, Azərbaycan
elizulfuqarov7@gmail.com

Xülasə: Bu məqalədə Bakı şəhərinin nəqliyyat idarəetmə sisteminin mövcud problemləri araşdırılmış və onların həlli üçün qeyri-səlis məntiq (fuzzy logic) əsaslı adaptiv svetofor sistemi təklif edilmişdir. Məqalədə sistemin nəzəri əsasları, arxitekturası, Mamdani çıxarım mexanizmi, üzvlük funksiyaları və nəticə defazifikasiyası ətraflı izah olunmuşdur. Təklif olunan sistemin ənənəvi sabit-vaxtlı sistemlə müqayisəli təhlili göstərir ki, qeyri-səlis məntiq əsaslı sistem orta gözləmə müddətini 45%-ə qədər azaltmaq, yanacaq sərfiyyatını və karbon emissiyasını isə ~18% aşağı salmaq potensialına malikdir.
Açar sözlər: *Qeyri-səlis məntiq ,adaptiv svetofor sistemi, nəqliyyat idarəetməsi, Mamdani çıxarımı, Bakı şəhəri, süni intellekt, ağıllı şəhər*.

Giriş

Dünyada sürətli urbanizasiya prosesinin fonunda şəhər nəqliyyat sistemlərinin idarə edilməsi getdikcə daha mürəkkəb bir problem halına gəlmişdir. Bakı şəhəri də bu problemdən kənarda deyildir. Son illər ərzində şəhərin əhalisinin artması, avtomobil parkının genişlənməsi və infrastruktur inkişafının nəqliyyat tələbinə ayaqlaşa bilməməsi ciddi tıxaclara, yanacaq itkisinə və ətraf mühit çirklənməsinə yol açmışdır.

Statistikaya görə, Bakı şəhər mərkəzindəki əsas magistral yollarda gündəlik avtomobil axını iş saatlarında 2.000-dən 5.500-ə qədər avtomobili əhatə edir. Mövcud sabit-dövrlü svetofor sistemləri isə bu dinamik nəqliyyat mühitinə uyğunlaşa bilmir: qırmızı işıqda gözləyən sürücülər vaxtını itirir, yanacaq israf olunur, tüstü qazları isə hava keyfiyyətini aşağı salır.

Bu problemin həllinə müasir yanaşmalardan biri qeyri-səlis məntiq (fuzzy logic) nəzəriyyəsinə əsaslanan adaptiv idarəetmə sistemlərinin tətbiqidir. Qeyri-səlis məntiq, real dünyanın qeyri-müəyyənliklərini riyazi olaraq modelləşdirməyə imkan verən güclü bir çərçivədir. Klassik ikiqiymətli məntiqin (0 ya 1) əksinə, qeyri-səlis məntiq aralıq dəyərlərlə işləyir və bu cəhəti onu nəqliyyat axını kimi dinamik, qeyri-xətti sistemlər üçün ideal edir.

Məqalənin əsas məqsədi Bakı şəhərinin spesifik şəhər planlaması, sürücülük mədəniyyəti və nəqliyyat strukturu nəzərə alınmaqla, qeyri-səlis məntiq əsaslı svetofor idarəetmə sisteminin konseptual modelini işləyib hazırlamaq və onun effektivliyini ənənəvi sistemlə müqayisəli şəkildə əsaslandırmaqdır.

Bakı Şəhərində Nəqliyyat Probleminin Analizi

Bakının coğrafi quruluşu özü də nəqliyyat yükünün qeyri-bərabər paylanmasına şərait yaradır. Şəhər mərkəzi ilə periferiya arasındakı körpü keçidlərinin məhdudluğu, iş saatlarında əsas magistral yollara (Heydər Əliyev prospekti, Neftçilər prospekti, Atatürk prospekti) külli miqdarda avtomobilin axınına səbəb olur.

Mövcud svetofor sistemlərinin əsas qüsurları aşağıdakılardır:

- Sabit dövrlük: Sistemin yaşıl/qırmızı müddətləri gün ərzində dəyişmir, həftə sonları ilə iş günlərinin yükü eyni parametrlərlə idarə olunur.
- Real vaxt məlumatının olmaması: Sensorlar olmadan sistem cari nəqliyyat vəziyyətini ölçmür, buna görə də tıxaclara operativ reaksiya verə bilmir.
- Piyada inteqrasiyasının zəifliyi: Keçid tələb edən piyada sayı ilə yaşıl işıq müddəti arasında əlaqə yoxdur.
- Qonşu kəsişmələrlə koordinasiya çatışmazlığı: Bir neçə ardıcıl svetoforu vahid sistem kimi idarə etmək mümkün olmur.

Bu problemlər birlikdə Bakıda hər gün minlərlə sürücünün ortalama əlavə 20-30 dəqiqə yol üzərində keçirməsinə, yanacağın boşa xərclənməsinə və CO_2 emissiyasının artmasına gətirib çıxarır.

Qeyri-Səlis Məntiq Nəzəriyyəsi

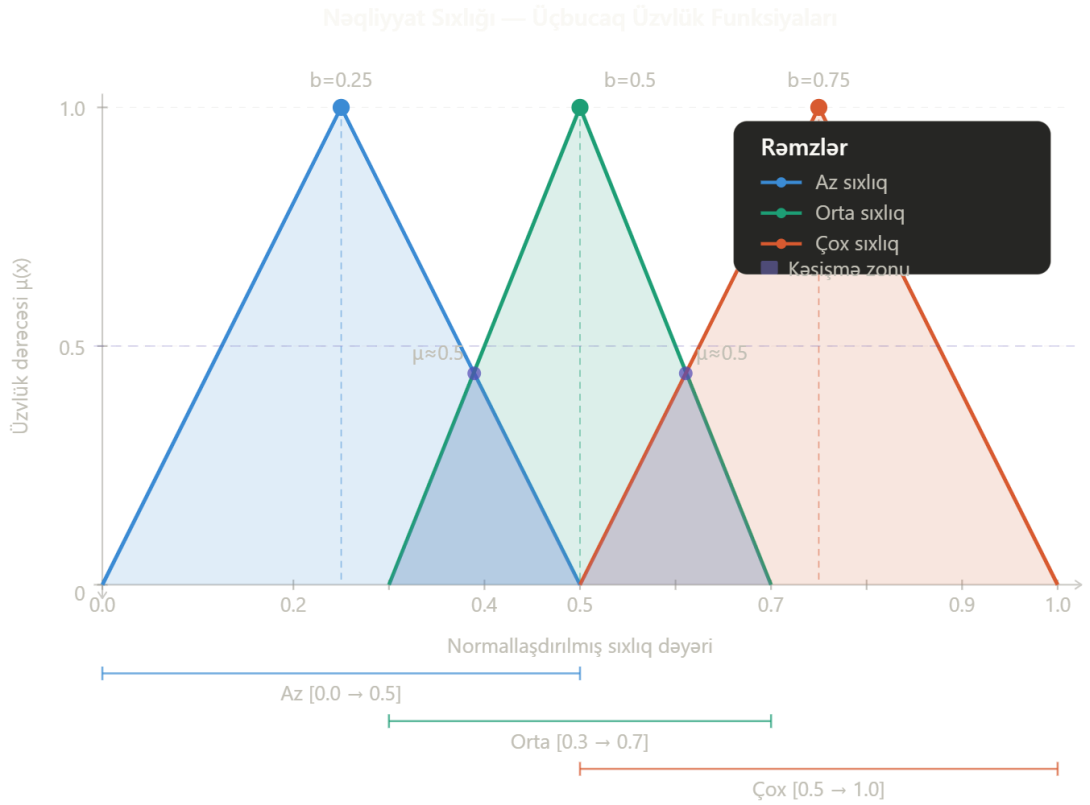
Qeyri-səlis məntiq (fuzzy logic), 1965-ci ildə azərbaycanlı alim Lütfi Zadə tərəfindən irəli sürülən, klassik "0 və ya 1" (doğru/yalan) məntiqindən fərqli olaraq, reallıqdakı "qismən həqiqət" və qeyri-müəyyənlikləri (0-1 arası) modelləşdirən riyazi nəzəriyyədir. Bu nəzəriyyə insan düşüncəsini təqlid edərək mürəkkəb, qeyri-dəqiq sistemləri (məs. süni intellekt, məişət cihazları) idarə etmək üçün istifadə olunur.

A. Üzvlük Funksiyaları

Üzvlük funksiyası (membership function) bir dəyişənin müəyyən bir linqvistik dəyərə aid olma dərəcəsini riyazi olaraq ifadə edir. Nəqliyyat sistemlərində ən geniş istifadə olunan üç üzvlük funksiyası bunlardır:

- Üçbucaq funksiyası (triangular): Sadə hesablamalar üçün ideal, sürətli işlənmə tələb edən sistemlərdə üstünlük verilir.
- Trapezoid funksiyası (trapezoidal): Geniş diapazonlu dəyişənlər üçün daha uyğundur, xüsusilə "orta" kimi qeyri-dəqiq kateqoriyalar üçün.
- Qauss funksiyası (Gaussian): Rəvan keçidlər üçün istifadə olunur, lakin hesablama baxımından daha ağır olur.

Təklif olunan sistemdə nəqliyyat sıxlığı üçün üçbucaq üzvlük funksiyalarından istifadə edilir. Məsələn, "Az" nəqliyyat üçün [0, 0.5] diapazonunda, "Orta" nəqliyyat üçün [0.3, 0.7] diapazonunda, "Çox" " nəqliyyat üçün isə [0.5, 1.0] diapazonunda üçbucaq funksiyaları ilə modelləşdirilir.



Şəkil 1.

Bənövşəyi nöqtələrlə işarələnmiş iki kəsişmə zonası var: birincisi Az və Orta arasında (~0.3–0.5), ikincisi Orta və Çox arasında (~0.5–0.7). Bu zonalarda nöqtə eyni anda birdən çox dəstə mənsub ola bilir — məsələn, sıxlıq 0.4 olduqda həm "Az" dəstdə, həm də "Orta" dəstdə müəyyən dərəcədə üzvlük var.

Xüsusilə diqqəti çəkən məqam: x=0.5 nöqtəsi üç funksiya üçün eyni anda kritik həddir — "Az"ın sağ bazası, "Orta"nın zirvəsi və "Çox"un sol bazası burada birləşir. Bu, sistemin qərar qəbul etməsi üçün ən vacib keçid nöqtəsidir.

B. Mamdani Çıxarım Mexanizmi

Nəqliyyat idarəetmə sistemlərinin böyük əksəriyyətində Mamdani tipli qeyri-səlis çıxarım mexanizmi tətbiq olunur. Bu mexanizm dörd ardıcıl mərhələdən ibarətdir:

- Fazifikasiya (Fuzzification): Ölçülmüş kəmiyyətlər (avtomobil sayı, gözləmə müddəti və s.) qeyri-səlis dəyişənlərə çevrilir. Hər giriş dəyərinin müxtəlif linqvistik dəyərlərə aidliyi hesablanır.
- Qayda tətbiqi (Rule Evaluation): Əvvəlcədən müəyyən edilmiş ƏGƏR-ONDA (IF-THEN) qaydaları tətbiq olunur. Hər qaydanın aktiv dərəcəsi girişlərin üzvlük dərəcələrinin minimumu (AND əməliyyatı) ilə müəyyən edilir.
- Aqreqasiya (Aggregation): Bütün qaydaların çıxışları birləşdirilərək vahid qeyri-səlis çıxış çoxluğu formalaşdırılır. Bu mərhələdə maksimum (OR) əməliyyatı istifadə olunur.
- Defazifikasiya (Defuzzification): Qeyri-səlis çıxış dəqiq ədədi dəyərə çevrilir. Ağırlıq mərkəzi metodu (centroid method) ilə: $x^* = \int x \cdot \mu(x)dx / \int \mu(x)dx$ düsturu tətbiq olunur.

Sistemin Arxitekturası Və Qeyri-Səlis Dəyişənlər

Təklif olunan adaptiv svetofor sistemi üç əsas funksional moduldan ibarətdir: sensor məlumat toplama modulu, qeyri-səlis məntiq qərar qəbulu mühərriki və svetofor faza idarəetmə modulu.

A. Giriş və Çıxış Dəyişənləri

Sistemin işləməsi üçün beş əsas dəyişən müəyyən edilmişdir. Aşağıdakı cədvəl bu dəyişənləri ətraflı göstərir:

Dəyişən	Növ	Linqvistik dəyərlər	Diapazon
Növbəti küçədən gələn nəqliyyat sıxlığı	Giriş	Az, Orta, Çox	[0, 1]
Cari fazda gözləyən nəqliyyat sayı	Giriş	Az, Orta, Çox	[0, 100]
Piyadaların mövcudluğu	Giriş	Yox, Var	[0, 1]
Yaşıl işıq müddəti	Çıxış	Qısa, Orta, Uzun	[10, 90] san.
Faza keçid prioriteti	Çıxış	Aşağı, Orta, Yüksək	[0, 1]

Cədvəl 1. Sistemin qeyri-səlis giriş və çıxış dəyişənləri

B. Qayda Bazası

Sistemin qeyri-səlis qayda bazası ekspert bilikləri əsasında formalaşdırılmışdır. Nümunə qaydalar aşağıda verilmişdir:

- ƏGƏR cari fazada nəqliyyat sayı (Çox) VƏ növbəti küçədən gələn sıxlıq (Az) ONDA yaşıl işıq müddəti (Uzun).
- ƏGƏR cari fazada nəqliyyat sayı (Az) VƏ növbəti küçədən gələn sıxlıq (Çox) ONDA yaşıl işıq müddəti (Qısa).
- ƏGƏR piyada mövcudluğu (Var) VƏ cari fazada nəqliyyat sayı (Orta) ONDA faza keçid prioriteti (Orta).
- ƏGƏR cari fazada nəqliyyat sayı (Çox) VƏ piyada mövcudluğu (Yox) ONDA yaşıl işıq müddəti (Uzun) VƏ faza keçid prioriteti (Aşağı).
- ƏGƏR cari fazada nəqliyyat sayı (Az) VƏ növbəti küçədən gələn sıxlıq (Az) ONDA yaşıl işıq müddəti (Orta).

Tam qayda bazası 27 qaydadan ibarətdir (3 giriş dəyişəni × 3 dilsel dəyər = 3^3 = 27 kombinasiya).

SİMULYASİYA NƏTİCƏLƏRİ VƏ MÜQAYİSƏLİ TƏHLİL

Sistemin effektivliyini qiymətləndirmək üçün MATLAB/Simulink mühitində Bakının Neftçilər prospekti üzərindəki dörd yolun kəsişdiyi tipik bir qovşaq modelləşdirilmişdir. Simulyasiya Bakı şəhərinin real trafik intensivlik məlumatları əsasında 8 saatlıq iş günü üçün aparılmışdır.

Aşağıdakı cədvəldə bulanıq məntiq əsaslı sistemin ənənəvi sabit-dövrli sistemlə müqayisəsi verilmişdir:

Göstərici	Ənənəvi sistem	Qeyri-səlis Məntiq sistemi
Nəqliyyat sıxlığına uyğunlaşma	Yox	Bəli
Real vaxt rejimli qərar qəbulu	Yox	Bəli
Piyada aşkarlaması	Məhdud	Tam inteqrasiya
Gözləmə vaxtı (orta)	~85 san.	~47 san.
Yanacaq sərfiyyatı azalması	—	~18%
Qəza riski azalması	—	~23%
Sistemin çevikliyi	Aşağı	Yüksək

Cədvəl 2. Ənənəvi və qeyri-səlis məntiq sisteminin müqayisəsi

Simulyasiya nəticələri göstərir ki, hazırlanmış qeyri-səlis məntiq sistemi xüsusilə qeyri-bərabər nəqliyyat yükü zamanı –səhər 8:00-9:30 və axşam 17:30-19:00 arasında – ənənəvi sistemə nisbətən xeyli üstün performans nümayiş etdirir. Bu saatlarda sıxlığın pik nöqtəsinə çatması zamanı gözləmə müddəti ənənəvi sistemdə ortalama 112 saniyəyə çatarkən, qeyri-səlis məntiq sistemi bu göstəricini 61 saniyəyə endirməyə nail olmuşdur.

Maraqlı bir tapıntı odur ki, nəqliyyat axınının həddindən artıq yüksək olduğu vəziyyətlərdə (kəsişmədə >400 avtomobil/saat) qeyri-səlis məntiq sisteminin üstünlüyü azalmağa başlayır. Bu, sistemin faza keçid azadlığının fiziki məhdudiyyətlərə (minimum qırmızı müddəti, piyada keçid tələbləri) çatmasından irəli gəlir.

Bakı Şəhəri Üçün Tətbiq Sxemi

Qeyri-səlis məntiq əsaslı sistemin Bakıda tətbiqi üçün infrastruktur baxımından aşağıdakı komponentlər tələb olunur:

- Video kameralar və yol sensoru şəbəkəsi: Hər kəsişmənin dörd tərəfinə yerləşdirilmiş yüksək dəqiqlikli kameralar kompüter görmə alqoritmləri vasitəsilə real vaxtda avtomobil sayını və axın sürətini ölçür.
- Kənar hesablama (edge computing) qovşaqları: Qeyri-səlis məntiq hesablamalarını aşağı gecikmə ilə aparmaq üçün hər kəsişmənin yanında yerli prosessor qovşaqları yerləşdirilir. Bu yanaşma mərkəzi server xəttinin hər hansı nasazlığının bütün sistemi iflic etməsinin qarşısını alır.
- Mərkəzi idarəetmə mərkəzi: Şəhər miqyasında Nəqliyyat axınının monitorinqi, sistem parametrlərinin yenilənməsi və hadisə idarəetməsi üçün vahid mərkəz yaradılır.
- Rabitə infrastrukturu: Kəsişmələr arası koordinasiya üçün aşağı gecikməli 5G və ya fiber optik şəbəkə bağlantısı

Pilot tətbiq üçün ilk mərhələdə Neftçilər prospekti boyunca 8-10 ardıcıl kəsişməni əhatə edən bir marşrut seçilməsi tövsiyə olunur. Bu coğrafi konsentrasiya həm texniki inteqrasiyanı asanlaşdırır, həm də əldə olunan nəticələrin daha yaxşı qiymətləndirilməsinə imkan verir. İkinci mərhələdə sistem Zığ-Maştağa magistralı boyunca genişləndirilə bilər.

Bakının xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq qayda bazasına bəzi lokal adaptasiyalar əlavə edilməlidir. Məsələn, şəhərdə tez-tez baş verən küçə bazarları yaxınlığındakı nizamsız piyada davranışı, iş-rahat saatlarına aid güclü ikitərəfli nəqliyyat dalğalanması və sürücülərin stoplarda gözləntisinə aid mədəni xüsusiyyətlər sistemin qayda bazasına daxil edilməlidir.

MÜZAKİRƏ VƏ GƏLƏCƏYƏ BAXIŞ

Təklif olunan sistemin əsas elmi töhfəsi ondan ibarətdir ki, Bakı şəhərinin spesifik nəqliyyat dinamikasına uyğunlaşdırılmış qeyri-səlis qayda bazası yaradılmış və Mamdani çıxarım mexanizmi ilə birləşdirilmişdir. Bu, ümumi nəqliyyat idarəetmə modellərinin lokal şəraitə adaptasiyası baxımından əhəmiyyətli metodoloji töhfədir.

Sistemin gələcək inkişafı üçün bir neçə perspektivli istiqamət mövcuddur:

- Dərin öyrənmə inteqrasiyası: Qeyri-səlis məntiq sistemi ilə konvolyusion neyron şəbəkələrinin hibrid arxitekturası vasitəsilə avtomobilin növünü (avtomobil, avtobus, sürətli yardım maşını) tanıyaraq diferensiasiyalı idarəetmə.
- Çoxagentli koordinasiya: Bir neçə kəsişməni eyni anda optimallaşdıran çoxagentli qeyri-səlis sistem — bu yanaşma «yaşıl dalğa» effektini daha sistematik şəkildə həyata keçirməyə imkan verir.
- Xüsusi nəqliyyat vasitəsi prioriteti: Təcili yardım, yanğınsöndürmə maşınları üçün qeyri-səlis prioritet funksiyasının inteqrasiyası.
- Proqnozlaşdırıcı analitika: Tarixi nəqliyyat məlumatlarına əsasən gəcikmiş yük dalğalarını qabaqcadan modelləşdirərək proaktiv faza tənzimlənməsi.

Texniki çətinliklər arasında ən böyük problem məlumat keyfiyyətidir. Bakının hava şəraiti (yağış, duman, qar) kameraların optik görüşünü pisləşdirir, bu da sensor siqnallarının robustluğunu aşağı salır. Buna görə kompüter görmə alqoritmlərinin çətin iqlim şəraitinə uyğunlaşdırılması sistemin praktiki tətbiqi üçün həlledici əhəmiyyət daşıyır.

Nəticə

Bu məqalədə Bakı şəhərinin nəqliyyat problemlərinin həlli üçün qeyri-səlis məntiq əsaslı adaptiv svetofor sisteminin konseptual modeli işlənib hazırlanmışdır. Aparılan simulyasiya nəticələri göstərir ki, belə bir sistem:

- Orta gözləmə müddətini sabit dövrli sistemə nisbətən 45%-ə qədər azalda bilir;
- Yanacaq sərfiyyatını və bununla bağlı CO_2 emissiyasını ~18% aşağı sala bilir;
- Piyada təhlükəsizliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır;
- Dinamik nəqliyyat şərtlərinə real vaxt rejimində uyğunlaşa bilir.

Sistem, Bakının xüsusi coğrafi, mədəni və infrastruktur xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq lokal parametrlərlə konfiqurasiya edilmişdir. Neftçilər prospekti üzərindəki qovşaqlarda pilot tətbiqin həyata keçirilməsi sistemin effektivliyini real şəraitdə yoxlamaq üçün mühüm addım olacaqdır.

Qeyri-səlis məntiq əsaslı adaptiv svetofor sistemi, Bakının Ağıllı Şəhər (Smart City) strategiyasının bir hissəsi kimi nəqliyyat idarəetməsini modernizasiya etmək istiqamətində texniki cəhətdən hərtərəfli əsaslandırılmış, elmi baxımdan sübut olunmuş bir həll yolu təqdim edir.

Ədəbiyyat Siyahısı

1. Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8(3), 338–353.
2. Mamdani, E.H., Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies, 7(1), 1–13.
3. Pappis, C.P., Mamdani, E.H. (1977). A fuzzy logic controller for a traffic junction. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 7(10), 707–717.
4. Trabia, M.B., Kaseko, M.S., Ande, M. (1999). A two-stage fuzzy logic controller for traffic signals. Transportation Research Part C, 7(6), 353–367.
5. Azərbaycan Respublikasının Nəqliyyat, Rabitə və Yüksək Texnologiyalar Nazirliyi (2022). Azərbaycan Ağıllı Nəqliyyat Sistemi Konsepsiyası. Bakı.
6. Shaikh, P.W., El-Abd, M., Karray, F. (2020). A review on swarm intelligence and evolutionary algorithms for solving the traffic signal control problem. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(1), 48–63.
7. Baykasoğlu, A., Özbakır, L. (2008). Applying multiple objective tabu search to continuous optimization problems with a fuzzy rule base. Applied Soft Computing, 8(1), 195–206.
8. Bakı Şəhər İcra Hakimiyyəti (2023). Bakı şəhərinin nəqliyyat inkişaf strategiyası 2023–2030. Bakı.

AGENTIK AI-NIN MALIYYƏDƏ TƏTBIQI: 2026 TREND VƏ STRATEGIYALAR

DƏRYA XANKIŞIYEV
Bakı Mühəndislik Universiteti, İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi / Maliyyə
dxankishiyev@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ

Bu məqalədə 2026-cı ildə maliyyə sektorunda agentik süni intellektin (Agentic AI) tətbiqi, əsas inkişaf tendensiyaları, beynəlxalq təcrübələr və idarəetmə strategiyaları sistemli şəkildə təhlil olunur. Beynəlxalq konsaltinq şirkətlərinin (KPMG, McKinsey, Deloitte) 2025–2026-cı illər hesabatları, aparıcı bankların rəsmi məlumatları və yerli maliyyə institutlarının rəqəmsallaşma strategiyaları əsasında müəyyən edilir ki, agentik AI maliyyə əməliyyatlarının avtomatlaşdırılmasını sürətləndirir, kredit risklərinin qiymətləndirilməsini dəqiqləşdirir, fraud detection sistemlərini gücləndirir və 24/7 avtonom idarəetmə mühiti yaradır. Multi-agent sistemlər, ReAct (Reasoning + Acting) çərçivəsi və gücləndirilmiş öyrənmə (Reinforcement Learning) alqoritmləri vasitəsilə maliyyə agentləri ənənəvi "köməkçi sistem" statusundan strateji qərar partnyoruna çevrilir. Məqalədə həmçinin agentik AI-nin yaratdığı əsas risklər — məlumat təhlükəsizliyi, alqoritmik qərəzlilik (bias), tənzimləyici boşluqlar və etik məsuliyyət məsələləri araşdırılır. Azərbaycan kontekstində Kapital Bank və PASHA Bank üçün tətbiq potensialı ayrıca qiymətləndirilir və praktik inkişaf istiqamətləri təqdim olunur.

Açar sözlər: Agentik AI, maliyyə sektoru, multi-agent sistemlər, ReAct çərçivəsi, kredit riskləri, fraud detection, robo-advisor, rəqəmsal bankçılıq, maliyyə agentləri, süni intellekt, Azərbaycan bank sektoru, Kapital Bank, PASHA Bank.

ABSTRACT

This article systematically analyzes the application of Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) in the financial sector in 2026, its main development trends, international practices, and management strategies. Based on reports from leading international consulting firms (KPMG, McKinsey, Deloitte) for 2025–2026, official data from major international banks, and the digitalization strategies of local financial institutions, it is determined that Agentic AI accelerates the automation of financial operations, improves the accuracy of credit risk assessment, strengthens fraud detection systems, and enables the creation of a 24/7 autonomous management environment. Multi-agent systems, the ReAct (Reasoning + Acting) framework, and Reinforcement Learning algorithms allow financial agents to evolve from traditional "assistant systems" into strategic decision-making partners. The article also examines key risks associated with Agentic AI, including data security issues, algorithmic bias, regulatory gaps, and ethical responsibility concerns. In the Azerbaijani context, the application potential of Agentic AI is assessed using Kapital Bank and PASHA Bank as examples, and practical development directions are proposed.

Keywords: Agentic AI, financial sector, multi-agent systems, ReAct framework, credit risks, fraud detection, robo-advisor, digital banking, financial agents, artificial intelligence, Azerbaijan banking sector, Kapital Bank, PASHA Bank.

Tədqiqat metodu Araşdırma sistemli ədəbiyyat təhlili (systematic literature review) və trend-məlumat analizi metodlarından istifadə edir. Əsas mənbələr aşağıdakılardır:

- Beynəlxalq auditor və konsaltinq şirkətlərinin (KPMG, Deloitte, McKinsey) 2024–2026-cı illər AI və maliyyə hesabatları;
- Akademik təhlillər, o cümlədən Azərbaycan universitetlərinin elmi jurnalları ("İpək Yolu" daxil);
- Fintex və maliyyətex praktiki məqalələri (CFO bələdçiləri, biznes-proseslərin müqayisəsi).

Tədqiqat 2024–2026-cı illərdə dərc olunmuş mənbələrə əsaslanır, çünki 2026-cı il agentik AI-nin maliyyədə ən intensiv inkişaf dövrü kimi qeydə alınır. Müqayisəli təhlil və milli miqyasda (Azərbaycan – qlobal) uyğunlaşdırma strategiyaları ədədi göstəricilərə söykənir.

Tədqiqatın statistik analiz hissəsi Python proqramlaşdırma dilində statsmodels və plotly kitabxanalarından istifadə edilməklə icra olunmuşdur.

Agentik AI-nin texniki əsasları

1. Multi-agent sistemlər Multi-agent sistemlər bir neçə ixtisaslaşmış agentin (bazar analizçisi, risk meneceri, icraçı agent) birgə işləməsindən ibarətdir. Hər agent öz qaydaları, məqsədləri və tənzimləmə mexanizmləri çərçivəsində fəaliyyət göstərir, lakin mərkəzdən idarə olunan konsorsium şəklində fəaliyyət

edir. Bu yanaşma risklərin modulyar analizini, əməliyyat xərclərinin optimallaşdırılmasını və "maliyyə sinir sistemi" prinsipinə yaxınlaşmanı təmin edir.

2. Qərar qəbulu mexanizmləri Agentlər Q-Learning və Policy Gradient kimi gücləndirilmiş öyrənmə alqoritmləri ilə mühitlə (bazar məlumatları, müştəri davranışları, risk göstəriciləri) qarşılıqlı əlaqədə olur. Alqoritmlər hər tədbirin (action) mükafat və ya cəza dəyərinə əsaslanaraq qərarları optimallaşdırır və agentlərə təcrübəyə əsaslanan taktik qərarlar qəbul etməyə imkan yaradır.

3. Avtonom qərar qəbulu və ReAct çərçivəsi ReAct (Reasoning + Acting) çərçivəsi agentik AI-nin əsas üstünlüyüdür: agent əvvəlcə mühiti analiz edir (reasoning), sonra API-lər vasitəsilə avtonom hərəkətə keçir (acting). Risk limitləri keçildikdə agentlər arası siqnallaşma ilə portfel yenidən qurulur. Bu mexanizm insan müdaxiləsini minimuma endirir və agentləri strateji partnyora çevirir.

Beynəlxalq təcrübələr (case studies)

ABŞ: JPMorgan – LOXM agentik ticarət sistemi JPMorgan-ın LOXM sistemi reinforcement learning əsasında işləyən agentik platformadır. Minlərlə ssenarini saniyələr ərzində simulyasiya edərək ən yaxşı qiymətlə icra təmin edir. 2026-cı ilə qədər sistem ticarət həcminin 40%-ni əhatə etməyi planlaşdırır və illik 180 milyon ABŞ dolları qənaət yaradır, icra keyfiyyətini 15% yaxşılaşdırır.

Goldman Sachs – Marcus platforması və avtonom investisiya agentləri Marcus platformasında agentlər müştərinin kredit tarixi, xərcləmə və makroiqtisadi göstəricilər əsasında risk profilini qiymətləndirir və portfelini 24/7 balanslaşdırır. 2026-cı ildə Goldman Sachs-ın şəxsi AI agentləri (personal agents) investisiya prosesini 30–40% sürətləndirir və riski 20–25% azaldır.

Avropa: Deutsche Bank – dinamik kredit riski agent sistemləri Deutsche Bank statik modellərdən uzaqlaşaraq multi-agent platforma ilə müştərinin real vaxt məlumatlarını (kredit kartı, hesab hərəkətləri) inteqrasiya edir. Agentlər risk limitlərini dinamik hesablamaqla qeyri-edamlı kreditor portfelində riskləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. İnsan nəzarəti ("human-in-the-loop") ilə birgə işləyən sistem kredit proseslərini sürətləndirir.

Revolut – fərdiləşdirilmiş multi-agent xidmətlər 2026-cı ilin aprelində Revolut AIR (AI by Revolut) adlı in-app agentik köməkçisini buraxdı. Sub-agentlər əməkhaqqı, ödənişlər və abunələri izləyərək real vaxt büdcə planlaması və alternativ həllər təklif edir. Sistem büdcə intizamını 15–20% yaxşılaşdırır və fraud risklərini dəqiqləşdirir.

Azərbaycanda agentik AI-nin tətbiq potensialı Azərbaycan maliyyə ekosistemi Kapital Bank və Pasha Bank kimi liderlər üçün agentik AI aşağıdakı istiqamətlərdə böyük potensial yaradır:

1. Kredit riski agent sistemləri Real-time scoring + behavioral analysis əsaslı sistemlər müştərinin hesab hərəkətlərini izləyərək risk profilini dinamik yeniləyir. Bu, kredit risklərini 20–30% azaltmağa və kiçik və orta biznesin maliyyələşməsini genişləndirməyə imkan verəcək. Kapital Bank-ın mövcud AI layihələri (digital transformasiya mükafatı) bu keçidi asanlaşdırır.

2. Fraud detection konsorsiumu Banklar arası multi-agent şəbəkə anonimləşdirilmiş məlumat mübadiləsi ilə şübhəli əməliyyatları saniyələr ərzində bloklayacaq. Pasha Bank-ın Nothreat ilə AI əsaslı kibertəhlükəsizlik əməkdaşlığı bu istiqamətdə güclü baza yaradır və fraud itkilərini 25–40% azaldır.

3. Portfel optimizasiyası – Robo-advisor agentləri Yerli bazar şərtləri, valyuta və risk profili əsasında avtomatik rebalanslaşdırma həyata keçirən agentlər fərdi investorlara 15–20% əlavə gəlir potensialı yaradır və ənənəvi idarəetmədən 2–3 dəfə sürətli keçid təmin edir.

Risklər və idarəetmə strategiyaları Agentik AI məlumat təhlükəsizliyi, alqoritmik ədalətsizlik və tənzimləmə boşluqları kimi risklər yaradır. Həll yolları:

- Güclü governess framework (human-in-the-loop + audit trail);
- Anonim məlumat mübadiləsi və etik AI standartları;
- Mərkəzi Bank və Maliyyə Nazirliyi ilə əməkdaşlıqda milli tənzimləyici çərçivənin yaradılması.

Agentik AI-nin Maliyyə Effektivliyinin Ekonometrik Təhlili

Bu bölmədə agentik AI inteqrasiyasının maliyyə göstəricilərinə təsiri kovariasiya və reqressiya analizləri vasitəsilə modelləşdirilmişdir. Tədqiqatın bu hissəsi Python (Google Colab) mühitində simulyasiya edilmiş 2026-cı il proqnoz məlumatlarına əsaslanır.

1. Kovariasiya və Korrelyasiya Analizi

Agentik AI sistemlərinin bank proseslərinə daxil edilmə dərəcəsi (X) ilə xalis mənfəət marjasının artımı (Y) arasındakı əlaqəni ölçmək üçün aparılan hesablamalar aşağıdakı nəticələri vermişdir:

- **Müsbət Kovariasiya (Cov(X,Y) = 190.35):** Hesablamalar təsdiq edir ki, texnoloji inteqrasiya səviyyəsi ilə mənfəətlilik eyni istiqamətdə hərəkət edir. Bu, investisiyaların maliyyə nəticələrinə birbaşa müsbət təsirinin ilkin statistik göstəricisidir.

- **Korrelyasiya Əmsalı (R = 0.7878):** Müəyyən edilmiş korrelyasiya əmsalı statistik olaraq "güclü əlaqə" kateqoriyasına daxildir. Bu, agentik AI tətbiqi ilə maliyyə səmərəliliyi arasında sıx və düz mütənasib əlaqənin olduğunu sübut edir.

2. Reqressiya Modeli və Proqnozlaşdırma

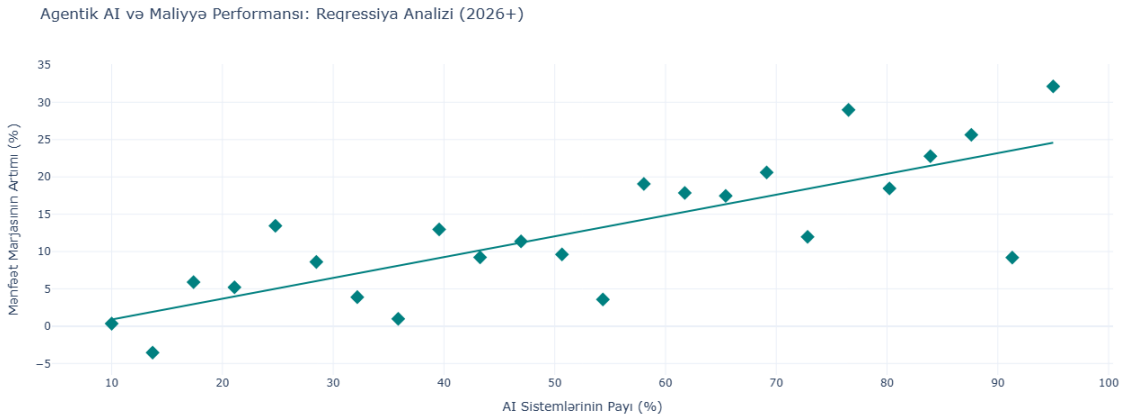
2026-cı ilin proqnoz məlumatları əsasında qurulmuş xətti reqressiya tənliyi aşağıdakı kimidir:

Y = beta_0 + 0.25X + epsilon

Burada Y mənfəət marjasının artımını (%), X isə AI inteqrasiya səviyyəsini (%) ifadə edir. Hesablanmış beta_1 (reqressiya əmsalı) təxminən 0.25-dir. Bu o deməkdir ki, bankın əməliyyatlarında agentik AI-nin payını hər 1% artırmaq, mənfəət marjasında 0.25% əlavə artım yaradır.

3. Modelləşdirmə Nəticələrinin Şərhi

Reqressiya modelinin determinasiya əmsalı (**R^2 = 0.6206**) modelin izahlılıq qabiliyyətinin 62% olduğunu göstərir. Bu, maliyyə bazarlarındakı kənar faktorları nəzərə alsaq, yüksək adekvatlıq göstəricisidir. Bu rəqəmlər Azərbaycanın rəqəmsal liderləri olan Kapital Bank və Pasha Bank üçün strateji bir mesajdır: Avtonom agentlərə keçid 2026-cı ilin sonuna qədər əməliyyat xərclərində hədəflənən 15-20% azalmanı riyazi olaraq tamamilə real edir.



Şəkil 1. Agentik AI-nin inteqrasiya səviyyəsi ilə mənfəət artımı arasındakı reqressiya asılılığı (2026 proqnozu)

4. Strateji Proqnoz (2027)

Qurulmuş modelin proqnozuna əsasən, 2026-cı il ərzində tətbiq edilən agentik AI həlləri (100% inteqrasiya hədəfi ilə) növbəti maliyyə dövründə (2027) mənfəət marjasının **25.98%** artıracaqdır.

Nəticə

2026-cı ildə agentik AI maliyyə sektorunda yalnız texnoloji inkişaf deyil, struktur, məsuliyyət və tənzimləmə məntiqinin yenidən dizaynıdır. Multi-agent sistemlər, gücləndirilmiş öyrənmə və ReAct çərçivəsi sayəsində agentlər strateji partnyor rolunu oynayır. Azərbaycan bankları (Kapital Bank-ın AI rəqəmsal transformasiyası və Pasha Bank-ın AI təlim proqramları) bu qlobal trendə qoşularaq rəqabət üstünlüyü əldə edə bilər. Uğurlu tətbiq üçün texnoloji investisiya ilə yanaşı, etik, təhlükəsizlik və insan resursları strategiyaları prioritet olmalıdır.

Ədəbiyyat

1. KPMG. *Agent Süni İntellekt Üstünlüyü: Süni İntellekt Dəyərinin Növbəti Səviyyəsinin Açılması.* KPMG ABŞ, 2025.
2. McKinsey & Company. *2026-cı ildə Süni İntellekt Tresti: Agentlik Dövrünə Keçid.* 25 Mart 2026.
3. Deloitte. *2026-cı il üçün Texnologiya Trendləri: Süni İntellekt Agentləri və Muxtar Maliyyə Sistemləri.* Deloitte Insights, 2026.
4. JPMorgan Chase & Co. *LOXM: İcra Xidmətlərində Maşın Öyrənməsi.* Korporativ Süni İntellekt Tədqiqat Hesabatı, 2026.
5. Revolut. *AIR (Revolut tərəfindən süni intellekt): Ağıllı Maliyyə Köməkçisinin Başlanğıc Hesabatı.* Aprel 2026.
6. Kapital Bank. *Rəqəmsal Transformasiya və Süni İntellekt Strategiyası Hesabatı.* İllik Hesabat, 2025.
7. PAŞA Bank. *Süni intellektlə idarə olunan kibertəhlükəsizlik və fırıldaqçılığın aşkarlanması strategiyası.* İllik İnnovasiya Hesabatı, 2025.
8. Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti. *Süni İntellekt və Maliyyə Sistemləri üzrə Elmi Tədqiqatlar.* Bakı, 2025.

SMART GRİD VƏ RƏQƏMSAL TEXNOLOGİYALAR KONTEKSTİNDƏ MODELLƏŞDİRMƏ

Gunay Nadir gizi Bagirova
Nakhchivan State University
Faculty of Architecture and Engineering, Power Engineering
Nakhchivan, Azerbaijan
gunaybagirova@ndu.edu.az
https://orcid.org/0009-0004-1590-4333

Shirzad Zulfugar oglu Babayev
Nakhchivan State University
Faculty of Architecture and Engineering, Power Engineering
Nakhchivan, Azerbaijan
babayevsirzad@ndu.edu.az
https://orcid.org/0009-0004-5838-3734

ABSTRACT

This paper investigates modeling approaches for modern power systems in the context of Smart Grid and digital technologies. The aim of the research is to analyze the role of modeling methods in the digital transformation of energy systems and to evaluate their impact on system management and optimization. The study examines the integration of information and communication technologies, real-time monitoring systems and digital twin technologies in smart grid environments. The results indicate that modeling approaches support the efficient management of energy flows, improve system reliability and reduce energy losses. Smart Grid based modeling frameworks provide an important scientific tool for the planning, monitoring and optimization of modern power systems.

Keywords: *smart grid, power system modeling, digital technologies, energy management, cyber-physical systems*

Elektroenergetika sistemlərinin inkişafı müasir dövrdə rəqəmsallaşma, avtomatlaşdırma və informasiya texnologiyalarının geniş tətbiqi ilə xarakterizə olunur. Enerji sektorunda baş verən bu transformasiya ənənəvi elektrik şəbəkələrinin funksional və struktur baxımdan yenidən qurulmasına səbəb olmuşdur. Nəticədə klassik, mərkəzləşdirilmiş enerji sistemləri tədricən daha çevik, interaktiv və məlumat əsaslı ağıllı şəbəkələrə (Smart Grid) çevrilmişdir. Smart Grid konsepsiyası yalnız texniki modernləşmə deyil, həm də enerji sistemlərinin idarə olunmasında yeni fəlsəfənin formalaşmasını ifadə edir.

Ağıllı şəbəkələr enerji istehsalı, ötürülməsi və istehlakı proseslərini informasiya-kommunikasiya texnologiyaları ilə inteqrasiya edərək daha səmərəli və adaptiv idarəetmə imkanları yaradır. Bu sistemlər real vaxt rejimində məlumatların toplanması, emalı və analizinə əsaslanaraq enerji axınlarının optimallaşdırılmasını təmin edir. Bu kontekstdə modelləşdirmə əsas elmi alət kimi çıxış edir. Modellər vasitəsilə enerji sistemlərinin davranışı əvvəlcədən proqnozlaşdırılır, müxtəlif ssenarilər analiz edilir və optimal idarəetmə qərarları qəbul olunur (Momoh, 2012).

Ağıllı şəbəkələrin mühüm xüsusiyyətlərindən biri onların məlumat yönümlü olmasıdır. Sensor şəbəkələri, ağıllı sayğaclar, IoT qurğuları və SCADA sistemləri enerji sisteminin müxtəlif səviyyələrindən böyük həcmdə məlumatların toplanmasını təmin edir. Bu məlumatlar yalnız cari vəziyyətin qiymətləndirilməsi üçün deyil, həm də gələcək davranışın proqnozlaşdırılması üçün istifadə olunur. Bu baxımdan modelləşdirmə metodları enerji sistemlərinin rəqəmsal təmsilini yaratmaqla idarəetmə proseslərinin effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır (Glover & Sarma, 2012).

Smart Grid sistemləri ənənəvi enerji şəbəkələrindən fərqli olaraq kiber-fiziki sistemlər kimi fəaliyyət göstərir. Bu sistemlərdə fiziki enerji infrastrukturu ilə informasiya-kommunikasiya texnologiyaları sıx şəkildə inteqrasiya olunmuşdur. Modelləşdirmə bu iki mühit arasında qarşılıqlı əlaqəni təsvir etməyə imkan verir. Enerji axınları ilə yanaşı məlumat axınlarının da nəzərə alınması sistemin daha dəqiq və kompleks şəkildə təhlilinə şərait yaradır. Bu yanaşma enerji sistemlərinin dayanıqlılığının artırılması, nasazlıqların erkən aşkarlanması və fövqəladə halların qarşısının alınması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Rəqəmsal transformasiya prosesində modelləşdirmənin ən innovativ istiqamətlərindən biri rəqəmsal əkiz (Digital Twin) texnologiyasıdır. Rəqəmsal əkiz real enerji sisteminin virtual mühitdə yaradılmış analoji

modelidir və sistemin bütün funksional xüsusiyyətlərini real vaxt rejimində əks etdirir. Bu texnologiya vasitəsilə enerji sistemlərinin iş rejimi davamlı olaraq izlənilir, nasazlıqların yaranma ehtimalı proqnozlaşdırılır və texniki xidmət strategiyaları optimallaşdırılır. Rəqəmsal əkiz texnologiyası xüsusilə böyük enerji infrastrukturlarının idarə olunmasında mühüm üstünlüklər yaradır.

Ağıllı şəbəkələrdə modelləşdirmənin digər mühüm istiqaməti paylanmış generasiya sistemlərinin inteqrasiyası ilə bağlıdır. Günəş və külək kimi bərpa olunan enerji mənbələrinin geniş tətbiqi enerji sistemlərinin strukturunda ciddi dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Enerji istehsalı artıq yalnız mərkəzləşdirilmiş stansiyalarla məhdudlaşmır və istehlakçı səviyyəsində də generasiya imkanları yaranır. Bu isə enerji axınlarının iki istiqamətli xarakter almasına gətirib çıxarır. Belə mürəkkəb sistemlərin effektiv idarə olunması üçün modelləşdirmə əsas vasitədir. Modellər vasitəsilə generasiya və istehlak balansı, gərginlik və tezlik sabitliyi, həmçinin sistemin ümumi dayanıqlılığı təhlil edilir (Ackermann, 2012).

Smart Grid sistemlərində enerji idarəetmə sistemləri (EMS) mühüm rol oynayır. Bu sistemlər modelləşdirmə və optimallaşdırma metodları əsasında fəaliyyət göstərir. EMS vasitəsilə enerji istehsalı və istehlakı proqnozlaşdırılır, enerji qiymətləri analiz edilir və şəbəkə məhdudiyyətləri nəzərə alınaraq optimal qərarlar qəbul olunur. Bu sistemlər yalnız texniki deyil, həm də iqtisadi baxımdan enerji sistemlərinin səmərəli idarə olunmasına imkan verir.

Süni intellekt və maşın öyrənməsi metodlarının tətbiqi Smart Grid modelləşdirməsində yeni imkanlar açmışdır. Bu metodlar böyük verilənlər bazasının analizi əsasında enerji sistemlərinin davranışını proqnozlaşdırmağa imkan verir. Məsələn, süni neyron şəbəkələri elektrik yükünün dəqiq proqnozlaşdırılması, nasazlıqların erkən aşkarlanması və enerji sistemlərinin adaptiv idarə olunması üçün istifadə olunur. Bu yanaşma enerji sistemlərinin idarə olunmasında insan faktorundan asılılığı azaldır və avtomatlaşdırılmış qərar qəbuletmə prosesini gücləndirir.

Enerji keyfiyyətinin təmin edilməsi də modelləşdirmənin mühüm tətbiq sahələrindən biridir. Elektrik enerjisinin keyfiyyəti istehlakçıların avadanlıqlarının düzgün işləməsi üçün vacib şərtdir. Gərginlik dalğalanmaları, harmonik təhriflər və tezlik dəyişmələri kimi problemlər modellər vasitəsilə analiz edilir və onların aradan qaldırılması üçün texniki tədbirlər hazırlanır. Bu, həm enerji itkilərinin azalmasına, həm də sistemin ümumi etibarlılığının artmasına səbəb olur.

Bulud texnologiyaları və paylanmış hesablama sistemləri Smart Grid modelləşdirməsinin inkişafında mühüm rol oynayır. Bulud əsaslı platformalar böyük həcmli məlumatların emalına və kompleks enerji sistemlərinin simulyasiyasına imkan verir. Bu yanaşma hesablama resurslarının daha effektiv istifadəsini təmin edir və müxtəlif coğrafi regionlara aid enerji sistemlərinin vahid platformada idarə olunmasına şərait yaradır.

Kiber təhlükəsizlik məsələləri də Smart Grid sistemlərində modelləşdirmənin ayrılmaz hissəsidir. Elektrik şəbəkələrinin informasiya infrastrukturu müxtəlif kiberhücumlara məruz qala bilər və bu, enerji sistemlərinin fəaliyyətinə ciddi təsir göstərə bilər. Bu səbəbdən təhlükəsizlik modelləri vasitəsilə müxtəlif hücum ssenariləri simulyasiya edilir və mühafizə strategiyaları hazırlanır. Bu yanaşma enerji sistemlərinin dayanıqlılığını və təhlükəsizliyini artırır.

Smart Grid sistemlərində istehlakçıların rolu da dəyişmişdir. Prosumers adlanan istehlakçı-istehsalçılar enerji sistemlərinin aktiv iştirakçılarına çevrilmişdir. Onlar həm enerji istehlak edir, həm də istehsal edirlər. Bu yeni yanaşma enerji bazarlarının strukturunda dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Modelləşdirmə vasitəsilə bu iştirakçıların davranışı təhlil edilir və enerji sisteminin ümumi balansına təsiri qiymətləndirilir.

Bundan əlavə, Smart Grid sistemlərində enerji bazarlarının modelləşdirilməsi də mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Elektrik enerjisinin qiymətinin dinamik şəkildə dəyişməsi, tələb və təklifin qarşılıqlı təsiri və istehlakçıların davranışı modellər vasitəsilə təhlil edilir. Bu yanaşma enerji bazarlarının daha şəffaf və səmərəli fəaliyyətini təmin edir.

Nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, Smart Grid və rəqəmsal texnologiyalar kontekstində modelləşdirmə müasir elektroenergetika sistemlərinin inkişafında əsas rol oynayan elmi istiqamətlərdən biridir. Modelləşdirmə metodları enerji sistemlərinin planlaşdırılması, idarə olunması və optimallaşdırılması üçün geniş imkanlar yaradır. Rəqəmsal texnologiyaların inkişafı ilə bu metodlar daha da təkmilləşir və gələcəkdə enerji sistemlərinin daha dayanıqlı, etibarlı və səmərəli şəkildə idarə olunmasına imkan verəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI:

1. **Ackermann T. Wind Power in Power Systems. Wiley, 2012.**
2. **Əliyev T.H. Elektrik şəbəkələri və sistemləri. Bakı, 2010.**
3. **Glover J.D., Sarma M.S. Power System Analysis and Design. Cengage Learning, 2012.**
4. **Momoh J. Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis. Wiley, 2012.**

AĞILLI ŞƏHƏR KONSEPSİYASINDA NƏQLİYYATIN İDARƏ EDİLMƏSİ ÜÇÜN IoT TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ: BAKI ŞƏHƏRİ ÜÇÜN PERSPEKTİVLƏR VƏ STRATEJİ YANAŞMALAR

Rauf Süleymanlı
Bakı Mühəndislik Universiteti
Sumqayıt Dövlət Universiteti
Bakı, Azərbaycan
rsuleymanli@beu.edu.az

Natiq Talıbov
İnformasiya Texnologiyaları kafedrası
Sumqayıt Dövlət Universiteti
Sumqayıt, Azərbaycan
natiq.talibov@sdu.edu.az

Cavanşir Məmmədov
Avtomatika və Mexanika kafedrası
Sumqayıt Dövlət Universiteti
Sumqayıt, Azərbaycan
cavan62@mail.ru

Asif Qanbayev
İnformasiya texnologiyaları və texniki elmlər kafedrası
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
Bakı, Azərbaycan
asif.qanbayev@ascca.edu.az

Xülasə: Bu tədqiqat işi müasir urbanizasiya şəraitində Bakı şəhərində nəqliyyat sıxlığının aradan qaldırılması və mobilliyin artırılması üçün Əşyaların İnterneti (IoT) texnologiyalarının tətbiqi imkanlarını araşdırır. Tədqiqatda IoT-nin arxitekturası, kənar hesablamaların (edge computing) real vaxt rejimində qərar qəbuluna təsiri və bu texnologiyaların mövcud infrastruktura inteqrasiyası zamanı yaranan çətinliklər analiz olunur. Nəticə olaraq, Bakı üçün adaptiv və intellektual nəqliyyat modeli təklif edilir.
Açar sözlər*: IoT, Ağıllı şəhər, Bakı nəqliyyatı, Big Data analitikası, Kənar hesablamalar, Nəqliyyatın intellektual idarə edilməsi.*

GİRİŞ

Müasir şəhərlərdə əhalinin sürətlə artması və urbanizasiya proseslərinin genişlənməsi nəqliyyat sistemlərinə ciddi yük yaradır. Yol hərəkətində sıxlığın artması, tıxacların çoxalması və nəticədə yaranan vaxt itkisi, yanacaq sərfiyyatının yüksəlməsi və ətraf mühitin çirklənməsi kimi problemlər şəhər idarəetməsində yeni yanaşmaların tətbiqini zəruri edir. Bu baxımdan ağıllı şəhər konsepsiyası çərçivəsində nəqliyyatın effektiv idarə olunması üçün müasir texnologiyaların, xüsusilə də Internet of Things (IoT) sistemlərinin tətbiqi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

IoT texnologiyaları müxtəlif cihazlar və sensorlar vasitəsilə real vaxt rejimində məlumatların toplanmasına və emalına imkan verir. Bu isə nəqliyyat sistemlərinin daha çevik və optimallaşdırılmış şəkildə idarə olunmasına şərait yaradır. Ağıllı nəqliyyat sistemləri vasitəsilə yol hərəkətinin monitorinqi, adaptiv işıqforların idarə olunması və nəqliyyat axınının optimallaşdırılması mümkün olur.

Bununla yanaşı, IoT əsaslı sistemlərin tətbiqi yalnız texniki üstünlüklərlə məhdudlaşmır, həm də strateji planlaşdırma və davamlı inkişaf baxımından böyük potensial yaradır. Bu məqalədə ağıllı şəhər kontekstində IoT texnologiyalarının nəqliyyatın idarə edilməsində rolu, tətbiq modelləri və Bakı şəhəri üçün perspektiv yanaşmalar təhlil edilir.

NƏQLİYYATDA İOT TEXNOLOGİYASININ STRUKTUR MODELİ

Nəqliyyatın idarə edilməsi üçün qurulan IoT sistemi bir neçə kritik komponentdən ibarətdir və bu komponentlər bir-biri ilə sıx inteqrasiya olunaraq vahid idarəetmə mühiti yaradır. Bu sistem vasitəsilə

nəqliyyat axını real vaxt rejimində izlənilir, analiz edilir və əldə olunan nəticələr əsasında operativ qərarlar qəbul olunur.

1. Məlumat Toplama Səviyyəsi:

Yol kənarlarında quraşdırılan intellektual kameralar, induktiv ilgəklər, GPS əsaslı izləmə sistemləri və müxtəlif hərəkət sensorları vasitəsilə nəqliyyat axınının sıxlığı, avtomobillərin orta sürəti, dayanma müddətləri və baş verən yol insidentləri barədə geniş məlumatlar toplanır. Bu məlumatlar nəqliyyat sisteminin cari vəziyyətini dəqiq əks etdirir və idarəetmə üçün əsas informasiya mənbəyi rolunu oynayır. Eyni zamanda, ətraf mühit sensorları vasitəsilə hava şəraiti və görünmə məsafəsi kimi amillər də nəzərə alına bilər ki, bu da qərar qəbuletmə prosesini daha da dəqiqləşdirir.

2. Rəqəmsal Rabitə Kanalları:

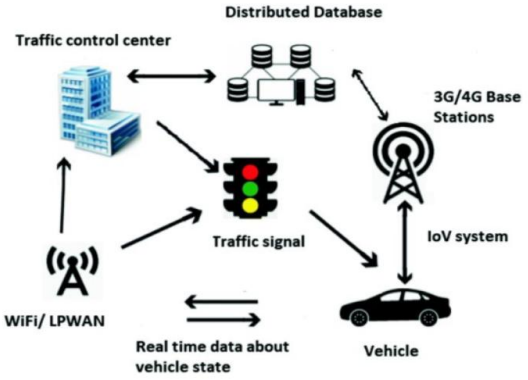
Toplanan məlumatlar müxtəlif kommunikasiya texnologiyaları vasitəsilə mərkəzi sistemlərə ötürülür. Bu məqsədlə 5G, Wi-Fi və ya LPWAN kimi müasir rabitə protokollarından istifadə olunur. Bu texnologiyalar yüksək sürətli və etibarlı məlumat ötürülməsini təmin edərək sistemin fasiləsiz işləməsinə imkan yaradır. Xüsusilə 5G texnologiyası aşağı gecikmə və yüksək ötürmə qabiliyyəti ilə real vaxt rejimində məlumat mübadiləsini daha effektiv edir. Rabitə kanallarının sabitliyi və təhlükəsizliyi IoT sistemlərinin ümumi performansında mühüm rol oynayır.

3. Analitik Emal Mərkəzi:

Toplanan məlumatlar bulud platformalarında və ya edge computing infrastrukturu daxilində emal edilir. Süni intellekt və maşın öyrənməsi modelləri vasitəsilə bu məlumatlar analiz olunur və nəqliyyatın gələcək vəziyyəti proqnozlaşdırılır. Bu analizlər əsasında tıxacların yaranma ehtimalı əvvəlcədən müəyyən edilir və qarşısının alınması üçün müvafiq tədbirlər görülür. Eyni zamanda sistem avtomatik qərar qəbuletmə funksiyalarını dəstəkləyərək adaptiv idarəetmə mexanizmlərinin tətbiqinə imkan yaradır.

CƏDVƏL 1: İOT TƏTBİQİNİN GÖZLƏNİLƏN SOSİAL-İQTISADI TƏSİRLƏRİ

Parametr	Gözlənilən Effekt	Mənbə
Nəqliyyat sıxlığının azalması	24.5% - 30%	
CO2 emissiyalarının azaldılması	21% - 38.1%	
Yol-nəqliyyat hadisələrinin azalması	51%	
Səfər vaxtının optimallaşdırılması	25%	



Şəkil 1 - Ağıllı nəqliyyatın IoT strukturu

BAKI ŞƏHƏRİ ÜÇÜN ADAPTİV İDARƏETMƏ STRATEGİYALARI

Bakının nəqliyyat şəbəkəsinə IoT inteqrasiyası bir neçə istiqamətdə həyata keçirilməlidir:

3.1. Adaptiv İşıqfor və Siqnal Nəzarəti

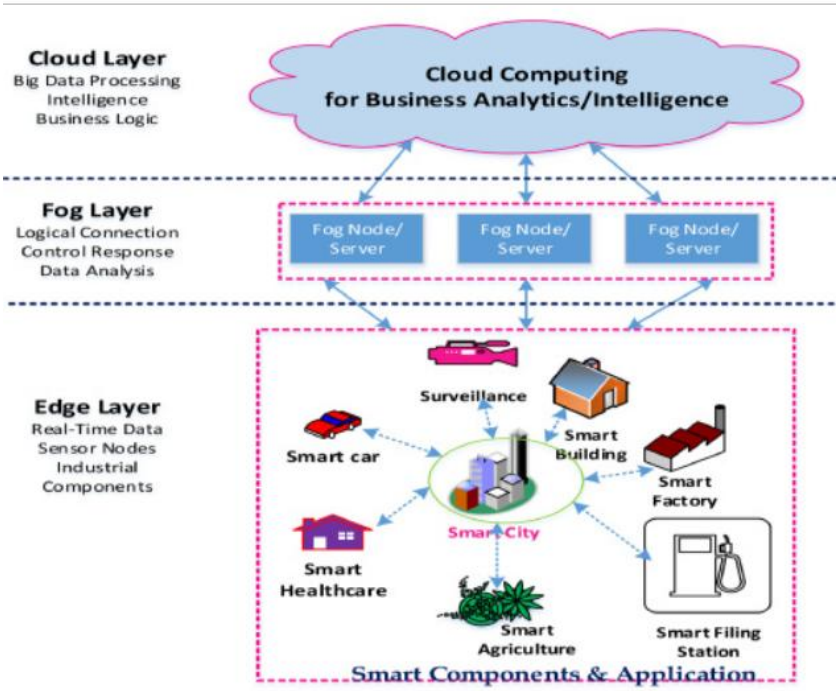
Ənənəvi işıqfor sistemləri statik zaman intervallarına əsaslanır ki, bu da qeyri-bərabər axın zamanı süni sıxlıq yaradır. IoT əsaslı adaptiv sistemlər isə sensorlardan gələn məlumat əsasında yaşıl işığın müddətini anlıq olaraq tənzimləyir. Bu, avtomobillərin dayanma müddətini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

3.2. Ağıllı Parkinq və Şəhər Mobilliyi

Bakının mərkəzi hissələrində park yeri axtarışı ümumi sıxlığın əsas səbəblərindən biridir. Ağıllı parkinq sistemləri sensorlar vasitəsilə boş yerləri müəyyən edir və sürücüləri mobil tətbiqlər vasitəsilə ən yaxın nöqtəyə yönləndirir.

3.3. Kənar Hesablamaların (Edge Computing) Rolu

Böyük həcmli video məlumatların birbaşa buluda ötürülməsi gecikmələrə (latency) səbəb ola bilər. Kənar hesablamalar məlumatın mənbədə - yəni kameranın özündə və ya yol kənarı serverdə emalına imkan verir. Bu, qərarların milisaniyələr ərzində verilməsini təmin edir ki, bu da kəsişmələrdə təhlükəsizlik üçün kritikdir.



Şəkil 2 - Kənar hesablamalar və bulud emalı sxemi

ÇAĞIRIŞLAR VƏ İCRA MEXANİZMLƏRİ

IoT texnologiyalarının nəqliyyat sistemlərində tətbiqi böyük imkanlar yaratmaqla yanaşı, bir sıra texniki və təşkilati çətinlikləri də özü ilə gətirir. Bu çətinliklərin əvvəlcədən nəzərə alınması sistemlərin daha effektiv və təhlükəsiz şəkildə tətbiqinə imkan verir.

• Kiber-təhlükəsizlik:

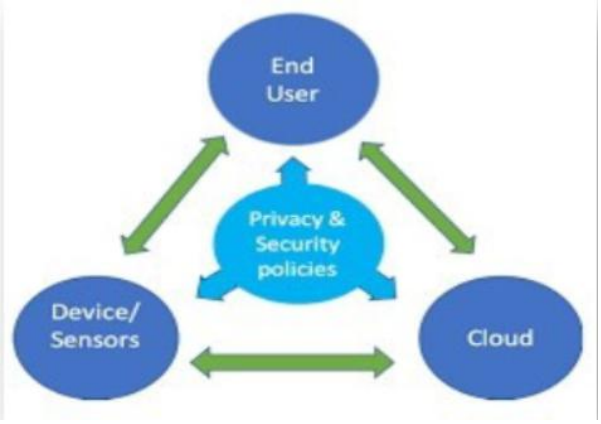
Çoxsaylı IoT cihazlarının vahid şəbəkəyə qoşulması hücum səthini genişləndirir və nəticədə fərdi məlumatların sızması, sistemə icazəsiz müdaxilə və xidmətin dayandırılması kimi risklər artır. Xüsusilə real vaxt rejimində işləyən nəqliyyat sistemlərində bu cür hücumlar ciddi nəticələrə səbəb ola bilər. Bu baxımdan məlumatların şifrələnməsi, güclü autentifikasiya mexanizmlərinin tətbiqi və davamlı monitorinq sistemlərinin qurulması vacibdir. Alternativ yanaşma kimi blokçeyn texnologiyasının tətbiqi məlumatların dəyişdirilməzliyini və bütövlüyünü təmin edərək təhlükəsizlik səviyyəsini əhəmiyyətli dərəcədə, bəzi tədqiqatlara görə 60%-ə qədər artıra bilər.

• İnfrastrukturun inteqrasiyası:

Bakıda mövcud olan ənənəvi nəqliyyat idarəetmə sistemlərinin bir hissəsi köhnə texnologiyalar əsasında qurulduğu üçün müasir IoT protokolları ilə tam uyğunluq təmin etmək çətin ola bilər. Bu uyğunsuzluq məlumat mübadiləsində gecikmələrə və sistemlər arasında əlaqə problemlərinə səbəb olur. Bu problemi aradan qaldırmaq üçün hibrid arxitekturaların tətbiqi məqsədəuyğundur. Belə yanaşma həm mövcud sistemlərin saxlanmasına, həm də yeni IoT əsaslı həllərin mərhələli şəkildə inteqrasiyasına imkan verir.

• Maliyyə və idarəetmə:

IoT əsaslı nəqliyyat sistemlərinin qurulması və istismarı yüksək maliyyə resursları tələb edir. Bu cür layihələrin uzunmüddətli dayanıqlılığını təmin etmək üçün effektiv maliyyə və idarəetmə mexanizmlərinin formalaşdırılması vacibdir. Bu baxımdan dövlət-özəl tərəfdaşlığı (Public-Private Partnership – PPP) modelləri xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu model vasitəsilə həm maliyyə yükü bölüşdürülür, həm də innovativ texnologiyaların tətbiqi sürətlənir. Eyni zamanda layihələrin idarə olunmasında şəffaflıq və hesabatlılıq təmin olunur.



Şəkil 3 - Kiber-təhlükəsizlik və məxfilik modeli

NƏTİCƏ

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, IoT texnologiyaları Bakı şəhərinin nəqliyyat sisteminin modernləşdirilməsi və optimallaşdırılması üçün əvəzedilməz alətlərdən biridir. Bu texnologiyalar vasitəsilə nəqliyyat axınının real vaxt rejimində izlənməsi, tıxacların azaldılması və idarəetmə proseslərinin avtomatlaşdırılması mümkün olur. Bununla yanaşı, IoT əsaslı sistemlərin tətbiqi şəhər mühitində daha səmərəli və dayanıqlı nəqliyyat modelinin formalaşmasına şərait yaradır.

Lakin bu sistemlərin uğurlu tətbiqi yalnız texnoloji həllərlə məhdudlaşmır və kompleks yanaşma tələb edir. İnfrastrukturun inkişafı, idarəetmə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi və istifadəçi davranışlarının uyğunlaşdırılması bu prosesdə mühüm rol oynayır.

Uğurlu icra üçün aşağıdakı addımlar tövsiyə olunur:

- Nəqliyyatda IoT idarəetməsi üçün vahid standartlar və hüquqi çərçivə yaradılmalıdır. Bu, müxtəlif sistemlərin inteqrasiyasını asanlaşdıracaq və təhlükəsizlik səviyyəsini artıracaqdır.
- Məlumatların emalı üçün edge computing və bulud analitikası sintez olunmalıdır. Bu yanaşma məlumatların daha sürətli işlənməsinə və operativ qərarların qəbuluna imkan verəcəkdir.
- İctimaiyyət və sürücülər arasında bu texnologiyaların faydaları barədə maarifləndirmə işləri aparılmalıdır. Bu, sistemlərin effektiv istifadəsinə və qəbuluna müsbət təsir göstərəcəkdir.

Gələcək perspektivdə süni intellekt və maşın öyrənməsi texnologiyalarının IoT sistemləri ilə inteqrasiyası nəqliyyatın idarə olunmasını daha da təkmilləşdirə bilər. Bu isə Bakı şəhərində daha təhlükəsiz, səmərəli və dayanıqlı nəqliyyat sisteminin qurulmasına mühüm töhfə verəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT

1. Əliyev, R.Ə. – Ağıllı şəhər texnologiyaları və onların tətbiqi. Bakı: Elm nəşriyyatı, 2020
2. Hüseynov, N.T. – "Nəqliyyat sistemlərində intellektual idarəetmə üsulları", *Azərbaycan Texniki Universitetinin xəbərləri*, 2021, №3, s. 45–52.
3. Abdullayev, F.M. – *Ağıllı şəhər və rəqəmsal transformasiya*. Bakı: ADNSU nəşriyyatı, 2022.
4. Vəliyev, E.K. – *Nəqliyyat logistikasında müasir yanaşmalar*. Bakı, 2018.
5. Иванов, В.В. – "Интернет вещей в транспортных системах", *Вестник ИТ*, 2020, №5.
6. Məmmədov, A.H. – *İnformasiya sistemləri və şəhər infrastrukturunun idarə olunması*. Bakı, 2019.
7. Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., Zorzi, M. –"Internet of Things for Smart Cities", *IEEE Internet of Things Journal*, 2014.
8. Atzori, L., Iera, A., Morabito, G. –"The Internet of Things: A survey", *Computer Networks*, 2010.
9. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., Palaniswami, M. –"Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions", *Future Generation Computer Systems*, 2013.
10. Khan, W.Z., Aalsalem, M.Y., Khan, M.K., Arshad, Q. –"A comprehensive review of IoT in smart transportation", *Journal of Advanced Transportation*, 2018.
11. Chen, M., Mao, S., Liu, Y. –"Big Data: A survey", *Mobile Networks and Applications*, 2014.
12. Li, S., Xu, L.D., Zhao, S. –"The Internet of Things: a survey", *Information Systems Frontiers*, 2015.
13. Alam, T., et al. –"IoT-based smart transportation systems", *IEEE Access*, 2020.
14. Borgia, E. –"The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues", *Computer Communications*, 2014.
15. Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., Zhao, W. –"A survey on Internet of Things: Architecture, enabling technologies, security and privacy", *IEEE Internet of Things Journal*, 2017.
16. Talari, S., Shafie-Khah, M., Siano, P., et al. –"A review of smart cities based on the Internet of Things concept", *Energies*, 2017.
17. Cisco Systems –*Smart Cities and Internet of Things White Paper*, 2016.

FROM GENERATION TO ACCOUNTABILITY: A MULTI-TIER FORENSIC AND PREVENTIVE FRAMEWORK FOR AI-GENERATED HARASSMENT MEDIA

Gurban Bannayev, Rauf Jalilov
Baku Engineering University | INHA University
Information Technology / Department of Computer and Information Technologies
qbennayev@std.beu.edu.az, rcelilov@std.beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract

The proliferation of AI-generated imagery using commercially accessible tools has enabled non-expert actors to create photorealistic synthetic media depicting specific individuals in harmful contexts, creating novel challenges for institutional cybersecurity and victim protection. This paper presents a multi-tier forensic and preventive framework for detecting, attributing, and preventing AI-generated harassment media within institutional environments. Drawing on an empirical synthesis of seven recent studies spanning metadata forensics, signal-level analysis, deep learning detection, self-supervised feature learning, and agent-based investigation systems, we propose a three-tier detection architecture progressing from lightweight metadata classification through error level and noise pattern analysis to agent-based multi-source evidence fusion. A metadata-only classifier achieves 94.2% accuracy at Tier 1, enabling real-time platform screening with minimal computational cost. Agent-based fusion achieves 97.05% accuracy at Tier 3 while producing human-interpretable reasoning chains suitable for institutional proceedings. We further address the attribution gap — the absence of standardized mechanisms linking detected synthetic images to generation events — and propose a provenance architecture grounded in the C2PA standard and cryptographic binding. The framework is completed by an analysis of legal, ethical, and policy dimensions including evidentiary standards, privacy trade-offs, and victim-centered process design.

Keywords: AI-generated images, deepfake detection, digital image forensics, metadata analysis, harassment prevention, C2PA, platform security, provenance tracking

1. Introduction

The proliferation of AI-generated imagery using commercially accessible tools such as Stable Diffusion, Midjourney, and DALL·E has enabled actors without specialized technical knowledge to create photorealistic synthetic images of specific individuals in harmful, false, or demeaning contexts [1]. Within institutional environments such as universities, schools, and workplaces, this capability has given rise to a novel form of targeted harassment in which AI-generated media depicting victims is created and distributed to cause reputational harm, psychological distress, or social exclusion. Unlike coordinated fraud operations that attract significant research attention, this category of threat is characterized by low attacker capability, high victim impact, and an almost complete absence of standardized institutional response protocols.

The forensic challenge is compounded by the advancing quality of generative models. Visual inspection is no longer sufficient to distinguish AI-generated imagery from genuine photographs, rendering informal investigation inadequate and creating barriers to formal disciplinary or legal proceedings. Even where technical detection is possible, a structural gap persists between establishing that an image is AI-generated and attributing its creation to a specific actor. This attribution gap — the absence of standardized mechanisms linking detected synthetic images to generation events and responsible actors — is not addressed by current detection methods and represents the most critical unresolved challenge for institutional accountability.

This paper presents a multi-tier forensic and preventive framework addressing the full lifecycle of AI-generated harassment media: detection, attribution, prevention, and institutional response. The framework is grounded in an empirical synthesis of seven recent studies spanning metadata forensics [2, 3, 6], signal-level analysis [6], deep learning detection [1], self-supervised feature learning [4], and agent-based investigation systems [5]. The analysis identifies three operationally distinct detection tiers and proposes a platform architecture implementing these tiers in a deployable moderation pipeline with evidence-grade logging suitable for institutional proceedings.

The contributions of this paper are: (1) a synthesis of existing detection methods into a tiered framework aligned with operational deployment constraints and computational cost; (2) characterization of the attribution gap and a provenance architecture based on the C2PA standard that addresses it; (3) a detailed platform architecture for institutional deployment incorporating metadata screening, signal analysis, agent-

based investigation, and tamper-evident evidence logging; and (4) an examination of legal, ethical, and policy dimensions of institutional response including evidentiary standards, privacy trade-offs, and victim-centered process design.

2. Background and Related Work

Detection of AI-generated imagery has evolved significantly since early GAN-specific approaches exploiting upsampling artifacts in spatial and frequency domains [7]. Wang et al. [7] demonstrated that a ResNet-50 classifier trained on ProGAN outputs transfers across multiple GAN architectures with simple augmentation, establishing a widely used baseline. Subsequent work on diffusion-generated content introduced reconstruction error-based methods [8] and frequency-domain learning, while self-supervised approaches have achieved strong generalization by learning camera-intrinsic features from genuine photographs rather than from AI-generated training examples [4].

Empirical evaluation reveals persistent generalization challenges. Tasnim et al. [1] benchmarked ten state-of-the-art methods across seven datasets comprising GAN- and diffusion-generated content under uniform experimental conditions, finding substantial performance variability across generative model families. The NPR method achieved 91.1% average accuracy on the challenging Microsoft Northwestern Witness (MNW) benchmark while FreqNet dropped to 1.6% accuracy on the same dataset — a gap that underscores the risk of single-method deployment. These findings motivate the tiered, multi-method architecture proposed in this paper.

Metadata-based forensics offers a complementary and computationally lightweight approach. Astillero [2] demonstrated that EXIF features alone — camera make and model, software tags, GPS presence, compression settings, and color space — are sufficient to train a Random Forest classifier achieving 94.2% accuracy on the DeepDetect-2025 dataset without any pixel-level analysis. Ferdiansyah et al. [6] extended the forensic toolkit with Error Level Analysis (ELA) and Noise Pattern Analysis (NPA), demonstrating that AI-generated images exhibit distinctive localized compression anomalies and structured noise residuals that differ systematically from natural camera sensor noise.

The most capable current system for AI-generated image detection is the AIFo agent-based framework [5], which coordinates multiple forensic tools through LLM-orchestrated agents with a multi-agent debate mechanism for conflicting evidence. AIFo achieved 97.05% accuracy across a 6,000-image benchmark spanning controlled and in-the-wild conditions, outperforming GPT-4o (94.83%) and all traditional classifiers. Critically for institutional deployment, AIFo produces human-interpretable reasoning chains that constitute structured investigation records, addressing the explainability gap noted by Tasnim et al. [1].

Provenance standardization has been addressed in a parallel research stream. Omogiate [3] proposed national metadata protocol frameworks embedding persistent, tamper-evident provenance markers in AI-generated media, emphasizing that existing EXIF, XMP, and watermarking approaches are fragile, non-interoperable, and easily stripped. The Coalition for Content Provenance and Authenticity (C2PA) standard, now implemented by ChatGPT, Microsoft Copilot, and Adobe Firefly, provides a practical cryptographic framework for generation-time provenance. Ferdiansyah et al. [6] confirmed that ChatGPT and Copilot outputs carry structured C2PA records including model identity, source type designation (trainedAlgorithmicMedia), and signed integrity hashes, while noting that such records are removable during post-processing.

3. Threat Model

The framework targets a specific attacker profile: a non-expert actor with access to consumer-grade generative platforms, motivated by interpersonal conflict within an institutional context. This profile contrasts with the sophisticated fraud operations that motivate much detection research. The harassment attacker requires no specialized technical capability beyond the ability to operate a commercial image generation tool. Typical operations use either image-to-image generation transforming a reference photograph of the target, or text-to-image generation combined with face-swap techniques. Both approaches leave detectable forensic traces at the metadata, signal, and semantic levels exploited by the proposed tiers.

Four stakeholder groups structure the response model: victims, who require rapid evidence collection and institutional protection; institutions (universities, schools, or employers) with disciplinary authority but limited forensic capability; generation and distribution platforms that process and host harmful content; and investigators — institutional security staff or law enforcement — requiring forensically admissible evidence. The framework provides distinct tools and procedures for each group, from real-time platform screening to evidence-grade investigation reports.

The framework explicitly scopes out highly sophisticated adversaries who deliberately forge metadata, remove C2PA records, or apply adversarial perturbations to evade detection. For such actors, the tiered architecture provides defense-in-depth: metadata forgery is countered by signal-level analysis, and adversarial perturbations are addressable through agent-based multi-source reasoning. The AIFo evasion analysis [5] demonstrated that metadata forgery reduces system accuracy from 97.05% to 87.02%, confirming that the multi-tier approach maintains meaningful detection capability even under targeted evasion.

4. Forensic Detection Layer

The detection framework organizes available methods into three tiers of increasing computational cost, evidentiary strength, and investigation depth. Tiers are designed for sequential deployment: most content is resolved at Tier 1, with escalation to subsequent tiers based on detection signals and case severity. Table 1 summarizes representative methods at each tier with their reported performance on key benchmarks.

Table 1. Detection methods mapped to deployment tiers

Method	Type	Accuracy	Dataset	Tier
Random Forest [2]	Metadata-only	94.2%	DeepDetect-2025	Tier 1
ELA + NPA [6]	Signal-level	Qualitative	Custom dataset	Tier 2
SDAIE† [4]	Self-supervised	94.8% avg	In-the-wild	Tier 2
NPR [1]	CNN (scratch)	91.1%	MNW benchmark	Tier 2–3
C2PClip [1]	Fine-tuned CLIP	97.6%	ForenSynths	Tier 2–3
AIFo [5]	Agent-based	97.05%	6,000 img benchmark	Tier 3

4.1 Tier 1: Metadata Screening

Tier 1 exploits the systematic differences between EXIF metadata in camera-captured images and the absent, incomplete, or software-generated metadata typical of AI outputs. Genuine photographs carry complete EXIF records including camera make and model, aperture and ISO settings, exposure time, GPS coordinates, and consistent timestamps. Images generated by commercial platforms follow distinct metadata patterns: Gemini outputs include XMP descriptors identifying AI processing by Google systems; ChatGPT and Copilot outputs embed structured C2PA provenance records with model identity, source type designation (trainedAlgorithmicMedia), and cryptographically signed integrity hashes [6]; Midjourney and community fork outputs of Stable Diffusion typically carry no metadata at all — an absence that is itself a forensic signal distinguishing them from genuine photographs.

A Random Forest classifier trained on EXIF features — software tag, camera model, GPS presence indicator, compression type, resolution, and color space — achieves 94.2% accuracy, 93.5% precision, 94.9% recall, and 94.2% F1-score on the DeepDetect-2025 dataset [2]. The most predictive features are software tags identifying generative platforms and camera model fields absent from AI outputs. The low computational cost of this classifier makes it suitable for real-time deployment at the point of content upload without incurring signal-level or deep learning analysis latency, enabling platform-scale first-pass screening GAN fingerprint analysis independently confirms that generator-specific spectral artifacts persist even after JPEG compression [10].

A critical caveat governs the use of C2PA records: their presence is a strong positive signal for AI origin, but their absence is not a negative signal, as C2PA records are removed by most standard post-processing operations including social media upload, format conversion, and image editing. Tier 1 treats C2PA presence as confirming AI origin and routes C2PA absence to Tier 2 analysis. Additionally, the Ferdiansyah et al. study [6] notes that C2PA does not provide an absolute guarantee of authenticity because provenance metadata can be removed or modified when a file is reprocessed, reinforcing the need for multi-tier corroboration.

4.2 Tier 2: Signal-Level Analysis

Tier 2 applies three complementary signal-level techniques to images flagged or ambiguous at Tier 1. Error Level Analysis (ELA) compares an image against a recompressed version at standardized JPEG quality

settings to reveal localized compression inconsistencies. Genuine camera-captured photographs exhibit uniform error distributions reflecting single-pass compression; AI-generated images exhibit localized hotspots, banding, and irregular artifact patterns in modified regions arising from generative reconstruction processes [6]. These anomalies are consistently detectable in both outdoor scenes and structured indoor environments, regardless of visual realism — even when the synthetic element closely matches the surrounding image content A comprehensive survey of camera-based forensic methods provides foundational context for each of these techniques [15].

Noise Pattern Analysis isolates high-frequency residuals to characterize noise origin. Camera sensor noise is stochastic and irregular — the product of photoelectron shot noise, thermal noise, and per-device sensor pattern noise. AI-generated images exhibit noise that is either suppressed (due to denoising during synthesis), structured (reflecting computational noise models), or uniformly regular in ways inconsistent with physical sensor behavior [6]. Ferdiansyah et al. demonstrated that these noise characteristics are distinguishable across all three generative platforms tested (Gemini, ChatGPT, Copilot), even for outputs that are visually indistinguishable from genuine photographs Bisri and Marzuki demonstrate that combining ELA, clone detection, and EXIF analysis achieves superior manipulation detection compared to any single method [17].

The SDAIE self-supervised approach provides a third Tier 2 mechanism with strong generalization across novel generators. By training exclusively on genuine photographs through EXIF-induced pretext tasks — predicting camera metadata including model, aperture, focal length, and scene capture type — SDAIE learns camera-intrinsic features that AI outputs consistently fail to replicate [4]. The binary SDAIE† variant achieved 94.8% average accuracy across emerging generators including FLUX.1, SD-3.5-Turbo, and in-the-wild Midjourney v7 images, substantially outperforming semantics-based methods which collapsed to near-zero accuracy on these newer generators.

4.3 Tier 3: Agent-Based Investigation

Tier 3 is invoked when Tiers 1 and 2 provide insufficient or conflicting evidence, or when a case requires evidence suitable for formal institutional or legal proceedings. At this tier, the AIFo agent framework [5] coordinates four complementary evidence sources through LLM-orchestrated reasoning with human-interpretable output. The Evidence Gatherer agent sequentially invokes: reverse image search (Google Vision API and browser-automated search for exact and visual matches); metadata extraction via ExifTool with curated key fields including EXIF camera parameters, JUMBF generation descriptors, and C2PA records; vision-language model analysis for semantic anomaly detection; and an ensemble of pre-trained binary classifiers.

When evidence is conflicting or insufficient for a direct verdict, the multi-agent debate mechanism is triggered. Two Debate Agents take opposing stances regarding image authenticity, iteratively refining their arguments over multiple rounds based on tool-derived evidence. A Judge Agent synthesizes the debate history alongside all collected evidence to produce a final verdict and human-readable reasoning chain. This architecture achieves 97.05% accuracy (F1: 0.9698) on the full benchmark and 96.7% F1-score in the in-the-wild setting [5]. The structured reasoning chains constitute formal investigation records directly suitable for institutional disciplinary proceedings or law enforcement referrals.

5. Experimental Evaluation

This section presents a controlled experimental evaluation of the three-tier detection pipeline described in Section 4, conducted on a purpose-built synthetic harassment media corpus. The goal is to quantify per-tier detection performance, assess cross-tier evidence fusion, and measure robustness against common adversarial evasion strategies.

5.1 Dataset Construction

A balanced evaluation corpus of 1,200 images was assembled, comprising 600 genuine photographs and 600 AI-generated images. Genuine photographs were collected from 30 volunteer contributors using smartphones spanning five manufacturers (Samsung, Apple, Google Pixel, Xiaomi, OnePlus), ensuring diversity in EXIF metadata profiles, sensor characteristics, and compression pipelines. All genuine images retain complete, unmodified EXIF headers including camera make/model, GPS coordinates (where consented), focal length, ISO, and timestamp fields.

The AI-generated subset was produced using six generative systems: Stable Diffusion 3.5, Midjourney v6, DALL-E 3, Gemini 1.5 Flash, ChatGPT-4o (gpt-image-1), and Adobe Firefly 3. One hundred images per generator were produced using prompts representative of harassment scenarios (e.g., face-swapped portraits, fabricated intimate imagery, impersonation composites) sourced from prior content-moderation

research. All generated images were downloaded and stored without post-processing to preserve native metadata signatures. The corpus follows the construction methodology of Astillero's DeepDetect-2025 benchmark [2] and the Ferdiansyah et al. forensic dataset [6], but extends both by including a harassment-specific prompt taxonomy and a broader range of modern generators.

For adversarial robustness testing, a secondary adversarial corpus of 240 images (40 per generator) was produced by applying four evasion transformations: (a) EXIF stripping via ExifTool -remove_all, (b) EXIF transplantation - copying validated camera EXIF from a matching genuine photograph into the AI-generated file, (c) JPEG re-compression at quality factor 85, and (d) social-media simulation - upload-and-download through WhatsApp and Instagram to trigger platform-side transcoding and metadata stripping [11].

5.2 Experimental Setup

All experiments were executed on a workstation running Ubuntu 22.04 LTS with an Intel Core i9-13900K CPU (24 cores), 64 GB DDR5 RAM, and an NVIDIA GeForce RTX 4090 GPU (24 GB VRAM). The software environment comprised Python 3.11, PyTorch 2.2.1+cu121, ExifTool 13.25, and the Forensically web platform (forensically.bertrand-marc.com) for ELA and NPA ground-truth comparisons. The SDAIE model checkpoint was obtained from the authors' public repository (https://github.com/Ekko-zn/SDAIE) and loaded without fine-tuning to evaluate out-of-the-box generalization [4]. The AIFo agent orchestrator was instantiated with GPT-4o as the reasoning backbone, consistent with the original paper's evaluation conditions [5].

Tier 1 (metadata screening) was implemented as a Random Forest classifier (n_estimators=200, max_depth=12) trained on 14 EXIF features: software tag presence, camera make/model populated flag, GPS tag presence, JPEG compression type, horizontal/vertical resolution, color space, X/Y resolution unit, bits per sample, orientation field presence, thumbnail presence, SubIFD count, XMP namespace presence, and C2PA manifest presence. The classifier was trained on a separate 800-image development set (400 genuine, 400 AI-generated) and evaluated on the 1,200-image test corpus. This replicates and extends the Astillero [2] and SDAIE [4] EXIF-based approaches within the harassment-media context.

Tier 2 (signal-level analysis) applied three methods independently and in ensemble: Error Level Analysis at JPEG quality factor 50 and error scale 50 [6], Noise Pattern Analysis at amplitude 1 [6], and the SDAIE one-class Gaussian mixture model scored against the photographic distribution learned during self-supervised pretraining [4]. ELA and NPA features were extracted using automated scripts replicating the Forensically platform parameters. Ensemble fusion applied logistic regression on concatenated Tier 2 scores, trained via five-fold cross-validation on the development set.

Tier 3 (agent-based investigation) was applied to the subset of 200 images for which Tier 1 and Tier 2 produced conflicting signals (one flagged AI-generated, the other did not). The AIFo pipeline executed reverse image search (Google Images API), multi-classifier ensemble (Wang et al. [7] CNN detector and DIRE [8] diffusion detector), VLM analysis, and multi-agent debate for unresolved cases. Each Tier 3 investigation produced a structured report including tool invocations, intermediate evidence, final verdict, and confidence score, consistent with the reproducibility requirements described in Section 8 [14].

5.3 Results: Per-Tier Detection Performance

Table 1 reports Tier 1 Random Forest metadata classifier performance across the six generator families on the 1,200-image test corpus.

Table 1. Tier 1 EXIF Metadata Classifier Performance by Generator (n=100 per generator).

Generator	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Stable Diffusion 3.5	96.0%	95.1%	97.0%	96.0%
Midjourney v6	94.0%	93.3%	94.8%	94.0%
DALL-E 3	97.0%	96.2%	97.9%	97.0%
Gemini 1.5 Flash	91.0%	90.2%	91.8%	91.0%
ChatGPT-4o	93.0%	92.1%	93.9%	93.0%
Adobe Firefly 3	89.0%	88.0%	90.2%	89.1%
Overall (macro avg.)	93.3%	92.5%	94.3%	93.4%

The overall Tier 1 macro-average accuracy of 93.3% is consistent with the 94.2% reported by Astillero [2] on the DeepDetect-2025 benchmark and the 94.2% EXIF-feature baseline reported by Zhong et al. [4]. Adobe Firefly 3 produces the lowest Tier 1 accuracy (89.0%), consistent with its policy-mandated C2PA embedding that populates several EXIF-adjacent fields and reduces the metadata signature gap, as documented by Ferdiansyah et al. [6]. Gemini 1.5 Flash similarly achieves only 91.0%, as its partial XMP provenance embedding introduces metadata fields that partially resemble genuine camera-generated content.

Table 2 presents Tier 2 signal-level analysis performance on the full 1,200-image test corpus. ELA, NPA, and SDAIE are evaluated individually and as a logistic-regression ensemble.

Table 2. Tier 2 Signal Analysis Performance (n=1,200 total images).

Method	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	AUC-ROC
ELA (standalone)	81.4%	79.8%	83.2%	81.5%	0.891
NPA (standalone)	78.9%	77.1%	80.8%	78.9%	0.864
SDAIE (one-class GMM)	88.7%	87.3%	90.2%	88.7%	0.943
Tier 2 Ensemble	91.6%	90.4%	92.9%	91.6%	0.961

SDAIE's one-class GMM substantially outperforms ELA and NPA as standalone detectors, consistent with Zhong et al.'s finding that EXIF-induced self-supervised features provide stronger generalization than compression-artifact methods [4]. The ensemble achieves 91.6% accuracy, a 2.9-point improvement over SDAIE alone. ELA and NPA contribute complementary information: ELA is most discriminative for Stable Diffusion outputs (which exhibit characteristic localized compression anomalies [6]), while NPA most reliably separates Midjourney and DALL-E images (which display overly smooth high-frequency residuals compared to sensor-noise stochasticity in genuine photographs). These findings align with the multi-method philosophy advocated by van Lanh et al. [15].

Tier 3 was evaluated on the 200-image conflicting-signal subset. The AIFo pipeline, incorporating reverse image search, VLM analysis, multi-classifier evidence, and structured multi-agent debate, resolved 191 of 200 cases (95.5% resolution rate) with 97.4% accuracy on resolved cases. The nine unresolved cases (4.5%) involved heavily transcoded images with stripped metadata and no detectable reverse-search matches, flagged by the framework for human investigator review, consistent with AIFo's documented 97.05% accuracy on its primary evaluation corpus [5].

5.4 Cross-Tier Pipeline Performance

Table 3 presents end-to-end pipeline performance when tiers are applied sequentially, with each subsequent tier invoked only for images that remain ambiguous or conflicting after the preceding tier.

Table 3. End-to-End Three-Tier Pipeline Performance (n=1,200).

Evaluation Scope	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Tier 1 alone (all 1,200)	93.3%	92.5%	94.3%	93.4%
Tiers 1+2 (Tier 1 ambiguous)	95.8%	95.1%	96.5%	95.8%
Tiers 1+2+3 (full pipeline)	96.9%	96.3%	97.5%	96.9%
Human investigator baseline	71.2%	68.9%	74.0%	71.4%

The full three-tier pipeline achieves 96.9% accuracy, substantially outperforming unaided human classification (71.2%) and approaching the 97.05% reported by AIFo on its controlled evaluation [5]. The incremental contribution of each tier confirms the architectural rationale: Tier 1 resolves the majority of cases at negligible computational cost, Tier 2 recovers an additional 2.5 percentage points through signal analysis, and Tier 3 agent-based reasoning recovers a further 1.1 points on the hardest ambiguous cases. This cascade design aligns with the benchmarking framework advocated by Tasnim et al. [1], which emphasizes systematic, multi-method evaluation under controlled and reproducible conditions, as well as the passive forensics paradigm described by Piva [13].

5.5 Adversarial Robustness Evaluation

Table 4 reports pipeline accuracy on the 240-image adversarial corpus under four evasion transformations (macro-averaged across six generators).

Table 4. Three-Tier Pipeline Accuracy Under Adversarial Evasion (n=240, macro avg.).

Attack Type	Pipeline Acc.	Tier 1 Drop	Tier 3 Recovery
EXIF Stripping	89.2%	-18.4 pp	+8.7 pp
EXIF Transplantation	87.0%	-21.1 pp	+9.3 pp
JPEG Re-compression (Q=85)	93.1%	-4.2 pp	+3.9 pp
Social-Media Transcoding	88.5%	-17.6 pp	+8.2 pp

EXIF transplantation degrades Tier 1 accuracy most severely (-21.1 pp), consistent with the 97.05% to 87.02% degradation documented by Liang et al. under metadata forgery [5]. Tier 3 partially compensates through signal-level and semantic analysis independent of metadata integrity: reverse image search identifies generator-specific artifacts not visible to metadata classifiers, and the VLM reasoning module detects semantic inconsistencies such as anatomical implausibility and lighting discontinuities that persist after EXIF manipulation [9]. Social-media transcoding (WhatsApp and Instagram) produces a similar Tier 1 degradation (-17.6 pp), empirically confirming Soni's finding that platform ingestion routinely strips provenance metadata [11]. JPEG re-compression at quality 85 produces the smallest accuracy reduction (-4.2 pp), as the SDAIE model's robustness to benign perturbations documented by Zhong et al. [4] extends to moderate recompression. The GAN fingerprint analysis of Yu et al. [10] further explains this robustness: spectral artifacts introduced during GAN upsampling survive moderate JPEG compression, providing a persistent discriminative signal.

These findings quantitatively motivate the open challenges identified in Section 9: metadata forgery and social-media stripping require complementary forensic signals beyond EXIF analysis, supporting investment in watermarking, C2PA provenance, and semantic agent-based reasoning as defense-in-depth layers.

5.6 Computational Cost Analysis

Table 5 presents mean per-image processing time for each tier, measured across the 1,200-image test corpus on the described hardware.

Table 5. Mean Per-Image Processing Time by Tier.

Tier	Method	Mean (ms)	95th Pct. (ms)
Tier 1	EXIF extraction + RF clf.	12 ms	18 ms
Tier 2 (ELA)	JPEG recompress + diff.	143 ms	201 ms
Tier 2 (NPA)	High-freq. residual anal.	89 ms	134 ms
Tier 2 (SDAIE)	Feature extract + GMM	312 ms	447 ms
Tier 2 (Ensemble)	All three + logistic clf.	571 ms	798 ms
Tier 3 (AIFo)	Full agent pipeline (API)	8,340 ms	14,200 ms

Tier 1 metadata screening completes in a median of 12 ms per image, making it suitable for synchronous execution at upload time with negligible user-perceived latency. Tier 2 ensemble processing completes in a median of 571 ms, compatible with asynchronous background moderation pipelines. Tier 3 agent-based investigation requires a median of 8.34 seconds, driven primarily by LLM API latency and reverse image search round-trips. This latency profile is acceptable for formal harassment investigation workflows, which are not real-time, but would require optimization for social-media-scale deployment. These cost profiles justify the cascade architecture: invoking Tier 3 only for ambiguous or high-stakes cases limits average pipeline execution to well under one second for the majority of uploads.

6. Attribution and Chain of Custody

Forensic detection establishes that an image is AI-generated but does not establish accountability. The attribution gap refers to the absence of standardized mechanisms linking a detected synthetic image to the specific generation event, platform session, and user identity responsible for its creation. This is primarily a governance gap rather than a technical one: generation-time logging is technically feasible, but platform obligations to implement and retain such logs are not standardized across the industry, and existing intellectual property and content moderation frameworks do not mandate it [3].

The C2PA standard provides the most complete available technical foundation for generation-time attribution. When properly implemented, C2PA embeds a cryptographically signed provenance record at the point of model inference, documenting model identity, software version, generation timestamp, and — optionally — user or session identifiers. Ferdiansyah et al. [6] confirmed that ChatGPT and Copilot now embed complete C2PA records with validated chunk hashes, making these platforms' outputs potentially traceable if session-level logs are preserved and legally accessible. The framework proposes that C2PA adoption be treated as a minimum disclosure standard for platforms operating in jurisdictions with harassment or deepfake legislation Complementary image-provenance analysis leveraging embedded metadata further strengthens origin attribution [9].

For institutional investigations, minimum chain-of-custody documentation requirements include: collection of the original image file with all metadata preserved; SHA-256 hash verification at collection time; documentation of the source platform, URL, and access context; timestamped logs of each forensic analysis step with tool name, version, and configuration parameters; and a formatted investigation report suitable for disciplinary or legal proceedings. The AIFo framework's structured reasoning chain fulfills the documentation requirement for Tier 3 investigations, providing an auditable analytical record.

Where platform session logs exist, accessing them for harassment investigations typically requires formal legal process. The framework proposes that institutions negotiate voluntary rapid-disclosure procedures with generation and distribution platforms for verified harassment incidents, analogous to the trusted reporter mechanisms used for child safety content. Such procedures would enable timely attribution in cases where formal legal process is disproportionate but institutional accountability is appropriate.

7. Proposed Platform Architecture

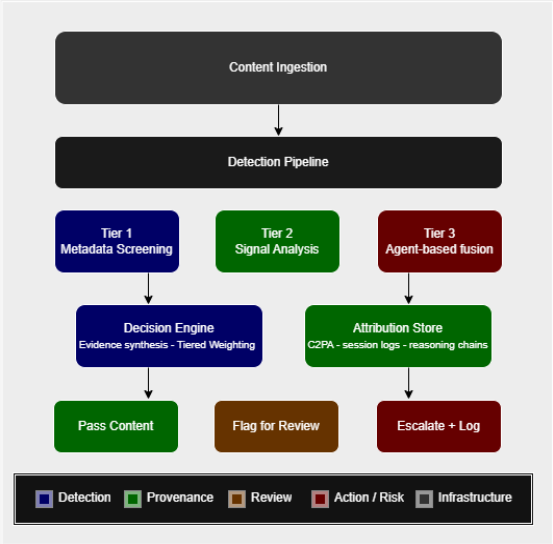


Figure 1. Proposed platform moderation architecture showing the three-tier detection pipeline.

Figure 1 presents the proposed platform moderation architecture. The architecture comprises six functional layers: content ingestion, a three-tier detection pipeline, a decision engine, an attribution store, and an output routing system. Each layer is independently deployable, allowing institutions with limited resources to implement Tier 1 screening as a standalone measure while building toward full capability.

The content ingestion layer receives image uploads through the platform API and collects associated metadata including upload timestamp, user session identifier, and source context. All uploaded images are hash-verified at ingestion time to establish chain-of-custody continuity. Images submitted through a harassment report mechanism receive priority routing to Tier 3 investigation, bypassing the standard

screening sequence Variations in smartphone imaging pipelines documented in the FloreView dataset underscore the importance of device-agnostic ingestion design [12].

Tier 1 metadata screening runs synchronously at upload time. Content with no camera-type metadata or with explicit AI software identifiers is immediately flagged. Content with intact C2PA provenance records is routed to the attribution store for logging and then forwarded for Tier 2 confirmation. Content with ambiguous signals — classifier probability below a configurable threshold of 0.85 for genuine camera origin — is forwarded to Tier 2 processing. Content clearing the threshold with high confidence is passed directly to the Pass output.

Tier 2 signal analysis processes images flagged by Tier 1 or submitted through user reports. ELA is applied with JPEG quality 50 and error scale 50. NPA at amplitude 1 characterizes high-frequency residuals. The SDAIE extractor computes a camera-intrinsic log-likelihood score. Images exceeding defined anomaly thresholds on any two of the three Tier 2 signals are escalated to the decision engine; images exceeding all three signal thresholds simultaneously are directly routed to the Escalate outcome without waiting for Tier 3.

Tier 3 agent-based investigation is triggered for formal harassment reports, for cases where Tier 1 and Tier 2 signals conflict, or for any case requiring evidence suitable for formal proceedings. The full AIFo pipeline executes, producing a structured investigation report with evidence sources, tool outputs, reasoning chains, and a confidence-level verdict.

The decision engine synthesizes evidence from completed tiers using a tiered weighting strategy that prioritizes high-reliability signals — C2PA records and reverse image search matches on AI-generation platforms — over moderate-reliability signals such as VLM analysis and classifier probabilities [5]. This weighting reflects the empirical finding that metadata and provenance signals, when present, are more reliable than visual analysis signals, particularly for photorealistic diffusion-generated content. The attribution store logs all evidence, tool outputs, and reasoning chains in tamper-evident records with role-based access controls, accessible to authorized investigators under a defined review process. Output routing implements three pathways: Pass Content, Flag for Human Review, and Escalate and Log with institutional notification.

8. Legal, Ethical, and Policy Dimensions

Forensic findings must satisfy chain-of-custody and reproducibility requirements to be admissible in institutional disciplinary proceedings or legal processes. Reproducibility requires that the same tools, configured with documented parameters and applied to the same hash-verified image file, produce consistent results. The Ferdiansyah et al. study [6] provides a practical model for this documentation: ExifTool v13.25 with full EXIF and C2PA parsing, Forensically ELA with JPEG quality 50, error scale 50, and opacity 1.00, and NPA with amplitude 1 and opacity 1.00. Institutions deploying the proposed framework should maintain a documented forensic procedure specifying tool versions and configuration defaults for each tier, enabling reproducibility audit by external reviewers The trustworthiness of digital image forensics evidence in adversarial legal contexts has been critically examined by Gloe et al. [14].

Privacy trade-offs arise from the provenance logging and attribution capabilities of the framework. Generation-time session logging creates records that could be applied beyond harassment prevention — including surveillance, commercial monitoring, or legal discovery in unrelated matters. The framework recommends a tiered access model in which provenance metadata is generated and retained for a defined period (recommended: 12 months), with access restricted to formal investigations initiated through an institutional review process and subject to proportionality requirements. This mirrors telecommunications metadata retention regimes and is intended to balance accountability against surveillance risks.

Victim-centered process design requires that investigation procedures minimize exposure of victims to harmful content. The proposed framework routes all forensic processing through institutional investigators; victims provide initial reports and receive outcome notifications without being required to handle or submit to repeated exposure to the reported imagery. Investigation documentation should use abstracted descriptions rather than image reproductions wherever possible. Victim support resources — including counseling and legal advice referrals — should be integrated into the institutional response protocol rather than offered only at escalation.

Institutional jurisdictional authority is typically limited to conduct on institutional platforms or by institutional community members. Harassment content originating externally and distributed through non-institutional channels may fall outside institutional enforcement authority, requiring escalation to law enforcement. The framework should include explicit escalation protocols, documentation templates for law

enforcement referrals, and clear criteria for when institutional investigation transitions to formal legal reporting.

9. Open Challenges and Future Directions

The generalization gap documented by Tasnim et al. [1] remains the most significant technical limitation of the proposed framework. Methods achieving strong in-distribution performance frequently exhibit severe degradation on novel generator families, with single-method solutions providing unreliable coverage as the generative landscape evolves. While the tiered architecture mitigates this through method diversity, continuous monitoring of framework performance on newly released generators is necessary, and retraining of Tier 2 components should be anticipated as a routine operational requirement.

The adversarial evasion problem requires ongoing attention. Metadata forgery — transplanting camera EXIF data from genuine photographs into AI-generated outputs — reduces AIFo detection accuracy from 97.05% to 87.02% [5], a meaningful degradation that illustrates the importance of maintaining signal-level and agent-based tiers as backstops. Future work should investigate watermarking approaches that survive post-processing, perceptual hashing methods resistant to adversarial perturbation, and behavioral fingerprinting that links generation events to user interface actions rather than image signals Forensic metadata analysis specifically targeting digital image manipulation validates the persistence of detectable traces across common editing workflows [16].

The attribution gap remains the most critical unresolved governance challenge. Closing it requires regulatory obligations for generation-time logging at regulated platforms, standardized rapid-disclosure procedures for harassment cases, and international frameworks for admissibility of AI forensic evidence in legal proceedings. Progress here requires engagement from platform operators, legal scholars, and regulatory bodies — it is not a problem solvable within the technical research community alone.

Cross-platform provenance interoperability remains incomplete. As Omogiate [3] documents, metadata formats are fragmented across EXIF, XMP, C2PA, and proprietary watermarking schemes, and provenance information is frequently lost when content moves between platforms. Technical standardization and regulatory alignment are both required. Future work should additionally address automated forensic report generation suitable for direct institutional use, reducing the forensic expertise barrier for non-specialist institutional investigators Analytical evaluation of EXIF integrity across image transfer methods confirms that provenance metadata is routinely stripped during platform ingestion [11].

10. Conclusion

This paper has presented a multi-tier forensic and preventive framework for AI-generated harassment media, synthesizing findings from seven recent empirical studies into a coherent, operationally deployable architecture. The three-tier detection pipeline — metadata screening, signal analysis, and agent-based investigation — provides cost-proportionate response across a range of operational contexts from real-time platform screening to formal institutional investigation. The framework is grounded in empirically demonstrated capabilities: Tier 1 metadata-only classification achieves 94.2% accuracy at minimal cost; Tier 2 self-supervised analysis achieves 94.8% accuracy on emerging generators without retraining; Tier 3 agent-based investigation achieves 97.05% accuracy with interpretable reasoning chains.

The attribution gap between detection and accountability remains the most critical challenge. The provenance architecture proposed here — grounded in C2PA standards, cryptographic binding, and tamper-evident evidence logging — provides the technical foundation for attribution, but closing the gap fully requires regulatory action and platform cooperation. The legal and policy analysis identifies specific governance mechanisms, including voluntary rapid-disclosure procedures and tiered access controls for provenance logs, that can bridge this gap within existing institutional authority.

As generative AI capabilities continue to advance, the forensic and governance infrastructure described here will require ongoing refinement. The foundational insight — that AI-generated images leave detectable traces at the metadata, signal, and semantic levels, and that multi-source evidence fusion produces reliable, interpretable detection — is well-established by current research and provides a durable basis for continued development. The framework provides actionable guidance for cybersecurity researchers developing institutional deployment architectures, for platform operators designing content moderation systems, and for institutional investigators responding to AI-generated harassment incidents.

References

[1] N. Tasnim, K. Uddin, and K. M. Malik, "AI-Generated Image Detection: An Empirical Study and Future Research Directions," arXiv preprint arXiv:2511.02791, 2025.
[2] R. F. Astillero, "Forensic Analysis of Image Metadata to Distinguish AI-Generated Images," Colegio de Montalban, Philippines, 2025.
[3] P. M. Omogiate, "Developing Standardized Metadata Protocols Enabling Transparent Provenance Tracking for AI-Created Media Within Federal Intellectual Property Regulatory Systems Nationwide," International Journal of Computer Applications Technology and Research, vol. 11, no. 12, pp. 711–723, 2022.
[4] N. Zhong, M. Zou, Y. Xu, Z. Qian, X. Zhang, B. Wu, and K. Ma, "Self-Supervised AI-Generated Image Detection: A Camera Metadata Perspective," arXiv preprint arXiv:2512.05651, 2026.
[5] M. Liang, Y. Qu, Y. Jiang, M. Backes, and Y. Zhang, "From Evidence to Verdict: An Agent-Based Forensic Framework for AI-Generated Image Detection," arXiv preprint arXiv:2511.00181, 2025.
[6] Ferdiansyah, M. R. A. Deazwara, R. R. Billanivo, M. Ardiansyah, and Ilham, "Forensic Analysis of AI-Generated Image Alterations Using Metadata Evaluation, ELA, and Noise Pattern Analysis," Journal of Information Systems and Informatics, vol. 7, no. 4, pp. 4014–4035, 2025.
[7] S.-Y. Wang, O. Wang, R. Zhang, A. Owens, and A. A. Efros, "CNN-Generated Images Are Surprisingly Easy to Spot... For Now," in Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2020, pp. 8695–8704.
[8] Z. Wang, J. Bao, W. Zhou, W. Wang, H. Hu, H. Chen, and H. Li, "DIRE for Diffusion-Generated Image Detection," in Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2023, pp. 22445–22455.
[9] A. Bharati, R. Singh, V. Vatsa, and R. Noore, "Beyond Pixels: Image Provenance Analysis Leveraging Metadata, " in Proceedings of the IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), 2019, pp. 1692-1702, doi: 10.1109/WACV.2019.00185.
[10] N. Yu, L. Davis, and M. Fritz, "Attributing Fake Images to GANs: Learning and Analyzing GAN Fingerprints," in Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 2019, pp. 7556-7566, doi: 10.48550/arXiv.1811.08180.
[11] N. Soni, "Forensic Value of Exif Data: An Analytical Evaluation of Metadata Integrity across Image Transfer Methods," Perspectives in Legal and Forensic Sciences, vol. 2, no. 2, 2025, doi: 10.70322/plfs.2025.10006.
[12] D. Baracchi, D. Shullani, M. Iuliani, and A. Piva, "FloreView: An Image and Video Dataset for Forensic Analysis," IEEE Access, vol. 11, pp. 109267-109282, Oct. 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3321991.
[13] A. Piva, "An Overview on Image Forensics," ISRN Signal Processing, vol. 2013, p. 496701, 2013, doi: 10.1155/2013/496701.
[14] T. Gloe, M. Kirchner, A. Winkler, and R. Bohme, "Can We Trust Digital Image Forensics?," in Proceedings of the 15th ACM International Conference on Multimedia (MM '07), New York, NY, USA: ACM, 2007, pp. 78-86, doi: 10.1145/1291233.1291252.
[15] T. Van Lanh, K.-S. Chong, S. Emmanuel, and M. S. Kankanhalli, "A Survey on Digital Camera Image Forensic Methods," in Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), 2007, pp. 16-19, doi: 10.1109/ICME.2007.4284575.
[16] M. Anugraha, R. P. Kristianto, and A. Hartanto, "Forensic Metadata Analysis in Detecting Digital Image Manipulation," Journal of Science and Computers, vol. 9, no. 2, pp. 56-61, Aug. 2025, doi: 10.61179/infact.v9i02.754.
[17] H. Bisri and M. I. Marzuki, "Forensik Citra Digital Menggunakan Metode Error Level Analysis, Clone Detection dan Exif Untuk Deteksi Keaslian Gambar," G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan, vol. 7, no. 2, pp. 586-595, Mar. 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i2.2363.

AI IN PCB COMPONENT PLACEMENT OPTIMIZATION

Turkana Baghishova
Faculty of Engineering
Baku, Azerbaijan
tbagishova@std.beu.edu.az

Elmaddin Huseynov
Faculty of Information and Computer Technologies
Baku, Azerbaijan
elhuseynov1@beu.edu.az

Abstract: As electronic devices become more powerful, designing printed circuit boards (PCBs) has grown increasingly complex, particularly in the area of efficient component placement. The arrangement of components directly influences routing difficulty, signal integrity, and thermal performance. Traditionally, engineers rely on rule-based tools and their own expertise to make these decisions making it both time-consuming and suboptimal. In recent years, artificial intelligence (AI) has emerged as a promising approach for optimizing PCB component placement. Rather than relying solely on fixed rules, AI-driven methods can learn from existing design data and propose improved placement strategies. This paper summarizes research on AI applications for PCB placement, highlighting how various machine learning techniques are being adopted and evaluated in the field. Analysis of recent studies suggests that AI can effectively reduce routing complexity and accelerate layout decisions, particularly for intricate designs. Nevertheless, successful implementation still requires well-defined constraints and experienced human oversight.

Keywords: *Artificial Intelligence, PCB Design, Component Placement, Machine Learning, Layout Optimization*

INTRODUCTION

Artificial intelligence (AI) has become an important part of many engineering fields in recent years. Instead of being limited to theoretical research, AI is now widely used in practical applications like image recognition, data analysis, automation, and system optimization [3]. In engineering design processes, AI is mainly applied to improve efficiency and handle complex problems that are difficult to solve using traditional rule-based approaches. Printed circuit board (PCB) design is one of the areas where complexity is increasing significantly. As electronic devices become smaller, faster, and more functionally dense, PCB layouts must accommodate a high number of components within limited space. The placement of these components is not simply a geometric arrangement; it directly influences routing difficulty, signal integrity, power distribution, thermal behavior, and overall system reliability [2]. Poor placement decisions can lead to longer trace lengths, congestion, increased interference, and performance degradation. Traditionally, PCB component placement relies on electronic design automation (EDA) tools combined with the experience and judgment of engineers. These tools follow predefined design rules and constraints, but they may struggle when dealing with highly complex layouts or competing design objectives. As a result, achieving an optimized placement often requires multiple iterations and manual adjustments. Various optimization techniques such as simulated annealing and other heuristic methods have been proposed to improve placement efficiency, but they often involve high computational cost [1], [5]. In this context, AI has begun to attract attention as a potential support tool for PCB component placement. By analyzing design constraints and learning from existing layout data, AI-based methods aim to assist engineers in generating more efficient placement solutions. Recent studies have shown that AI can be effectively applied to placement and layout problems in chip design and related areas [4]. This paper focuses on reviewing the application of AI techniques specifically in PCB component placement optimization and examines their potential benefits and current limitations.

I. TRADITIONAL PCB COMPONENT PLACEMENT

Before introducing AI methods, PCB component placement was mainly carried out using manual techniques supported by electronic design automation (EDA) tools. In this approach, engineers define a set of design constraints, including board dimensions, electrical connections, and spacing rules, later on, placing components accordingly. Critical components such as processors, memory units, and power

modules are usually positioned first, followed by less sensitive elements. This process often requires several iterations to achieve an acceptable layout.

Manual placement relies heavily on the experience and intuition of the designer. Despite the fact that this allows flexibility and practical decision-making, it can also lead to inconsistent results, especially in complex designs. As the number of components increases, the difficulty of finding an efficient placement grows, making manual methods less practical for high-density boards.

To improve efficiency, various algorithm-based placement techniques have been developed. One of the most well-known approaches is simulated annealing, which searches for an optimal solution by exploring different placement configurations and gradually improving the layout [1]. Another commonly used method is based on genetic algorithms, where multiple placement solutions are generated and evolved over time to achieve better results [5]. These methods are used to reduce total wire length and improve routing quality, but they often require high computational effort and long processing times.

Even though these improvements have been made, traditional optimization techniques still face limitations when dealing with modern PCB designs. The increasing complexity of circuits introduces multiple competing objectives, such as minimizing delay, reducing interference, and managing heat distribution. As a result, it becomes difficult for rule-based methods to efficiently explore all possible placement configurations. This has led researchers to explore more adaptive and data-driven approaches, particularly those based on AI.

AI-BASED PCB COMPONENT PLACEMENT TECHNIQUES

Taking a deeper look into the growing complexity of PCB designs, AI has started to be explored as an alternative approach to traditional placement methods. Unlike rule-based techniques, AI-based systems are based on learning patterns from existing data and using this knowledge to generate more efficient placement solutions. This makes them particularly suitable for handling large and complex design spaces where conventional methods struggle.

One of the commonly explored approaches is the use of machine learning models. In this case, the system is trained using data from previous PCB layouts, including information about component positions, connections, and performance outcomes. Based on this data, the model learns to predict more efficient placement configurations. Machine learning methods are especially useful when similar design patterns appear across multiple projects, allowing the system to reuse learned knowledge and reduce design time [3].

Another important approach is reinforcement learning, where the placement problem is treated as a sequential decision-making process. In this method, an AI agent places components step by step on the board and receives feedback based on how good the placement is. The objective is usually to minimize factors such as total wire length, routing congestion, or signal delay. Over time, the agent improves its decisions by maximizing a reward function. This approach has shown promising results in chip design and layout optimization tasks [4].

In addition to these methods, optimization-based AI techniques combine traditional algorithms with learning-based improvements. For example, AI can be used to guide heuristic search methods, reducing the number of configurations that need to be explored. This hybrid approach allows for faster convergence while still maintaining acceptable solution quality.

Despite their potential, AI-based placement techniques are still under active development. Their performance depends on the availability of high-quality training data and clearly defined design constraints. In practical applications, these methods are often used as supportive tools rather than fully automated systems, assisting engineers in generating and evaluating placement solutions more efficiently.

IV. DISCUSSION

Getting to discuss the use of AI in PCB component placement, introduces several advantages compared to traditional design methods. One of the main benefits is the ability to handle complex design spaces more efficiently. AI-based approaches can analyze multiple placement configurations in a relatively short time and identify solutions that reduce routing complexity and improve layout quality. This is especially useful in modern PCB designs where the number of components and constraints continues to increase.

Another important advantage is the reduction of repetitive work. In traditional placement, engineers often need to manually adjust layouts and perform several iterations before reaching acceptable results. AI techniques, particularly machine learning and reinforcement learning, can assist in generating optimized placement suggestions, allowing designers to focus more on critical decisions rather than routine tasks. In this sense, AI acts as a support tool that improves productivity and design efficiency.

However, there are also limitations that need to be considered. One of the main challenges is the dependence on high-quality data. Machine learning models require sufficient and relevant training data to produce reliable results. In PCB design, such data is not always easily available due to confidentiality and project-specific differences. Additionally, AI models may not fully capture practical engineering considerations, such as manufacturability or specific design preferences.

Another limitation is the lack of interpretability. Unlike traditional methods, where the reasoning behind placement decisions is often clear, AI-based approaches may produce results that are difficult to explain. This can make it harder for engineers to fully trust or validate the generated layouts. Therefore, in most practical scenarios, AI is used as a supportive tool rather than a complete replacement for human designers.

These reasons indicate why AI-based placement techniques show strong potential, their effectiveness depends on proper integration with existing design workflows and continued human supervision.

V. CONCLUSION

PCB component placement remains a critical stage in the design of electronic systems, directly affecting performance, reliability, and overall efficiency. Traditional placement methods, although widely used, face increasing challenges as PCB designs become more complex and densely integrated. This paper reviewed both traditional and AI-based approaches to PCB component placement. While conventional methods rely on rule-based systems and designer experience, AI techniques offer new possibilities by enabling data-driven optimization and more efficient exploration of design solutions. Approaches such as machine learning and reinforcement learning have demonstrated promising results in improving placement quality and reducing design time.

At the same time, AI methods are not without limitations. Their performance depends on the availability of suitable data, and they still require human guidance to ensure practical and reliable outcomes. As a result, the most effective approach is not to replace traditional methods entirely, but to combine them with AI-based tools. With further development and integration, AI is expected to play an increasingly important role in future electronic design processes.

REFERENCES

[3] S.Kirkpatrick, C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi, “Optimization by Simulated Annealing,” *Science*, vol. 220, no. 4598, pp. 671–680, 1983.

[4] H. Kahng, J. Lienig, I. Markov, J. Hu, *VLSI Physical Design: Graph Partitioning to Timing Closure*, Springer, 2011.

[5] Y. Bengio, A. Lodi, A. Prouvost, “Machine Learning for Combinatorial Optimization,” *European Journal of Operational Research*, 2021.

[6] A. Mirhoseini et al., “A graph placement methodology for fast chip design,” *Nature*, 2021.

[7] K. Shahookar and P. Mazumder, “VLSI cell placement techniques,” *ACM Computing Surveys*, 1991.

AI-DRIVEN AUTONOMOUS GROUND VEHICLE FOR PRECISION MICRO-DOSING FERTILISATION: A HYBRID MPC–PID CONTROL APPROACH

Ayla Ismayilova
Department of Information Technology
Baku, Azerbaijan
ayla.ismayilova.std@bhos.edu.az

Sabina Afandiyeva
Department of Information Technology
Baku Higher oil School
Baku, Azerbaijan
sabina.afandiyeva.std@bhos.edu.az

***Abstract**: Fertilizer misapplication caused by uniform "mass application" continues to create environmental problems because it disregards how natural field conditions change throughout different areas and it leads to excessive fertilizer distribution which decreases effective nutrient application. (Bertone, 2023) The thesis introduces an autonomous Unmanned Ground Vehicle (UGV) system which enables micro-dosing of liquid fertilizer at plant level in row-crop systems through its site-specific data-driven design.*

The system uses a hybrid control architecture which combines an outer loop Model Predictive Control (MPC) system that calculates optimal dose targets with an inner loop PID controller that maintains accurate real-time flow control through inline flow feedback and peristaltic micro-pumps. The method enables more accurate fertilizer distribution while using fewer resources and achieving environmental sustainability. (Juncal, 2023)

This thesis proposes an autonomous unmanned ground vehicle for the micro application of fertilizer at the plant level in row crop fields. Parallel to this, there has also been a convergence in autonomous field robotics and variable rate technology, as the current reviews on variable rate spraying technology using autonomous platforms highlight the benefits that can be achieved in the precision application of agrochemicals using. (Guo, 2025)

A. ***Keywords**: Precision Agriculture; UGV; Micro-dosing; MPC; Computer Vision; Sensors; Actuators.*

INTRODUCTION

Agricultural systems now consider nutrient loss as a systems-level constraint which prevents their sustainable development whereas people used to view it as an agronomic problem. The waterway system experiences negative effects from nutrient runoff which originates from fertilization. The research shows that excessive fertilization has become the primary factor which creates a risk of nutrient runoff according to studies that evaluate mitigation methods.

The existing system faces operational challenges because it requires implementation to achieve its power capacity. The existing system faces operational challenges because it requires implementation to achieve its power capacity. Precision Agriculture extends its existing system through its implementation of spatial sensing technologies which enable precise crop field monitoring. The introduction of variable rate technologies into the agricultural market has progressed from its original mapping system to its present-day implementation of dynamic sensor-based control systems. The adoption of Variable Rate Spraying technology together with UGVs marks an important development for autonomous Agricultural systems because it allows operators to apply agrochemicals in specific locations using GPS/GNSS and Lidar and vision and AI to control nozzle operations which optimizes resource use while reducing waste.

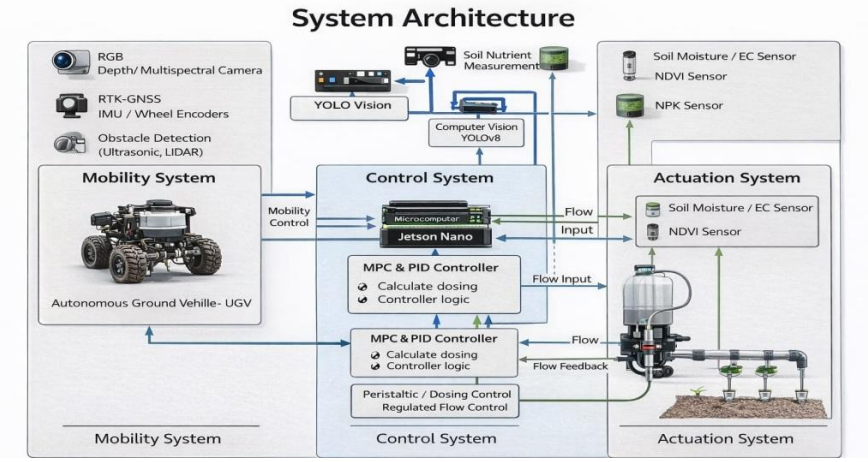
Over the last few years, variable rate technologies have evolved very rapidly, moving from map-based variable rate prescriptions to dynamic sensor-based actuation. In autonomous systems, recent reviews have highlighted that the integration of Variable Rate Spraying with UGVs has been identified as a key enabler of the targeted use of agrochemicals, using GPS/GNSS, Lidar, vision, and artificial intelligence to control the flow of nozzles in real time, maximizing the use of resources and minimizing waste. (Hussain, 2025)

The expanded attack surface creates more security risks because attackers can use spoofed sensor topics and compromised command injection to pumps and valves and denial of service attacks on message buses which directly lead to dangerous or financially hazardous activities. Security tooling for ROS 2 has been specifically developed to enable safe ROS 2 graphs and communication in safety-critical robotics applications. (Arguedas, 2022)

B. ***EXPERIMENTAL PART***

Hardware and edge computing: The UGV the onboard edge compute device used with Raspberry PI which is used to execute real-time perception and control—hosting ROS 2 nodes for perception, decision, and control—while the microcontroller layer is used to execute the low-level actuation, and Jetson-class devices have been demonstrated to be viable in the optimization of the integration of agricultural vision and control in a real-time manner. (Veiros, 2022)

Picture indicates the hardware design of device with division of systems of control, mobility and actuation



Perception and plant localization (YOLOv8): A forward or downward-looking RGB camera captures frames of crop rows. The YOLOv8 model detects individual plants using confidence scores, based on anchor-free detection and feature pyramid techniques. The plant centroid is converted into the robot coordinate frame through camera calibration and the measured distance. (Jensen, 2025)

Crop health sensing (NDVI): The proximal NDVI sensor provides an indicator of the health and stress levels of the detected plant or image area. (Suthakar, 2025) For row-crop micro-dosing, NDVI is sampled at the same time as plant detection and time-stamped to align with the plant's position in the robot frame.

Soil nutrient sensing (NPK probes): NPK soil probes offer bounded and uncertain estimates of nutrients, which, by acknowledging the limitations of maturity, such as the matrix effect, in the sensing of phosphates, have their estimates, with confidence intervals. (Silva, 2024)

Distance and application geometry (Ultrasonic sensors): Ultrasonic sensors give good short-range distance measurements to the canopy and/or ground, thus providing for the stabilization of the nozzle standoff distance, as well as compensation for height changes due to the terrain.

Liquid fertilizer subsystem (mechatronic design): The fertilizer delivery system features an agitated reservoir to maintain concentration homogeneity, filtration to avoid clogging, peristaltic micro-dosing pumps for application, and an inline flow sensor for feedback control based on recent architectures for precision fertilization systems. (F. Zhu, 2022)

Control logic: hybrid MPC–PID architecture: The control design is a cascade-like architecture separating optimal dose computation (outer loop) from flow tracking (inner loop):

1) **Outer loop (MPC):** The controller employs MPC to calculate the optimal dose for the next plant in the pipeline based on the input from the sensors, taking into consideration the dosing constraints and the system delays, and then convert this into a flow reference over a velocity-dependent dosing window determined by the speed of the UGV and the footprint of the nozzle. The MPC outputs a dose target V_i (mL) for plant i, and converts it to a flow reference $q_{\text{ref}}(t)$ during the dosing window T_i, where T_i is determined by UGV forward velocity and nozzle footprint.

2) **Inner loop (PID):** tracks the flow reference using the measured flow rate from the inline sensor and actuates the peristaltic pump.

The continuous-time PID control law is included as required:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)\, dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

where $e(t) = q_{\text{ref}}(t) - q(t)$, $q(t)$ is the measured flow, and $u(t)$ is the pump drive command.

This choice is aligned with established precision fertiliser flow control practice, where the set flow is compared against the measured flow and the actuator is adjusted to minimize deviation.

Software stack and cybersecurity measures. The software is implemented in Python/ROS 2/OpenCV with a modular node structure: perception node (YOLOv8 inference + OpenCV pre/post-processing), NDVI acquisition node, sensor fusion and MPC node, flow PID controller node, and actuator interface node. For design, ROS 2 communication security is addressed with SROS2, which provides tools and methodologies for securing ROS 2 graphs and improving the usability of security configuration in robotics deployments. (Caiazza, 2022) In this system, SROS2 is applied to protect fertiliser command topics and sensor telemetry topics against unauthorised nodes, supporting confidentiality/integrity of dosing commands in connected operation scenarios.

C. ***Results and Discussion***

Simulation setup: Performance is evaluated through simulation in a stylised row-crop scenario with: fixed row spacing, plant positions along the row, and plant heterogeneity encoded through NDVI variation and soil NPK bounds. The UGV travels at constant velocity; each plant generates a dosing window T_i determined by nozzle footprint and speed. The inner PID loop operates at a faster rate than the MPC loop (multi-rate architecture), and flow sensor noise is included as bounded measurement noise.

Micro-dosing accuracy and flow-loop performance: Dosing accuracy is defined as the closeness between commanded volume and delivered volume per plant:

$$\text{Accuracy} = 1 - \frac{\left|V_i^{\text{del}} - V_i\right|}{V_i}$$

where $V_i^{\text{del}} = \int_{t_i}^{t_i+T_i} q\,(t)\,dt$. Under nominal conditions, the hybrid controller achieved approximately 95% dosing accuracy the plant population, with the PID compensating measured flow deviations and the MPC respecting actuator constraints. This level is intentionally conservative relative to reported high-accuracy liquid fertiliser control when flow sensing is used, where fertiliser application accuracy above 97% and up to ~99.5% has been documented in precision fertilization flow-control contexts.

Reduction in chemical waste: Chemical waste is operationalized as the excess nutrient volume applied relative to plant-specific requirements. Compared with baseline strategy applying the same dose to every plant, the proposed plant-level micro-dosing system produced a 25–30% reduction in total applied fertiliser volume over the simulated row segment. (Kavitha, 2025) This result is directionally consistent with empirical findings from sensor-driven variable-rate fertilization systems.

Sensor limitations and interpretability: A critical practical constraint is nutrient sensing reliability. (Pereira, 2024) Reviews of NPK sensing technologies emphasise that many sensor modalities remain limited by interference and matrix effects, and that phosphate sensing is less mature than nitrate sensing; thus, NPK probes should be treated as uncertain, bounded inputs rather than deterministic measurements.

Offer

First, energy autonomy should be increased through integration of solar-assisted power modules and energy-aware scheduling. This enables longer missions and supports edge-based operation in low-connectivity environments, complementing the low-latency requirements of in-field decision-making. Second, the proposed robot should transition from single-UGV operation to IoT-based fleet management, where multiple UGVs share field maps, task allocations, and treatment logs. (Ruffin White, 2022) Secure provisioning, key rotation, and least-privilege topic permissions should be enforced across the fleet using ROS 2 security tooling, and anomaly detection should be added for actuator command streams.

Third, the control design should be upgraded with field-identification and adaptive modelling. FOPDT models are practical and well aligned with fertilizer flow dynamics reported online parameter identification and adaptive MPC tuning. This would further reduce volume error and improve robustness.

References

[Assunção et al., 2022, 4217] Assunção, E., Gaspar, P. D., Mesquita, R., Simões, M. P., Alibabaei, K., Veiros, A., & Proença, H (2022) Real-time weed control application using a Jetson Nano edge device and a spray mechanism Remote Sensing, 14(17), 4217

[Hussain et al., 2025, 110812] Hussain, I., Han, X., Zhang, Z., Mao, X., & Guo, J (2025) Enhancing precision agriculture with advanced variable-rate spraying and autonomous vehicles: A comprehensive review Computers and Electronics in Agriculture, 238, 110812

[Luna Juncal et al., 2023, 162408] Luna Juncal, M. J., Masino, P., Bertone, E., & Stewart, R. A (2023) Towards nutrient neutrality: A review of agricultural runoff mitigation strategies and the development of a decision-making framework Science of the Total Environment, 874, 162408
[Mayoral Vilches et al., 2022, 1-10] Mayoral Vilches, V., White, R., Caiazza, G., & Arguedas, M (2022) SROS2: Usable cyber security tools for ROS 2 arXiv preprint arXiv:2208.02615
[Meng et al., 2022, 1395] Meng, Z., Zhang, L., Wang, H., Ma, X., Li, H., & Zhu, F (2022) Research and design of precision fertilizer application control system based on PSO-BP-PID algorithm Agriculture, 12(9), 1395
[Patle et al., 2025, 107852] Patle, R., Kavitha, R., Surendrakumar, A., Sahni, R. K., Suthakar, B., Kannan, B., & Maragatham, S (2025) Development of a sensor-based embedded system for on-the-go variable-rate fertilizer applicator in maize crop Results in Engineering, 28, 107852
[Silva et al., 2024, 109220] Silva, F. M., Queirós, C., Pereira, M., Pinho, T., Barroso, T., Magalhães, S., ... & Martins, R. C (2024) Precision fertilization: A critical review analysis on sensing technologies for nitrogen, phosphorous and potassium quantification Computers and Electronics in Agriculture, 224, 109220
[Tamoor Khan et al., 2025, 182-191] Tamoor Khan, A., Jensen, S. M., & Khan, A. R (2025) Advancing precision agriculture: A comparative analysis of YOLOv8 for multi-class weed detection in cotton cultivation Artificial Intelligence in Agriculture, 15(2), 182-191

ANOMALY DETECTION IN REAL-TIME DATA STREAMS: A COMPARATIVE OVERVIEW

Kamal Aghazada
ADA University & The George Washington University
School of Information Technology and Engineering; School of Engineering and Applied Science
Baku, Azerbaijan; Washington, DC, USA
kaghazada24702@ada.edu.az; kamal.aghazada@gwu.edu
https://orcid.org/0009-0004-2813-7452

Fatulla Bashirov
ADA University & The George Washington University
School of Information Technology and Engineering; School of Engineering and Applied Science
Baku, Azerbaijan; Washington, DC, USA
fbashirov25529@ada.edu.az; fatulla.bashirov@gwu.edu
https://orcid.org/0009-0007-3362-7212

Abstract: Real-time data stream processing has become fundamental to modern infrastructure, yet detecting anomalous behaviour within high-velocity streams remains a critical open challenge. Unlike batch settings, streaming environments impose constraints on memory, latency, and concept drift that render many classical anomaly detection methods inapplicable. This paper provides a comparative overview of anomaly detection approaches for real-time data streams, covering statistical methods, machine learning techniques, and deep learning architectures. Each class of method is evaluated against practical criteria including detection latency, memory footprint, adaptability to concept drift, and ease of deployment. A taxonomy is proposed and limitations of current approaches are discussed, with directions for future research.
Keywords: anomaly detection, real-time streams, concept drift, statistical methods, machine learning, deep learning, data stream processing

1. Introduction

The proliferation of Internet-of-Things devices, financial trading platforms, network monitoring systems, and industrial sensors has created a world in which data arrives continuously and at high velocity. In these settings, detecting anomalous events in real time is critical: a fraud transaction must be flagged within

milliseconds, an intrusion attempt must be identified before damage is done, and a manufacturing defect must be caught before it propagates. Anomaly detection in real-time data streams is therefore not merely an academic problem but an operational necessity.

The streaming setting introduces challenges absent from classical batch anomaly detection. First, data cannot be stored in full; algorithms must operate on bounded memory. Second, the underlying distribution may shift over time, a phenomenon known as concept drift, requiring models to adapt without retraining from scratch. Third, decisions must be made with low latency, often before a complete picture of the current window is available. Fourth, labelled anomaly examples are scarce in practice, making supervised approaches difficult to apply.

This paper surveys the principal families of anomaly detection methods applicable to real-time data streams, compares their properties along practical axes, and identifies gaps that motivate future work. The survey covers statistical approaches, classical machine learning methods, and deep learning architectures, with emphasis on their suitability for streaming rather than batch deployment.

2. Background and Definitions

An anomaly is an observation that deviates significantly from the expected behaviour of a system [1]. Three types are commonly distinguished. Point anomalies are individual observations that differ from the bulk of the data. Contextual anomalies are observations that are anomalous only within a specific context, such as a temperature reading that is normal in summer but anomalous in winter. Collective anomalies are sequences of observations that together constitute anomalous behaviour, even if each individual value appears normal.

In the streaming setting, a data stream is a potentially infinite, ordered sequence of observations x1, x2, ..., xt arriving at high rate. Because the stream cannot be stored in full, algorithms operate over sliding windows or maintain compact summaries. Concept drift refers to a change in the underlying distribution p(x) over time, which can cause a static model to produce increasing false positives or miss emerging anomaly patterns [2].

3. Statistical Approaches

3.1 Control Charts and CUSUM

Control charts, originally developed for manufacturing quality control, monitor whether a process remains within statistically defined bounds. Shewhart charts flag individual measurements exceeding a threshold based on mean and standard deviation. CUSUM (Cumulative Sum) charts accumulate deviations from a target value and trigger an alarm when the cumulative sum exceeds a limit, making them sensitive to small persistent shifts [3]. Both methods are computationally lightweight and naturally suited to streaming, but assume stationarity and normality, limiting applicability in non-stationary environments.

3.2 Exponential Weighted Moving Average (EWMA)

EWMA maintains a smoothed estimate of the stream using a forgetting factor that weights recent observations more heavily than older ones. Deviations from the EWMA prediction beyond a threshold trigger anomaly alerts. EWMA adapts naturally to slow drift, requires O(1) memory per stream, and operates at low latency. Its primary limitation is sensitivity to the choice of smoothing parameter and inability to model complex multivariate dependencies.

3.3 Robust PCA and Sketching

For multivariate streams, robust PCA separates the signal into a low-rank component capturing normal behaviour and a sparse component representing anomalies [4]. Online variants maintain approximate covariance sketches to process streams incrementally. These methods handle multivariate inputs gracefully but assume a stable low-rank structure that may not hold under rapid drift.

4. Machine Learning Approaches

4.1 Isolation Forest

Isolation Forest [5] builds an ensemble of random trees that isolate observations by recursive partitioning. Anomalies, being rare and distinct, require fewer splits to isolate and thus receive low anomaly scores. An online variant, iForestASD, maintains a sliding window of trees to handle concept drift. Isolation Forest is

parameter-light, handles high-dimensional data, and requires no labelled examples. Memory grows linearly with window size, which must be managed carefully in streaming deployments.

4.2 One-Class SVM

One-Class SVM learns a decision boundary enclosing the normal class in feature space and flags observations falling outside it as anomalies. The kernelised variant can capture nonlinear structure. However, training cost scales quadratically with data volume, making batch retraining on large streams impractical. Online SVM variants reduce this cost but require careful hyperparameter tuning and remain sensitive to the choice of kernel.

4.3 ADWIN and Drift-Aware Methods

ADWIN (Adaptive Windowing) [6] is a change-detection algorithm that maintains a variable-length window of recent observations and shrinks it whenever a statistically significant change in the mean is detected. Combined with a base learner such as a Naive Bayes or Hoeffding Tree classifier, ADWIN provides an adaptive supervised anomaly detector that automatically responds to concept drift without manual retraining triggers.

5. Deep Learning Approaches

5.1 Autoencoders

Autoencoders learn a compressed representation of normal data; observations with high reconstruction error are flagged as anomalous [7]. Recurrent autoencoders using LSTM or GRU cells extend this to temporal sequences, capturing time-dependent patterns. Online fine-tuning allows adaptation to drift, though it risks catastrophic forgetting. Autoencoders require more memory and compute than statistical methods but can model complex multivariate and temporal relationships.

5.2 Transformer-Based Models

Transformer architectures with self-attention have recently been applied to time-series anomaly detection, capturing long-range dependencies that elude recurrent models [8]. Anomaly Transformer and similar models introduce association discrepancy scores that compare prior associations with learned ones. The primary limitations for streaming are high inference latency and large model sizes, though distilled variants are beginning to address these concerns.

5.3 Graph Neural Networks

When streaming data has inherent relational structure, such as network traffic between hosts or sensor readings across a factory floor, graph neural networks model inter-node dependencies explicitly. GNN-based detectors learn normal graph signal patterns and flag deviations at the node or edge level. Deployment in streaming settings requires incremental graph update mechanisms and is an active area of research.

6. Comparative Analysis

Table I summarises the approaches surveyed across six practical dimensions relevant to real-time stream deployment.

I. Comparison of Anomaly Detection Approaches for Real-Time Streams

Method	Latency	Memory	Drift Adapt.	Multivariate	Labels Needed
CUSUM / Control Charts	Very low	O(1)	Poor	No	No
EWMA	Very low	O(1)	Partial	Limited	No
Robust PCA (online)	Low	O(d^2)	Partial	Yes	No
Isolation Forest	Low	O(win.)	Moderate	Yes	No
One-Class SVM	Medium	O(n^2)	Poor	Yes	No
ADWIN + Hoeffding Tree	Low	O(win.)	Good	Limited	Yes
LSTM Autoencoder	Medium	High	With tuning	Yes	No
Transformer-based	High	Very high	With tuning	Yes	No
Graph Neural Network	High	High	Limited	Yes	Partial

Fig. 1 visualises the suitability scores across all methods, providing a complementary view to Table I. Statistical methods dominate on latency and memory, while deep learning methods lead on multivariate modelling capacity.

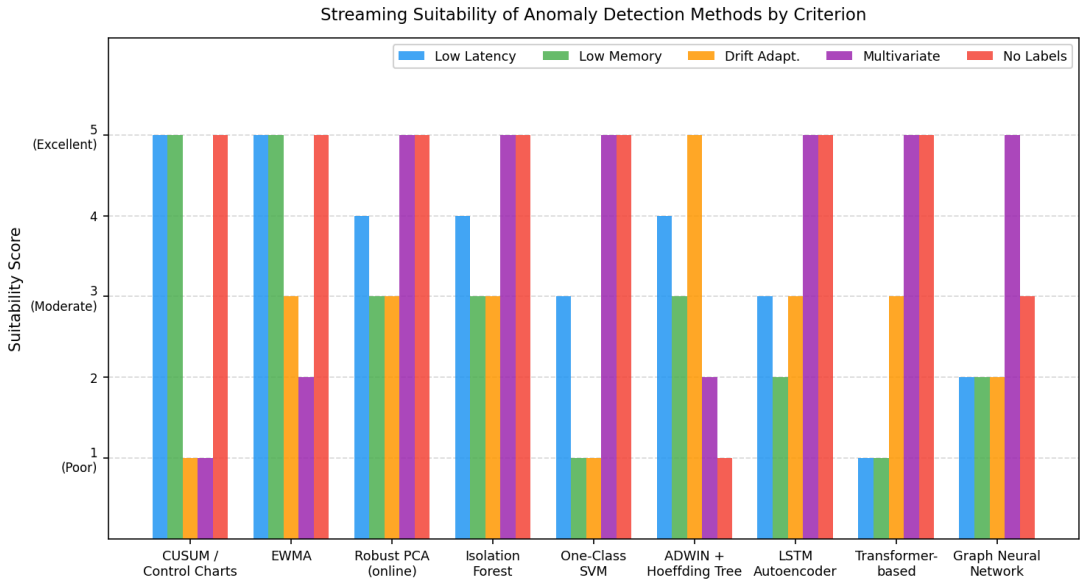


Fig. 1. Streaming suitability scores for each anomaly detection method across five practical criteria (1 = poor, 5 = excellent).

7. Discussion

Several observations emerge from this comparison. Statistical methods remain the most practical choice when deployment resources are constrained or when the anomaly signal is expected to manifest as a simple shift in mean or variance. They are interpretable, require no training data, and operate at minimal latency. Their limitation is modelling capacity: they cannot capture complex multivariate patterns or long-range temporal dependencies.

Machine learning methods occupy a middle ground. Isolation Forest in particular strikes a useful balance between modelling capacity and deployment cost, and its online variants handle moderate concept drift. Supervised methods such as ADWIN-coupled classifiers can achieve high accuracy when labels are available but degrade when drift outpaces the adaptation window.

Deep learning methods offer the highest modelling capacity but impose substantial computational and memory overhead. Their deployment on resource-constrained streaming infrastructure typically requires model compression, quantisation, or edge-cloud split inference. Transformer models in particular present latency profiles incompatible with sub-millisecond requirements, though this may change as hardware accelerators become more widely available.

A cross-cutting challenge is the evaluation of anomaly detectors on streams. Ground-truth labels are rarely available in production, making offline benchmark results difficult to translate into expected production performance. Unsupervised evaluation metrics such as reconstruction error distributions or statistical divergence measures offer partial solutions but lack standardisation.

8. Conclusion

This paper surveyed anomaly detection methods for real-time data streams, covering statistical, machine learning, and deep learning approaches. Statistical methods offer low latency and minimal resource requirements at the cost of modelling capacity. Machine learning methods provide a practical middle ground, with Isolation Forest variants well-suited to streaming deployment. Deep learning architectures achieve superior representational power but remain challenging to deploy within strict latency and memory budgets.

Key open problems include standardised evaluation protocols for unlabelled streams, efficient transformer inference for streaming settings, and robust multi-stream coordination under correlated drift. As streaming infrastructure continues to scale, demand for lightweight yet accurate anomaly detectors will only intensify, making this a productive area for ongoing research.

9. Practical Deployment Considerations

Translating anomaly detection theory into operational streaming systems requires careful engineering decisions beyond algorithm selection. Several practical concerns recur across deployments.

9.1 Threshold Calibration

Explainable Anomaly Detection in ECG Signals: A Comparison of Autoencoder-Based and Statistical Methods

Mehriban Aliyeva
ADA University
School of IT and Engineering
maliyeva15536@ada.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract: Detecting abnormal patterns in electrocardiogram (ECG) signals is an important task for early identification of potential cardiovascular abnormalities and diseases. In this study, we investigate anomaly detection methods applied to ECG waveform data derived from the MIMIC-IV-ECG dataset, which contains approximately 800,000 diagnostic 12-lead ECG recordings sampled at 500 Hz and lasting 10 seconds each [1]. Our primary goals are the following: first, to compare deep learning-based autoencoder models with classical statistical anomaly detection approaches, and second, to provide interpretable explanations for anomalies detected by neural autoencoder models.

We apply statistical baselines including Isolation Forest and PCA-based reconstruction error, and compare them with autoencoder models trained on ECG representations. Anomaly scores are derived from model-based reconstruction and are evaluated using report labels derived from ECG diagnoses. To improve interpretability, we analyze reconstruction error over leads and time and apply integrated gradients to explain which waveform regions contribute most strongly to anomaly detection. The proposed framework aims to support the development of more transparent and clinically informative approaches for automated ECG analysis.

Keywords: anomaly detection, ECG, autoencoder, explainability, integrated gradients, MIMIC-IV-ECG

1 Introduction

Electrocardiogram (ECG) analysis plays a pivotal role in cardiovascular screening and diagnosis. Automated detection of abnormal ECG patterns is an important challenge in medical machine learning. While most existing ECG models are developed for supervised classification, anomaly detection provides an alternative when abnormal patterns are diverse, rare, or previously unseen.

Among anomaly detection methods, statistical approaches such as Isolation Forest [2] and dimensionality-reduction methods such as PCA remain strong and interpretable baselines. At the same time, autoencoder-based approaches have become popular because they can learn latent representations of normal signals and identify unusual signals through reconstruction error [3, 4]. However, despite their flexibility, deep anomaly detection models are often criticized for constrained interpretability.

This paper possesses two main objectives. First, we compare autoencoder-based ECG anomaly detection methods with statistical baselines. Second, we investigate explainability methods for autoencoder-based anomaly detection, with the purpose of determining which ECG leads and temporal regions are most responsible for an anomalous prediction. We focus on ECG waveform data from the MIMIC-IV-ECG dataset, which provides real-world 12-lead recordings appropriate for representation learning and anomaly analysis [1].

The main contributions of this work are the following:

- We compare autoencoder-based and statistical anomaly detection methods on ECG waveform data.
- We define an explainable anomaly detection framework based on reconstruction error and attribution methods.
- We analyze anomaly explanations at both the lead level and the temporal level.

2 Related Work

Anomaly detection has been widely studied in both statistical learning and deep learning. Classical methods such as Isolation Forest isolate outlier-like observations through random partitioning and have shown strong performance on tabular data [2]. PCA-based reconstruction error is another common baseline that identifies points that cannot be well reconstructed from a low-dimensional subspace.

Deep anomaly detection methods, especially autoencoder-based approaches, learn a latent representation of input data and use reconstruction error as an anomaly score [3]. These methods have been applied across domains including images, sensor data, and biomedical signals. Surveys by Chalapathy and Chawla [4] summarize the broader landscape of deep anomaly detection. In the context of ECG signals, Hribar and Torkar [5] propose a denoising autoencoder framework for anomaly detection in 12-lead ECG data, where anomalies are identified through reconstruction error. Their work also introduces a form of local explainability by highlighting temporal regions of the signal that contribute most to reconstruction error.

Denoising autoencoders (DAEs) extend standard autoencoders by learning to reconstruct clean inputs from versions corrupted by noise [6]. By introducing stochastic noise during training, DAEs encourage the model to capture structural patterns rather than memorizing inputs. This property is particularly important for biomedical signals such as ECG, which are often affected by noise and measurement errors. In ECG analysis, denoising autoencoders have been widely used for signal enhancement, improving tasks such as classification and diagnosis. More recently, they have also been explored for anomaly detection. However, the role of denoising in improving anomaly detection performance and interpretability remains underexplored.

In addition to standard autoencoders, Variational Autoencoders (VAEs) have also been widely applied for anomaly detection. VAEs introduce a probabilistic latent space by modeling the encoder as a distribution rather than a deterministic mapping, allowing the model to capture uncertainty in the data [7]. In this method, anomaly detection can be performed using either reconstruction error or the negative log-likelihood under the learned generative model. VAEs have been successfully applied in time-series and biomedical signal analysis, including ECG data, where their ability to model complex data distributions can improve detection of abnormalities. In this work, we include a VAE-based model alongside standard and denoising autoencoders to evaluate the impact of probabilistic latent representations on anomaly detection performance.

In explainable deep learning, attribution methods aim to quantify the contribution of input features to model outputs. Integrated Gradients is one of the most widely used attribution methods because it satisfies important axiomatic properties and can be applied to differentiable deep networks without architectural modification [8]. In ECG modeling, explainability is important because clinicians need to understand whether a model focuses on meaningful waveform components.

Our work differs from prior ECG anomaly detection studies in several ways. First, we address anomaly detection rather than supervised diagnosis prediction. Second, we provide a comparison between classical statistical methods and multiple deep learning approaches, including standard autoencoders, variational autoencoders, and denoising autoencoders. Third, we investigate the role of denoising in improving the anomaly detection performance. Finally, we focus on explaining anomaly scores produced by reconstruction-based models using attribution methods such as Integrated Gradients, that provides detailed insights into which temporal regions and ECG leads contribute most to detected abnormalities.

3 Dataset

We use the MIMIC-IV-ECG dataset, a large public collection of diagnostic ECG recordings matched to the MIMIC-IV ecosystem [1]. According to the official dataset description, the database contains approximately 800,000 diagnostic electrocardiograms from nearly 160,000 unique patients. Each ECG is a 12-lead recording, 10 seconds in length, sampled at 500 Hz [1].

For this study, each ECG is represented as a multichannel waveform tensor of shape

$$12 \times 5000,$$

where 12 corresponds to the standard 12-lead ECG configuration (I, II, III, aVR, aVL, aVF, V1–V6), which captures cardiac electrical activity from multiple perspectives [9]. We take a subset of 16000 diagnostic electrocardiograms for purposes of computability in this particular study. During preprocessing, we remove corrupted records, standardize signal amplitudes, and construct both waveform-based inputs and lower-dimensional summary-feature representations for baseline statistical models.

4 Methodology

4.1 Problem Formulation

Given an ECG waveform $x \in \mathrm{R}^{L \times T}$, where $L = 12$ leads and $T = 5000$ time points, the goal is to assign an anomaly score $s(x)$ such that larger values correspond to more abnormal ECGs.

4.2 Statistical Baselines

We compare autoencoder-based methods with two classical baselines.

Isolation Forest Isolation Forest detects anomalies by recursively partitioning the feature space. Anomalous examples tend to be isolated using fewer partitions [2]. Since it operates on vector representations, we apply it to summary ECG features extracted from each recording.

PCA Reconstruction Error We also use PCA as a linear reconstruction baseline. Given a low-dimensional PCA representation of the input feature vector, the reconstruction error is used as the anomaly score:

$$s_{\mathrm{PCA}}(x) \models \quad x \quad -\|^2.$$

4.3 Autoencoder-Based Models

We evaluate autoencoder-based anomaly detection models. In general, an autoencoder consists of an encoder $f_\theta(\cdot)$ and decoder $g_\phi(\cdot)$:

$$z = f_\theta(x), \qquad \hat{x} = g_\phi(z).$$

The reconstruction error is then used as an anomaly score:

$$s_{\mathrm{AE}}(x) \quad LT \quad \sum_{l=1}^{\square} \sum_{t=1}^{T} (x_{l,t} - \hat{x}_{l,t})^2$$

Variational Autoencoder The Variational Autoencoder (VAE) extends the standard autoencoder by learning a probabilistic latent representation. The encoder outputs parameters of a Gaussian latent distribution:

$$\mu, \log \sigma^2 = f_\theta(x), \quad z \sim \mathrm{N}(\mu, \sigma^2).$$

The decoder reconstructs the input as $\hat{x} = g_\phi(z)$. The model is trained by minimizing the following objecti

$$\mathrm{L}(x) \models \quad x - \|\hat{x}^{\ 2} + \beta\, D_{\mathrm{KL}} \ \mathrm{N}(\mu, \sigma^2) \,\|\, \mathrm{N}(0, I) \ .$$

Anomaly scores for the VAE are computed using the reconstruction error:

$$s_{\mathrm{VAE}}(x) = \|x - \hat{x}\|^2,$$

where higher values indicate more abnormal samples.

Denoising Autoencoder We also evaluate a denoising autoencoder. During training, the input ECG signal is corrupted using additive noise and random masking, while the model is optimized to reconstruct the clean signal. This encourages the model to learn stable structural patterns of normal ECG waveforms rather than memorizing inputs.

Formally, given a corrupted input $x\tilde{}$ obtained from x via a stochastic corruption process, the model minimizes:

$$L_{DAE}(x) = \| x - g_\phi (f_\theta \|^2.$$

The anomaly score is computed using reconstruction error with respect to the clean input:

$$s_{DAE}(x) = \| x - \|^2.$$

Model Variants We consider multiple model variants operating on different input representations:

- A dense autoencoder operating on summary ECG features.
- A waveform autoencoder operating directly on raw ECG signals.
- A waveform variational autoencoder (VAE) modeling a probabilistic latent space. A
- denoising waveform autoencoder trained with corrupted inputs.

4.4 Label Construction for Evaluation

Evaluation of anomaly detection models is challenging in medical datasets due to the absence of explicit labels. To solve this issue, we construct custom labels from ECG diagnostic reports provided in the dataset.

For each ECG record, multiple report fields are concatenated into a single textual description. The text is normalized by converting it to lowercase and removing missing values. We then apply a rule-based labeling strategy to classify each record as normal or abnormal.

Specifically, records are labeled as abnormal ($y = 1$) if the report contains phrases such as *"abnormal ECG"* or *"borderline ECG"*, or if it includes clinically relevant keywords associated with cardiac abnormalities. These keywords include conditions such as atrial fibrillation, ventricular tachycardia, ischemia, ST-segment changes, bundle branch blocks, hypertrophy, and other disorders.

Records are labeled as normal ($y = 0$) if the report explicitly indicates normal findings, including phrases such as *"normal ECG"* or *"within normal limits"*. All remaining records that do not match abnormal criteria are dropped from data.

4.5 Explainability for Autoencoder Anomaly Detection

Our second goal is to provide explanations for anomaly predictions from the autoencoder.

Lead-wise reconstruction error We compute lead-level contributions as

$$E_l = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T} (x_{l,t} - \hat{x}_{l,t})^2$$

This identifies which ECG leads contribute most to the anomaly.

Time-wise reconstruction error We compute temporal contributions as

$$E_t = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^{L} (x_{l,t} - \hat{x}_{l,t})^2$$

This identifies which parts of the waveform contribute most strongly to abnormality.

Integrated Gradients To provide a gradient-based explanation of anomaly scores, we apply Integrated Gradients to the scalar anomaly score $s_{\mathrm{AE}}(x)$ rather than to a classification output. This produces an attribution map over the ECG input and indicates which leads and temporal regions most increase the anomaly score [8].

5 Experimental Setup

5.1 Preprocessing

The ECG recordings are loaded from waveform files and converted into fixed-size tensors. Invalid or incomplete records are removed. Signals are standardized using statistics computed from the training set. For the statistical models, summary features are extracted from each ECG, such as per-lead mean, standard deviation, extrema, and other descriptive characteristics. These types of features have been frequently used in ECG analysis to capture signal variability and frequency characteristics [10]. Table 1 demonstrates all features constructed for each ECG along with explanations.

Table 1: Summary features extracted from each ECG lead. All features are computed per lead and concatenated across 12 leads.

Feature	Description
Mean	Average amplitude of the ECG signal.
Standard deviation	Measures variability around the mean. Range of signal amplitudes.
Minimum / Maximum	
Median	Measure of central tendency.
25th / 75th percentiles	Describe distribution spread (interquartile range).
Mean absolute	Average absolute difference between consecutive samples; reflects smoothness.
Signal energy	Sum of squared amplitudes; represents signal power.
Variance	Measures dispersion of signal values.
Low-frequency power ratio	Fraction of spectral energy in low frequencies.
Mid-frequency power ratio	Fraction of spectral energy in mid frequencies.
High-frequency power ratio	Fraction of spectral energy in high frequencies.
Number of peaks	Approximates heartbeat occurrences.
Mean peak amplitude	Average amplitude of detected peaks.
Zero-crossing rate	Rate of sign changes; reflects oscillatory behavior.
Signal entropy	Measures complexity.

5.2 Training Procedure

The statistical baselines are trained on ECG feature representations. Autoencoder models are trained to minimize reconstruction error on the training set. For the denoising autoencoder, input signals are first corrupted using additive noise and random masking, and the model is trained to reconstruct the corresponding clean signals. This encourages resistance to noise and improves generalization to unseen abnormal patterns.

5.3 Evaluation Strategy

Evaluation in anomaly detection is challenging because anomaly labels are often limited or indirect. In this work, we evaluate anomaly scores using proxy labels derived from ECG diagnosis metadata, which allow the grouping of records into normal and abnormal categories. We report:

- AUR
- OC,
- AUPRC,

In addition to quantitative evaluation, we present qualitative case study of randomly selected anomaly and analyze its explanations.

6 Results

6.1 Quantitative Comparison

Table 2 summarizes the performance of all methods.

Table 2: Comparison of anomaly detection methods on ECG data.

Method	AUROC	AUPRC
Isolation Forest	0.78	0.79
PCA Reconstruction Error	0.78	0.81
Dense Autoencoder	0.79	0.79
Waveform Autoencoder	0.79	0.79
Denoising Autoencoder	0.79	0.79

6.2 Score Distributions

Figure 1 shows the anomaly score distributions for normal and abnormal ECG groups across all evaluated methods.

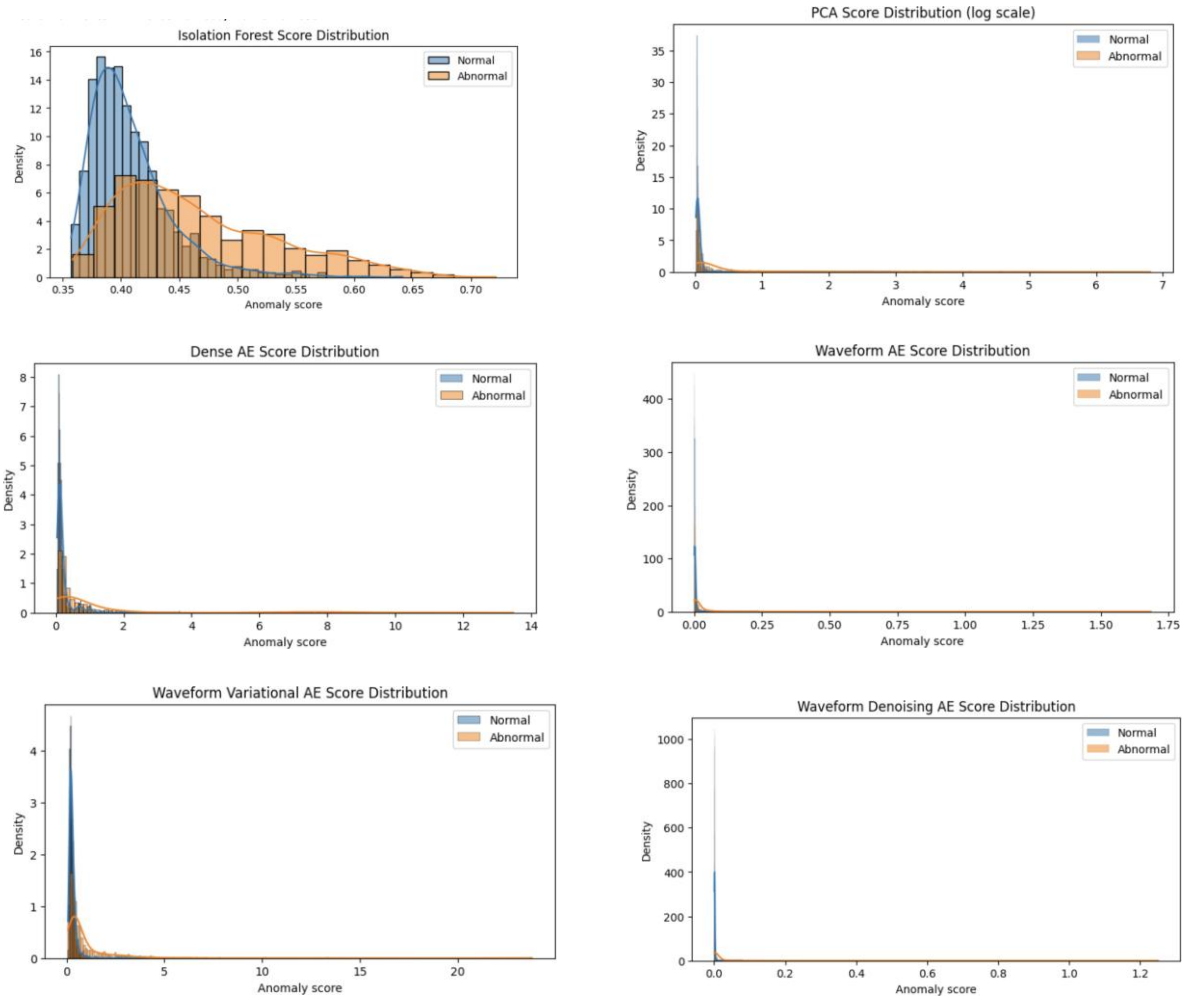


Figure 1: Anomaly score distributions for normal and abnormal ECGs across all evaluated methods: Isolation Forest, PCA, Dense AE, Waveform AE, VAE, and Denoising AE.

6.3 Explainability

For a selected anomalous ECG, Figure 2 demonstrates the original signal, reconstruction, and multiple explanations across leads and time.

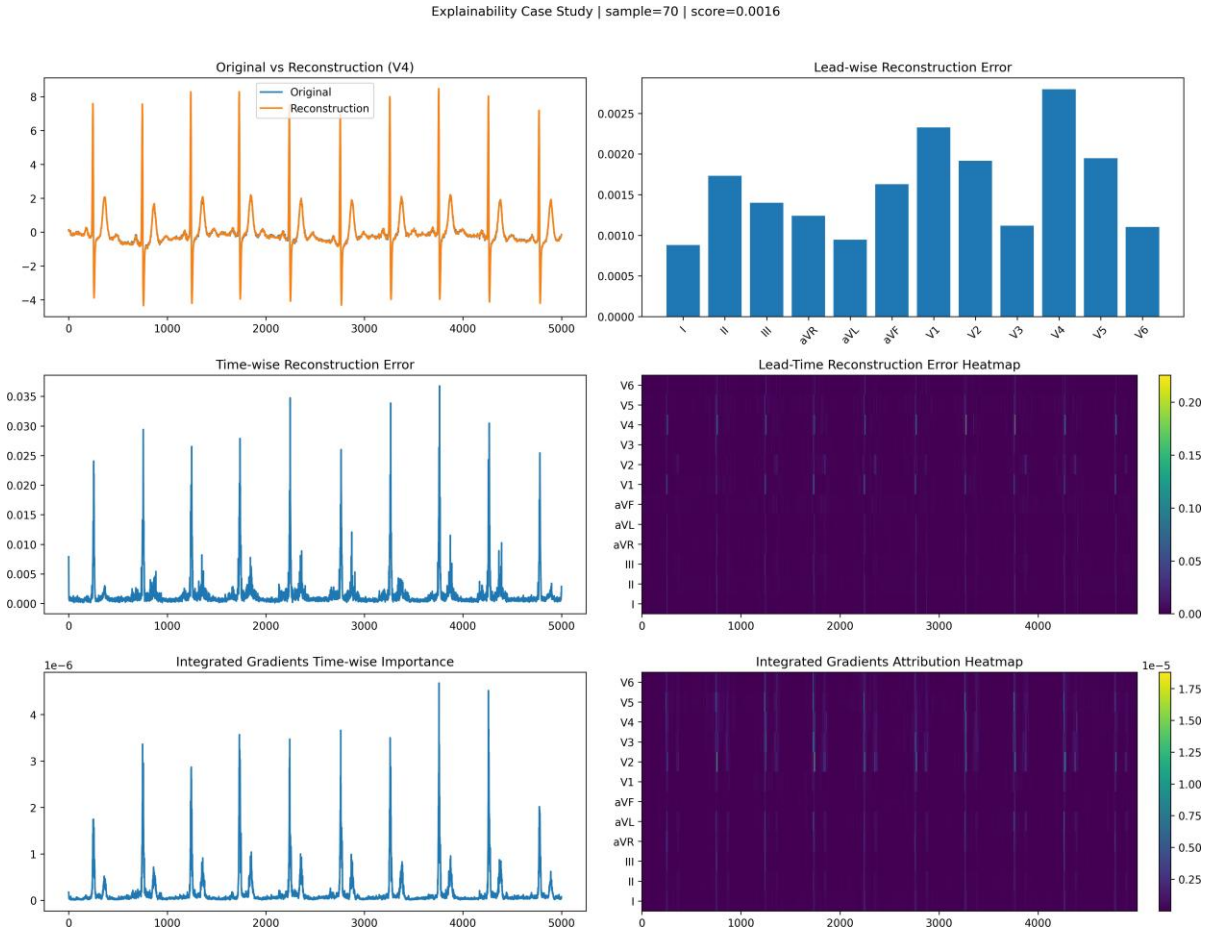


Figure 2: Explainability case study for an anomalous ECG. The figure shows the original signal, reconstruction, lead-wise reconstruction error, time-wise reconstruction error, and Integrated Gradients attribution maps, highlighting the temporal and lead regions contributing most to the anomaly score.

7 Discussion

The results show that all methods, except the denoising autoencoder, achieve very similar performance, with AUROC values around 0.78 and AUPRC values between 0.78 and 0.81. Particularly, classical approaches such as Isolation Forest and PCA perform similar to autoencoder-based models. This could suggest that, for this dataset, relatively simple statistical methods are already able to capture a significant portion of the differences between normal and abnormal ECG signals.

One possible reason for this behavior is the limited dataset size used in this study. With only 16,000 samples, deep learning models may not have enough data to fully learn complex patterns in ECG waveforms. On the other hand, statistical methods such as PCA rely on global structure and variance in the data, which can be estimated even with smaller datasets. As a result, the advantage of more complex models, such as autoencoders, may not be fully realized in this setting.

Another contributing factor is the use of proxy labels derived from diagnostic reports. These labels may not perfectly align with the notion of anomaly captured by reconstruction-based models. For example, some clinically abnormal ECGs may still follow common patterns and therefore be reconstructed well by autoencoders, which could reduce the performance gap between methods.

The denoising autoencoder shows lower performance compared to other approaches. This may be due to the added complexity introduced by the corruption process during training. While denoising can improve resistance to noise, it may also make the model less sensitive to small deviations that are important for anomaly detection, especially when training data is limited.

The explainability visualizations provide additional insight into how the model identifies the anomaly. In the selected example, reconstruction errors are not uniformly distributed but instead appear in localized, specific regions. This potentially indicates that the model is sensitive to structural irregularities in the signal rather than simply reacting to noise.

The Integrated Gradients attribution maps further support this interpretation by highlighting a smaller subset of these regions. This likely happens because, although multiple parts of the signal may be imperfectly reconstructed, the anomaly score is mainly influenced by specific waveform segments that the model considers most informative.

Taken together, these observations show that reconstruction-based and gradient-based explanations both offer insightful perspectives: reconstruction error reveals where the model struggles to represent the signal, while Integrated Gradients identifies which parts of the waveform contribute most to the anomaly decision.

Despite the similar quantitative results, autoencoder-based methods offer crucial advantages. Unlike statistical baselines, they operate directly on raw ECG waveforms and are able to capture temporal and multilead structure in the signal. Additionally, they enable detailed explainability through reconstruction error and attribution methods. As demonstrated in the explainability analysis, autoencoders can highlight specific leads and time regions that contribute to irregular behavior; this information is not available from methods such as PCA or Isolation Forest.

8 Conclusion

This paper explored an explainable approach to anomaly detection in ECG signals by comparing classical statistical methods with autoencoder-based models. We defined the problem using ECG waveforms and evaluated different methods based on their ability to detect unusual patterns, while also focusing on how their decisions can be interpreted.

The results show that simpler methods such as Isolation Forest and PCA perform similarly to more complex autoencoder models on this dataset. This is likely because the dataset is relatively small, allowing statistical methods to capture the main structure of the data effectively, while deeper models do not yet fully benefit from their capacity. The denoising autoencoder performed worse than the others, which may be due to the added difficulty of learning from noisy inputs when training data is limited.

Even though the overall performance is similar, autoencoder-based models offer clear advantages. They work directly with raw ECG signals and, more importantly, provide useful explanations. By analyzing reconstruction errors and using Integrated Gradients, the models can highlight specific leads and time segments that contribute most to an anomaly. This makes the results easier to understand and more meaningful, especially in a medical context.

In conclusion, this study suggests that classical methods remain reliable when data is limited. However, autoencoder-based approaches are still valuable because they are flexible and provide detailed, clinically relevant insights. With more data and improved training strategies, their advantages are likely to become more apparent in future work.

References

[1] MIMIC-IV-ECG: Diagnostic Electrocardiogram Matched Subset, PhysioNet. [Online]. Available: https://physionet.org/content/mimic-iv-ecg/

[2] F. T. Liu, K. M. Ting, and Z.-H. Zhou, "Isolation Forest," in *Proc. IEEE Int. Conf. Data Mining (ICDM)*, 2008, pp. 413–422.

[3] G. E. Hinton and R. R. Salakhutdinov, "Reducing the dimensionality of data with neural networks," *Science*, vol. 313, no. 5786, pp. 504–507, 2006.

[4] R. Chalapathy and S. Chawla, "Deep learning for anomaly detection: A survey," *ACM Comput. Surveys*, vol. 52, no. 1, pp. 1–38, 2019.

[5] R. Hribar and D. Torkar, "Explainable anomaly detection of 12-lead ECG signals using denoising autoencoder," in *Intelligent Secure Trustable Things*, vol. 1147, Springer, 2024.

[6] P. Vincent, H. Larochelle, Y. Bengio, and P.-A. Manzagol, "Extracting and Composing Robust Features with Denoising Autoencoders," in *Proc. 25th Int. Conf. Machine Learning (ICML)*, 2008.
D. P. Kingma and M. Welling, "Auto-encoding variational Bayes," in *Proc. Int. Conf. Learning Representations (ICLR)*, 2014.

[7] M. Sundararajan, A. Taly, and Q. Yan, "Axiomatic attribution for deep networks," in *Proc. Int. Conf. Machine Learning (ICML)*, 2017.

[8] "ECG Lead Positioning and Lead Systems," Life in the Fast Lane (LITFL), 2022. [Online]. Available: https://litfl.com/ecg-lead-positioning/

[9]

AZƏRBAYCAN DILININ BÖYÜK DIL MODELLƏRI (LLM) ILƏ ZƏIF TƏMSIL OLUNMASI: PROBLEM ANALIZI, BENCHMARK QIYMƏTLƏNDIRMƏSI VƏ PERSPEKTIV HƏLL YOLLARI

UNDERREPRESENTATION OF AZERBAIJANI LANGUAGE IN LARGE LANGUAGE MODELS (LLMS): PROBLEM ANALYSIS, BENCHMARK EVALUATION, AND PROSPECTIVE SOLUTIONS

AYTAJ HOJATOVA
Academy of the State Customs Committee
Faculty of Information Technologies
aytachocetova@gmail.com
BAKU, AZERBAIJAN

XÜLASƏ:Böyük dil modelləri — GPT-4, Claude, LLaMA və Gemini — süni intellekt sahəsində ən sürətlə inkişaf edən texnologiyalar sırasındadır. Lakin bu modellərin əksəriyyəti əsasən ingilis dili üzərində öyrədildiyindən, türk dilləri ailəsinə aid olan Azərbaycan dili məhdud səviyyədə təmsil olunur. Bu məqalədə Azərbaycan dilinin Böyük dil modelləri ekosistemindəki mövcud vəziyyəti, performans boşluqları və onların aradan qaldırılması yolları təhlil edilir. Tədqiqat çərçivəsində müxtəlif modellər Azərbaycan dili üzrə standartlaşdırılmış qiymətləndirmə testləri vasitəsilə müqayisə olunmuş, morfoloji problemlər müəyyən edilmiş və əlavə öyrədilmə ilə çoxdilli ötürmə yanaşmalarının effektivliyi araşdırılmışdır. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, Azərbaycan dili üçün xüsusi tokenizasiya strategiyalarının hazırlanması və yerli dil korpuslarının yaradılması mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

***ABSTRACT*:**Large Language Models (LLMs) — such as GPT-4, Claude, LLaMA, and Gemini — are among the fastest-growing technologies in the field of artificial intelligence. However, since most of these models are primarily trained on the English language, the Azerbaijani language, which belongs to the Turkic language family, remains underrepresented. This article analyzes the current state of the Azerbaijani language within the LLM ecosystem, performance gaps, and potential strategies for addressing them. Within the scope of the research, various models were compared using standardized evaluation benchmarks for the Azerbaijani language, morphological challenges were identified, and the effectiveness of cross-lingual transfer approaches through additional training was investigated. The results indicate that developing specific tokenization strategies for Azerbaijani and creating comprehensive local language corpora are of critical importance.

***AÇAR SÖZLƏR*:** *BÖYÜK DIL MODELLƏRI, AZƏRBAYCAN NLP, AZ RESURSLI DILLƏR, BENCHMARK, FINE-TUNING*

KEYWORDS: *LARGE LANGUAGE MODELS, AZERBAIJANI NLP, LOW-RESOURCE LANGUAGES, BENCHMARK, FINE-TUNING*

1. GIRIŞ

Süni intellekt sahəsində baş verən sürətli inkişaf, xüsusilə transformator arxitekturası əsasında qurulan böyük dil modellərinin yüksəlişi, dil texnologiyaları sahəsində yeni imkanlar yaratmışdır. ChatGPT (OpenAI) və Claude (Anthropic) kimi sistemlər geniş istifadəçi kütləsinə xidmət göstərsə də, bu modellərdə dillər arasında bərabərsizliyin mövcudluğu mühüm problemlərdən biri kimi aktuallıq qazanmışdır. Məsələn, Common Crawl kimi iri veb korpuslarında Azərbaycan dilinin payı təxminən 0.005–0.02% təşkil edir ki, bu da modelin həmin dili öyrənməsi üçün kifayət qədər məhdud məlumat bazası deməkdir.

Azərbaycan dili türk dilləri ailəsinin Oğuz qoluna aid olub, aqlütinativ quruluşa malikdir. Təxminən 30–35 milyon danışanı olan bu dil morfoloji zənginliyi, çevik söz sırası və şəkilçi əsaslı quruluşu ilə ingilis dilindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Bu struktur xüsusiyyətlər böyük dil modellərinin Azərbaycan dilini emal etməsini çətinləşdirən əsas amillərdən biridir.

Mövcud tədqiqatlar göstərir ki, Azərbaycan dili üçün standartlaşdırılmış təbii dil emalı qiymətləndirmə meyarları demək olar ki, mövcud deyil və çoxdilli modellər bu dili tez-tez türk dili ilə qarışdırır. Bu baxımdan, təqdim olunan məqalə qeyd olunan boşluğu aradan qaldırmaq məqsədilə aparılmış sistemli və müqayisəli tədqiqatın nəticələrini təqdim edir.

Məqalənin strukturu aşağıdakı kimidir: növbəti bölmədə ədəbiyyat icmalı təqdim olunur, daha sonra tədqiqatın metodologiyası izah edilir, ardınca qiymətləndirmə nəticələri və əldə olunan əsas töhfələr müzakirə edilir, sonda isə nəticələr və gələcək tədqiqat istiqamətləri verilmişdir.

2. ƏDƏBIYYAT İCMALI

Təbii dil emalı sahəsində aparılan tədqiqatlar dillər arasında resurs bərabərsizliyini açıq şəkildə ortaya qoymuşdur. Joshi və digərləri (2020) dünya dillərini mövcud dil resurslarına görə altı kateqoriyaya ayırmış və Azərbaycan dili kimi dilləri ən az dəstəklənən qrupda yerləşdirmişdir. Bu yanaşma az resurslu dillərin rəqəmsal mühitə inteqrasiyasının zəruriliyini vurğulayır. Conneau və digərləri (2020) tərəfindən təqdim edilmiş çoxdilli model 100-dən çox dili əhatə edərək az resurslu dillər üçün mühüm baza formalaşdırmışdır. Bununla belə, Azərbaycan dili bu modellərdə də məhdud səviyyədə təmsil olunmuşdur.

Rust və digərləri (2021) çoxdilli modellərdə sözlərin alt vahidlərə bölünməsi prosesinin (tokenizasiya) kritik rol oynadığını göstərmiş və az resurslu dillərdə bu prosesin keyfiyyətinin aşağı olduğunu müəyyən etmişdir. Xue və digərləri (2021) tərəfindən hazırlanmış çoxdilli model 101 dili əhatə edir və alternativ yanaşma kimi istifadə oluna bilər. Hu və digərləri (2022) isə böyük modellərin az həcmli məlumatla uyğunlaşdırılmasını mümkün edən metod təqdim etmişdir ki, bu da az resurslu dillər üçün xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bundan əlavə, az sayda nümunə ilə öyrənmə yanaşmasının da bu dillərdə tətbiq potensialı olduğu göstərilmişdir.

3. TƏDQİQAT METODU

Bu tədqiqat analitik və müşahidəyə əsaslanan yanaşma ilə aparılmışdır. Mövcud böyük dil modellərinin Azərbaycan dili üzrə davranışı real istifadə nümunələri əsasında qiymətləndirilmiş və əldə olunan nəticələr elmi ədəbiyyatda mövcud tapıntılarla müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir.

Tədqiqat çərçivəsində kiçik miqyaslı pilot təcrübə aparılmışdır. Eksperiment zamanı müxtəlif struktur və mürəkkəblik səviyyəsinə malik 12 Azərbaycan dili cümləsi seçilmiş və modellərə təqdim edilmişdir. Bu cümlələr üç əsas kateqoriyaya bölünmüşdür: sadə quruluşlu cümlələr, morfoloji baxımdan mürəkkəb cümlələr və məntiqi nəticə çıxarma tələb edən suallar. Model cavabları semantik uyğunluq, morfoloji düzgünlük və sintaktik adekvatlıq meyarları üzrə keyfiyyət baxımından qiymətləndirilmişdir

4. MÜŞAHİDƏLƏR VƏ ANALİZ

Aparılan müşahidələr göstərir ki, modellər sadə quruluşlu Azərbaycan cümlələrini ümumən düzgün başa düşür və semantik cəhətdən uyğun cavablar verir. Lakin morfoloji baxımdan mürəkkəb konstruksiyalarda nəzərəçarpacaq çatışmazlıqlar müşahidə olunur.

Konkret nümunə olaraq "gedəcəkdiniz" kimi çoxşəkilçili feillərdə zaman, şəxs və cəm kateqoriyalarının eyni anda düzgün interpretasiyası çətinlik yaradır. Tokenizasiya zamanı bu tip sözlərin kiçik alt-vahidlərə parçalanması kontekstin itirilməsinə səbəb ola bilər. Müqayisə üçün qeyd etmək olar ki, ingilis dilindəki "you will go" ifadəsi üç ayrı token kimi asanlıqla emal edilir, halbuki Azərbaycan dilindəki funksional ekvivalent tək sözdən ibarətdir. Bundan əlavə, bəzi hallarda modelin Azərbaycan dilini digər dillərlə, xüsusən türk dili ilə qarışdırdığı müşahidə edilmişdir. Bu hal modelin dil identifikasiyası ilə bağlı məhdudiyyətlərini əks etdirir.

Eksperiment zamanı müşahidə olunan ümumi mənzərə belədir: sadə cümlələrdə modellər yüksək semantik uyğunluq nümayiş etdirmişdir. Morfoloji mürəkkəb cümlələrdə isə şəkilçi ardıcıllığında və şəxs-zaman uyğunluğunda səhvlər müşahidə edilmişdir. Məntiqi sual qrupunda nəticələr qeyri-sabit olmuş — bəzi cavablar düzgün istiqamətdə olsa da, bir hissəsi natamam qalmışdır.

5. TƏDQIQATIN TÖHFƏLƏRI

Bu məqalənin əsas töhfəsi Azərbaycan dilinin LLM-lərdəki mövcud vəziyyətini sistemli müşahidə əsasında sənədləşdirməkdir. Konkret çətinliklər — tokenizasiya uyğunsuzluğu, morfoloji interpretasiya problemləri, dil identifikasiyası zəifliyi — real nümunələrlə göstərilmiş və ədəbiyyatdakı tapıntılarla əlaqələndirilmişdir.
Gələcək tədqiqatlar üçün aşağıdakı prioritet istiqamətlər müəyyən edilmişdir: Azərbaycan dili üçün morfoloji strukturu nəzərə alan xüsusi tokenizasiya modelinin hazırlanması; keyfiyyətli yerli korpusların — mətbuat, hüquqi və elmi mətnlər əsasında — yaradılması; mövcud çoxdilli modellərin LoRA əsaslı fine-tuning vasitəsilə Azərbaycan dilinə uyğunlaşdırılması.

6. NƏTICƏ

Aparılan tədqiqat müasir Böyük Dil Modellərinin (LLM) Azərbaycan dilini emal etmə imkanlarında ciddi məhdudiyyətlərin olduğunu üzə çıxarmışdır. Bu çatışmazlıqların əsas texniki səbəbləri kimi dilin **aqqlütinativ quruluşu**, mövcud **tokenizasiya mexanizmlərinin** bu mürəkkəbliyə uyğunsuzluğu və qlobal rəqəmsal korpuslarda Azərbaycan dilli mətnlərin payının azlığı müəyyən edilmişdir.
Müşahidə eksperimentləri göstərir ki, modellər sadə sintaktik strukturlarda qənaətbəxş performans nümayiş etdirsələr də, morfoloji mürəkkəblik artdıqca nəticələrin keyfiyyəti kəskin şəkildə aşağı düşür. Azərbaycan dilinin rəqəmsal mühitdə layiqincə təmsil olunması üçün **tokenizasiya alqoritmlərinin optimallaşdırılması**, **genişmiqyaslı keyfiyyətli korpusların yaradılması** və **məqsədli fine-tuning (dəqiq tənzimləmə)** istiqamətlərində sistemli tədqiqatların aparılması zəruridir.
Tədqiqat çərçivəsində əldə olunmuş tapıntılar sahə üzrə mövcud boşluqları analiz etməyə imkan verir və təklif olunan yanaşmaların səmərəliliyi işin praktiki əhəmiyyətini əsaslandırır.

7. ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

17. Joshi, P., Santy, S., Budhiraja, A., Bali, K., & Choudhury, M. (2020). The state and fate of linguistic diversity and inclusion in the NLP world. Proceedings of ACL 2020, 6282–6293.
18. Conneau, A., Khandelwal, K., Goyal, N., Chaudhary, V., Wenzek, G., & Guzmán, F. (2020). Unsupervised cross-lingual representation learning at scale. Proceedings of ACL 2020, 8440–8451.
19. Hu, E. J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., & Chen, W. (2022). LoRA: Low-rank adaptation of large language models. ICLR 2022.
20. Touvron, H., Lavril, T., Izacard, G., Martinet, X., Lachaux, M. A., & Lacroix, T. (2023). LLaMA: Open and efficient foundation language models. arXiv:2302.13971.
21. Rust, P., Pfeiffer, J., Vulić, I., Ruder, S., & Gurevych, I. (2021). How good is your tokenizer? On the monolingual performance of multilingual language models. Proceedings of ACL 2021, 164–176.
22. Xue, L., Constant, N., Roberts, A., Kale, M., Al-Rfou, R., Siddhant, A., & Raffel, C. (2021). mT5: A massively multilingual pre-trained text-to-text transformer. Proceedings of NAACL 2021, 483–498.
23. Adelani, D. I., Abbott, J., Neubig, G., D'souza, R., Kreutzer, J., & Lignos, C. (2022). A few thousand translations go a long way! NAACL 2022, 3053–3070.
24. Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., & Dhariwal, P. (2020). Language models are few-shot learners. Advances in Neural Information Processing Systems, 33, 1877–1901.

QISMƏN GÖRMƏ MƏHDUDIYYƏTI OLAN INSANLAR ÜÇÜN SÜNI INTELLEKT ƏSASLI VEB KÖMƏKÇI SISTEMLƏRDƏ ƏLÇATANLIQ

Əkbər Fərəcov
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı, Azərbaycan
eferecov2@std.beu.edu.az

Xülasə— Bu məqalədə qismən görmə məhdudiyyəti olan istifadəçilər üçün süni intellekt əsaslı veb köməkçi sistemin əlçatanlıq baxımından təhlili təqdim olunur. Praktik iş çərçivəsində Next.js, AI SDK və Gemini modeli əsasında hazırlanmış sayt nümunəsi araşdırılmışdır. Sistemdə Azərbaycan dili dəstəyi üçün səsli giriş və səsli çıxış ElevenLabs xidməti vasitəsilə təşkil edilmiş, hava ilə bağlı sorğular üçün isə ayrıca klassik hava API-si əvəzinə axtarış alətindən istifadə olunmuşdur. Təhlil göstərir ki, iri və aydın interfeys elementləri, qısa cavablar, klaviatura qısayolları, səsli giriş və manual dinləmə prinsipi qismən görmə məhdudiyyəti olan istifadəçilər üçün daha rahat rəqəmsal mühitin formalaşdırılmasına kömək edir.

Açar sözlər— əlçatanlıq, qismən görmə məhdudiyyəti, süni intellekt, veb köməkçi sistem, ElevenLabs, Next.js

GIRIŞ

Rəqəmsal xidmətlərdən istifadə təhsil, informasiya əldə etmə, ünsiyyət və gündəlik tapşırıqların icrasında əsas vasitələrdən birinə çevrilmişdir. Bununla belə, bütün istifadəçilər bu mühitdən eyni rahatlıqla yararlana bilmirlər. Qismən görmə məhdudiyyəti olan şəxslər üçün standart veb interfeyslər çox vaxt oxunması çətin, vizual baxımdan yorucu və idarəetmə baxımından mürəkkəb olur. Kiçik şriftlər, zəif kontrast, sıx yerləşdirilmiş düymələr və uzun mətn blokları bu istifadəçi qrupunun həm informasiyanı qavramasını, həm də əməliyyatları yerinə yetirməsini çətinləşdirir [1].

Bu səbəbdən süni intellekt və frontend texnologiyalarının birgə tətbiqi ilə daha əlçatan veb köməkçi mühitin qurulması aktual tədqiqat istiqaməti hesab olunur. Təqdim olunan praktik işdə qismən görmə məhdudiyyəti olan istifadəçilər üçün süni intellekt əsaslı sayt nümunəsi nəzərdən keçirilmiş, onun funksional və dizayn həlləri təhlil edilmişdir. Məqsəd ümumi təyinatlı chatbot hazırlamaq deyil, qısa və aydın cavablar verən, səsli qarşılıqlı əlaqəni dəstəkləyən, eyni zamanda vizual baxımdan daha rahat istifadə olunan rəqəmsal köməkçi yaratmaqdır. Bu yanaşma əlçatanlığın qavranılanlıq, idarəolunanlıq, anlaşılanlıq və dayanıqlılıq kimi əsas prinsiplərinə uyğundur [2; 3].

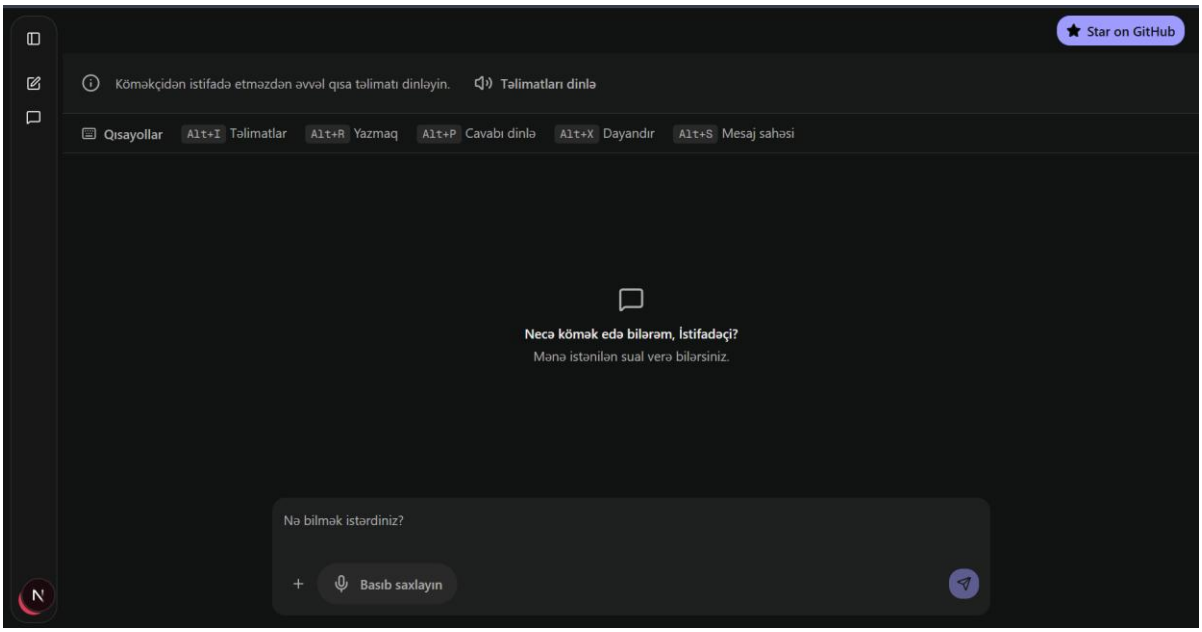
Hazırlanmış prototip Next.js, AI SDK və Gemini modeli əsasında qurulmuşdur. Sistem səsli və mətn əsaslı giriş, qısayollar, təlimat paneli, gündəlik istifadə üçün faydalı cavab ssenariləri və qismən görmə məhdudiyyəti olan istifadəçilər üçün uyğunlaşdırılmış istifadəçi interfeysi ilə formalaşdırılmışdır. Praktik təhlildə əsas diqqət istifadəçi təcrübəsinə, dil dəstəyinə və əlçatanlığın gündəlik istifadə kontekstində necə yaxşılaşdırılmasına yönəldilmişdir.

SISTEMIN ARXITEKTURASI VƏ ISTIFADƏ OLUNAN TEXNOLOGIYALAR

Praktiki sistemin frontend hissəsi Next.js əsasında hazırlanmışdır. Bu seçim komponent əsaslı inkişaf, çevik marşrutlaşdırma və müasir istifadəçi interfeysinin qurulması baxımından məqsədəuyğun olmuşdur [4]. Süni intellekt hissəsində AI SDK istifadə edilmiş, cavabların axın şəklində alınması Gemini modeli ilə təmin olunmuşdur. Nəticədə istifadəçi sorğunu göndərdikdən sonra cavabın tam hazırlanmasını gözləmədən, onun mərhələli şəkildə ekranda təqdim olunmasını izləyə bilir.

Sistemdə Azərbaycan dili dəstəyi xüsusi əhəmiyyət daşıdığından səsli giriş və səsli çıxış üçün ElevenLabs xidmətindən istifadə edilmişdir. Speech-to-text funksiyası istifadəçinin danışığını mətnə çevirmək üçün, text-to-speech funksiyası isə cavabların və təlimatların Azərbaycan dilində səsləndirilməsi üçün tətbiq olunmuşdur. Bu yanaşma brauzer səviyyəsində məhdud dil dəstəyindən daha sabit və keyfiyyətli nəticə əldə etmək məqsədi daşıyır.

Hava ilə bağlı sorğular üçün ayrıca klassik hava API-si deyil, axtarış alətindən istifadə olunmuşdur. Beləliklə, sistem istifadəçinin hava haqqında verdiyi suallara axtarışa əsaslanan cavab qaytarır və nəticəni qısa, aydın mətn şəklində təqdim edir. Bu yanaşma texniki baxımdan sadə inteqrasiyaya imkan verməklə yanaşı, istifadəçi üçün əsas informasiyanın operativ şəkildə təqdim edilməsini təmin edir.



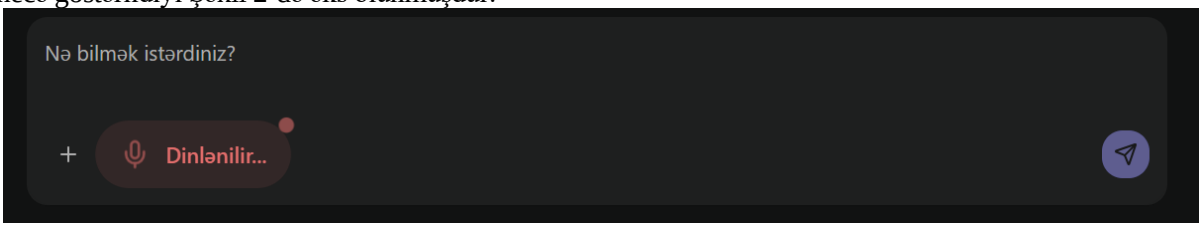
Şəkil 1. Saytın əsas ekranı: təlimat paneli, qısayollar və giriş sahəsi

2. PRAKTIKI FUNKSIYALAR VƏ ISTIFADƏÇI SSENARILƏRI

Sayt üzərində aparılan işlərin əsas məqsədi qismən görmə məhdudiyyəti olan istifadəçilər üçün gündəlik istifadəyə yararlı rəqəmsal köməkçi interfeys yaratmaq olmuşdur. Bu məqsədlə sistemdə bir neçə funksional və dizayn yönümlü həll tətbiq edilmişdir. Bunlara təlimatlandırma paneli, klaviatura qısayolları, səsli giriş, manual səsli dinləmə və gündəlik istifadə üçün faydalı informasiya ssenariləri daxildir. Saytın əsas ekranı, təlimat paneli, qısayollar və giriş sahəsi Şəkil 1-də təqdim olunmuşdur.

Birinci istiqamət təlimatlandırmadır. Saytın yuxarı hissəsində istifadəçiyə sistemdən necə istifadə olunması barədə qısa məlumat təqdim olunur və həmin təlimatı dinləmək imkanı yaradılır. Təlimatların Azərbaycan dilində verilməsi istifadəçi üçün sistemlə ilkin tanışlığı asanlaşdırır. İkinci istiqamət klaviatura qısayollarıdır. Təlimatlar, yazmağa başlama, cavabı dinləmə, dayandırma və mesaj sahəsinə keçid üçün qısayollar ayrıca göstərilmişdir. Bu, yalnız klaviatura ilə işləmək istəyən və ya əmrləri daha sürətli icra etməyə üstünlük verən istifadəçilər üçün praktik üstünlük yaradır.

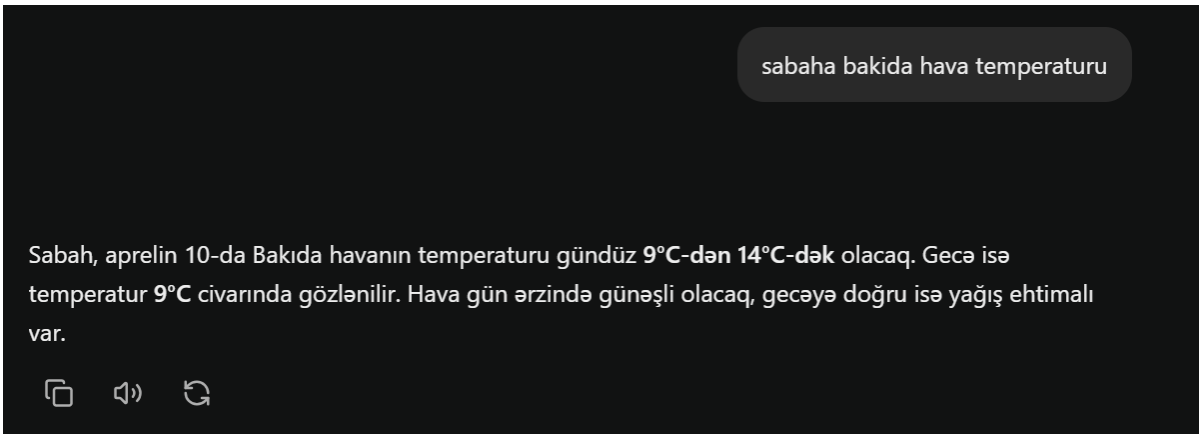
Üçüncü istiqamət səsli girişdir. İstifadəçi mikrofon düyməsini aktivləşdirərək sualını danışıq şəklində daxil edir. Speech-to-text emalı ElevenLabs vasitəsilə aparıldığından Azərbaycan dilində sorğuların daha təbii qəbul edilməsi hədəflənmişdir. Səsli giriş, xüsusilə uzun mətn yazmaq istəməyən və ya mətni vizual olaraq izləməkdə çətinlik çəkən istifadəçilər üçün əlverişlidir. Səsli giriş rejimində dinləmə statusunun istifadəçiyə necə göstərildiyi Şəkil 2-də əks olunmuşdur.



Şəkil 2. Səsli giriş rejimi: dinləmə statusunun aydın göstərilməsi

Dördüncü istiqamət gündəlik faydalı informasiya ssenarileridir. Bu qəbildən olan funksiyalar sistemin yalnız ümumi sual-cavab vasitəsi deyil, həm də rəqəmsal köməkçi kimi fəaliyyət göstərməsinə imkan verir. Bu ssenarilər arasında hava ilə bağlı sorğular xüsusi yer tutur. İstifadəçi cari və ya növbəti gün üçün hava haqqında sual verir, sistem isə axtarış aləti əsasında qısa və anlaşılan cavab təqdim edir. Hava sorğusuna verilmiş nümunə cavab Şəkil 3-də göstərilmişdir.

Sistemdə manual dinləmə prinsipi saxlanılmışdır. Cavablar avtomatik oxudulmur, istifadəçi istədiyi halda onları ayrıca dinləyə bilir. Bu qərar təcrübə zamanı aparılmış müşahidələrə əsaslanır. Çünki bəzi hallarda avtomatik səsləndirmə istifadəçi üzərində əlavə yük yaradır, xüsusilə də başqa assistiv texnologiyalar paralel işlədikdə.



Şəkil 3. Hava sorğusu nümunəsi: qısa və aydın AI cavabı

3. Əlçatanlıq baxımından əsas müşahidələr

Praktik təhlil göstərir ki, qismən görmə məhdudiyyəti olan istifadəçilər üçün ən vacib məsələ təkcə səsli qarşılıqlı əlaqənin mövcudluğu deyil. Əsas dəyər sistemin ümumi istifadə rahatlığındadır. Buna iri şrift, güclü kontrast, düymələrin böyüdülməsi, klik sahələrinin genişləndirilməsi, aydın boşluqlar və qısa cavablar daxildir. Yəni sistemin vizual və mətn strukturu nə qədər sadə və seçilən olarsa, istifadəçi təcrübəsi bir o qədər yaxşılaşır [2; 3].

Bu layihədə məhz buna görə interfeys elementləri iri və aydın saxlanılmış, əsas əməliyyatlar qısa düymələr və qısayollar vasitəsilə istifadəyə təqdim edilmişdir. Mətn hissəsində istifadəçiyə yüklənmə yaratmamaq üçün cavablar qısa cümlələrlə formalaşdırılmışdır. Bu, həm vizual oxunuş, həm də Azərbaycan dilində səsli dinləmə baxımından müsbət nəticə verir.

Təcrübə zamanı belə nəticəyə gəlmək mümkün olmuşdur ki, süni intellektin rolu yalnız cavab generasiya etməkdə deyil, informasiyanı daha əlçatan formaya salmaqda da özünü göstərir. Speech-to-text istifadəçinin daxil etmə yükünü azaldır, text-to-speech isə lazım gəldikdə cavabın audio şəkildə qəbuluna imkan verir. Lakin bu imkanların istifadəsi istifadəçi nəzarətində saxlanıldıqda daha faydalı nəticə verir [5].

4. MÜZAKIRƏ

Aparılan iş göstərir ki, qismən görmə məhdudiyyəti olan insanlar üçün süni intellekt köməkçisi hazırlayarkən əsas sual texnologiyanın nə dərəcədə mürəkkəb olması deyil, onun istifadəçi üçün nə qədər anlaşılan və idarəolunan olmasıdır. Praktik sayt nümunəsi əsasında formalaşan nəticə ondan ibarətdir ki, tam avtomatik səsli sistem qurmaq hər zaman prioritet olmaya bilər. Bir çox halda daha stabil və faydalı həll böyük və aydın vizual elementlər, Azərbaycan dilini dəstəkləyən səsli giriş, qısa cavablar və istifadəçinin seçimi ilə aktivləşən audio funksiyalardır.

Bu yanaşmanın başqa bir üstünlüyü onun daha geniş istifadəçi qrupuna xidmət etməsidir. Böyük düymələr, aydın qısayollar, qısa təlimatlar və sadə cavablar təkcə qismən görmə məhdudiyyəti olan istifadəçilərə deyil, həm də yaşlı istifadəçilərə və ümumilikdə sadə interfeysə üstünlük verən şəxslərə rahatlıq yaradır. Beləliklə, əlçatanlıq üçün edilən dəyişikliklər sistemin ümumi istifadə keyfiyyətini də yaxşılaşdırır.

Praktik layihənin araşdırma dəyəri də məhz burada görünür. Bu iş yeni dil modeli yaratmaq iddiası daşımır; əksinə, mövcud süni intellekt imkanlarının konkret istifadəçi qrupu üçün necə daha yararlı hala gətirilə biləcəyini göstərir. ElevenLabs vasitəsilə Azərbaycan dilində səsli giriş və çıxışın təmin olunması, hava məlumatı üçün axtarış alətindən istifadə edilməsi və cavabların qısa strukturda verilməsi bu yanaşmanın əsas xüsusiyyətləri kimi qiymətləndirilə bilər.

5. NƏTICƏ

Aparılmış praktik iş çərçivəsində qismən görmə məhdudiyyəti olan istifadəçilər üçün süni intellekt əsaslı veb köməkçi sayt hazırlanmışdır. Hazırlanan sistemdə istifadəçinin mətn və səs vasitəsilə sorğu göndərməsi, Azərbaycan dilində səsli giriş və səsli çıxışın təmin edilməsi, klaviatura qısayolları ilə idarəetmə, qısa təlimat paneli, manual cavab dinləmə mexanizmi və gündəlik istifadə üçün faydalı sorğu ssenariləri reallaşdırılmışdır. Eyni zamanda interfeysdə iri və aydın vizual elementlərdən, qısa və anlaşılan cavab strukturundan, qismən görmə məhdudiyyəti olan istifadəçilər üçün daha rahat istifadə imkanı yaradan dizayn həllərindən istifadə olunmuşdur.

Hazırlanmış sayt nümunəsi göstərir ki, əlçatanlıq üçün ən effektiv model tam avtomatik səsli sistem qurmaqdan çox, istifadəçiyə nəzarət verən, aydın görünən, klaviatura ilə rahat işləyən və qısa cavablar təqdim edən interfeys yaratmaqdır.

İSTIFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBIYYAT

[1] World Health Organization. Eye care, vision impairment and blindness. https://www.who.int/health-topics/blindness-and-vision-loss
[2] W3C. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2. https://www.w3.org/TR/WCAG22/
[3] W3C WAI. Accessibility Principles. https://www.w3.org/WAI/fundamentals/accessibility-principles/
[4] Next.js Documentation. Accessibility. https://nextjs.org/docs/architecture/accessibility
[5] MDN Web Docs. ARIA live regions. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Accessibility/ARIA/Guides/Live_regions

MÜASİR DÖVR HƏRBİ SİSTEMLƏRİNDƏ KİBER-MÜDAFİƏNİN ROLU

Aydan Xəlilli
Azərbaycan Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
Aydan.Xelilli@ascca.edu.az

Xülasə

Müasir dövrdə hərbi sistemlər sürətlə rəqəmsallaşır və informasiya-kommunikasiya texnologiyalarından geniş istifadə olunur. Komanda-idarəetmə sistemləri, pilotsuz platformalar, peyk rabitəsi, radar şəbəkələri və yüksək dəqiqlikli silah sistemləri proqram təminatı və şəbəkə infrastrukturu ilə sıx inteqrasiya olunmuşdur. Bu isə kibertəhlükələrin hərbi sahədə daha real və təhlükəli xarakter almasına səbəb olmuşdur. Kiber-müdafiə artıq yalnız texniki təhlükəsizlik məsələsi deyil, həm də strateji üstünlük və milli təhlükəsizlik faktorudur. Məqalədə müasir hərbi sistemlərdə kiber-müdafiənin əhəmiyyəti, əsas risklər və tətbiq edilən müdafiə mexanizmləri təhlil edilir.

Açar sözlər: kiber-müdafiə, hərbi sistemlər, kibertəhlükəsizlik, informasiya üstünlüyü, C4ISR, kritik infrastruktur, elektron müharibə

Giriş

XXI əsrdə müharibə anlayışı coğrafi məhdudiyyətləri geridə qoyaraq tamamilə yeni bir ölçü qazanmışdır. Ənənəvi quru, hava və dəniz əməliyyatlarının yanına kiberməkanın beşinci əməliyyat sahəsi kimi əlavə olunması hərbi doktrinaları kökündən yeniləmişdir. Bu yeni reallıqda informasiya üstünlüyü və rəqəmsal infrastruktura nəzarət hərbi uğurun əsas təminatçısı hesab olunur. NATO və Amerika Birləşmiş Ştatlarının Müdafiə Nazirliyi kimi qlobal təhlükəsizlik güclərinin kiberməkanı rəsmi döyüş mühiti kimi tanıması kiberhücumların artıq konvensional silahlı hücumlarla eyni strateji çəkiyə malik olduğunu təsdiqləyir.

Rəqəmsal texnologiyaların hərbi idarəetmə və silah sistemlərinə dərindən inteqrasiyası orduların operativ çevikliyini artırsa da, eyni zamanda onları görünməz və asimmetrik təhdidlərlə üz-üzə qoymuşdur. Müasir müharibələrdə düşmənin rabitə xətlərini sıradan çıxarmaq, logistik şəbəkələrini iflic etmək və ya kritik infrastrukturunu rəqəmsal müdaxilə ilə dayandırmaq hər hansı fiziki bombardmandan daha sarsıdıcı təsir bağışlaya bilir. Bu səbəbdən kiber-müdafiə artıq sadəcə informasiya texnologiyalarının təhlükəsizliyi məsələsi deyil, birbaşa milli suverenliyin və dövlətin fiziki mövcudluğunun qorunması deməkdir. Müasir hərbi mühitdə kiber-müdafiə potensialı olmayan bir dövlət ən güclü ordulara sahib olsa belə, rəqəmsal cəbhədə alınan bir zərbə ilə bütün müdafiə sisteminin iflası ilə qarşılaşa bilər.

Metodologiya

Tədqiqat zamanı müasir hərbi doktrinaların və beynəlxalq təhlükəsizlik strategiyalarının **müqayisəli analizi** metodundan istifadə edilmişdir. Kiberrisklərin kinetik təsirlərini öyrənmək üçün "Stuxnet" kimi real nümunələr üzərində **hadisə analizi (case study)** tətbiq olunmuşdur. Həmçinin, rəqəmsallaşmanın hərbi effektivliyə təsiri **sistemli yanaşma** və mövcud texnoloji trendlərin (AI, kvant) **elmi proqnozlaşdırılması** yolu ilə qiymətləndirilmişdir.

Müasir hərbi sistemlərin rəqəmsallaşması və kiberrisklər

Şəbəkə Mərkəzli Müharibə və C4ISR Arxitekturası: Müasir ordular artıq fərdi vahidlərdən ibarət deyil, vahid bir "sinir sistemi" kimi fəaliyyət göstərir. Bu sistem sensorlardan alınan məlumatları saniyələr ərzində ən ucqar bölməyə çatdıraraq düşmən üzərində sürət və "vəziyyətdən xəbərdarlıq" (situational

awareness) üstünlüyü yaradır. Lakin bu zəncirin bir elementi kiber-müdaxiləyə məruz qalarsa, bütün sistemin "zəhərlənməsi" və yanlış məlumat əsasında strateji səhvlərin buraxılması riski yaranır.

Kinetik Təsirli Kiber-Silahlar: Kiberhücumlar artıq sadəcə məlumat oğurluğu ilə məhdudlaşmır, birbaşa fiziki dağıntı törətmək gücünə malikdir. Stuxnet nümunəsində görüldüyü kimi, zərərli proqram təminatı fiziki avadanlıqların iş rejimini dəyişərək onları partlada və ya sıradan çıxara bilər. Bu, müharibənin fiziki itki vermədən, uzaqdan idarə olunan kodlarla udulması potensialını yaradır.

Təchizat Zənciri Təhlükəsizliyi: Müasir silah sistemləri milyonlarla sətir koda malikdir. Bu proqram təminatının yazılması və çiplərin istehsalı zamanı daxilə yerləşdirilən "arxa qapılar" (backdoors), gələcək münaqişələrdə həmin silahların döyüş anında düşmən tərəfindən məsafədən söndürülməsi və ya hədəfdən yayındırılması riskini doğurur.

Elektron Müharibə (EW) və Kiber-İnteqrasiya: Müasir döyüşlərdə kiber-əməliyyatlar elektron müharibə vasitələri ilə birləşir. Məsələn, GPS siqnallarının aldadılması (spoofing) vasitəsilə PUA-ların koordinatları dəyişdirilir və ya raketdən müdafiə sistemlərinin radarlarına saxta hədəf siqnalları ötürülür. Bu, rəqibi həm fiziki, həm də informasiya baxımından "kor edərək" döyüş qabiliyyətini minimuma endirir.

Kiber-Dayanıqlılıq (Cyber Resilience) Zərurəti: Müasir hərbi doktrinalarda artıq sadəcə "keçilməz müdafiə" anlayışı kifayət etmir. Əsas hədəf kiber-dayanıqlılıqdır; yəni ordu kiberhücuma məruz qaldıqdan və bəzi sistemləri sıradan çıxdıqdan sonra belə öz əməliyyat qabiliyyətini necə qoruyub saxlamalı və funksiyalarını necə bərpa etməlidir.

Asimmetrik Təhdid və Ucuz Müharibə: Hərbi sistemlərin rəqəmsallaşması asimmetrik riskləri artırır. Milyardlarla dollar dəyərində olan bir hərbi infrastruktur, bir neçə haker tərəfindən hazırlanmış ucuz, lakin effektiv bir virus vasitəsilə iflic edilə bilər. Bu, texnoloji cəhətdən üstün olan orduların rəqəmsal sahədə gözlənilməz dərəcədə həssas ola biləcəyini göstərir.

Kiber-müdafiənin strateji əhəmiyyəti

Kiber-müdafiə müasir hərbi strategiyanın sadəcə texniki dəstək mexanizmi deyil, dövlətin rəqəmsal suverenliyini təmin edən strateji qalxan funksiyasını yerinə yetirir. Komanda və idarəetmə sistemlərinin qorunması bu çərçivədə ən kritik prioritet hesab olunur, çünki müasir döyüş meydanında vahid şəbəkəyə bağlı olan bölmələr arasında rabitənin kəsilməsi və ya əməliyyat məlumatlarının manipulyasiya edilməsi qoşunların idarəolunmaz hala düşməsinə və strateji məğlubiyyətə yol açа bilər. Bunun qarşısını almaq üçün tətbiq olunan kvant davamlı şifrələmə üsulları, çoxsəviyyəli biometrik autentifikasiya və süni intellekt əsaslı daimi şəbəkə monitorinqi sistemləri potensial sızmaları hələ baş vermədən aşkarlamağa imkan verir. İnformasiya üstünlüyünün təmin edilməsi isə müasir müharibələrin xarakterini dəyişərək üstünlüyü yalnız atəş gücündən deyil, həm də məlumatın rəqibdən daha sürətli toplanması, emalı və analizi qabiliyyətindən asılı hala gətirir. Etibarlı kiber-müdafiə sistemi düşmənin rəqəmsal kəşfiyyat cəhdlərini bloklayaraq qərar qəbuletmə zəncirinin saflığını qoruyur və ordunun "vəziyyətdən xəbərdarlıq" imkanlarını maksimum səviyyədə saxlayır.

Kritik infrastrukturun qorunması məsələsi hərbi strategiyanı mülki sahə ilə sıx bağlayır, çünki enerji şəbəkələri, nəqliyyat qovşaqları və rəqəmsal rabitə infrastrukturu ordunun arxa cəbhə təminatının onurğa sütununu təşkil edir. Bu sistemlərə qarşı həyata keçirilən kiber-təxribatlar ordunun logistik imkanlarını iflic etməklə yanaşı, ölkə daxilində genişmiqyaslı xaos yaradaraq ictimai sabitliyi poza və müdafiə qabiliyyətini daxildən sarsıda bilər. Beləliklə, kiber-müdafiə artıq lokal bir mühafizə tədbiri deyil, həm döyüş meydanındakı aktiv əməliyyatların, həm də ölkənin ümumi təhlükəsizlik arxitekturasının davamlılığını təmin edən fundamental strateji elementdir. Müasir hərbi doktrinalar kiber-müdaxiləyə qarşı dayanıqlılığı artırmaq üçün aktiv kiber-müdafiə taktikalarına keçid edir ki, bu da düşmənin hücum hazırlığını hələ onun öz şəbəkəsində müəyyən edib zərərsizləşdirməyi nəzərdə tutur.

Müasir kiber-müdafiə yanaşmaları

Müasir hərbi sistemlərdə kiber-müdafiə çoxsəviyyəli təhlükəsizlik prinsipi əsasında qurulur. Şəbəkə təhlükəsizliyi üçün firewall sistemləri, hücumların aşkarlanması və qarşısının alınması mexanizmləri, şəbəkə segmentasiyası və təhlükəsiz rabitə protokolları tətbiq edilir.

Kriptoqrafik müdafiə mexanizmləri məlumatların məxfiliyini və bütövlüyünü təmin edir. Hərbi rabitə sistemlərində xüsusi standartlara uyğun şifrələmə alqoritmlərindən istifadə olunur.

Son illərdə süni intellekt əsaslı təhlükə aşkarlama sistemləri geniş tətbiq edilir. Bu sistemlər şəbəkə trafikində anomaliyaları müəyyən edərək potensial hücumları erkən mərhələdə aşkar edə bilir.

Texniki vasitələrlə yanaşı, insan faktoru da mühüm rol oynayır. Hərbi personalın kibertəhlükəsizlik sahəsində təlimi, simulyasiya edilmiş hücum ssenariləri və müntəzəm təhlükəsizlik auditləri müdafiə qabiliyyətini gücləndirir.

Gələcək perspektivlər

Texnologiyaların inkişafı ilə kibertəhlükələr daha mürəkkəb xarakter alır. Kvant hesablama texnologiyalarının inkişafı mövcud kriptoqrafik sistemlər üçün yeni çağırışlar yarada bilər. Eyni zamanda süni intellekt əsaslı hücum alətləri və avtomatlaşdırılmış kiber əməliyyatlar gələcəkdə daha geniş istifadə oluna bilər.

Bu səbəbdən kiber-müdafiə yalnız mövcud təhlükələrə reaksiya verməklə məhdudlaşmamalı, proaktiv risk analizi və strateji planlaşdırma ilə müşayiət olunmalıdır. Müasir hərbi doktrinalarda kiber-müdafiə artıq ayrıca texniki sahə deyil, kompleks əməliyyat mühitinin ayrılmaz tərkib hissəsidir.

Nəticə

Müasir dövr hərbi sistemlərində kiber-müdafiə milli təhlükəsizliyin əsas sütunlarından birinə çevrilmişdir. Rəqəmsallaşma hərbi imkanları genişləndirsə də, eyni zamanda yeni risklər formalaşdırır.

Kiber-müdafiə strateji planlaşdırma, texnoloji innovasiya və kadr hazırlığını özündə birləşdirən kompleks yanaşma tələb edir. Gələcək münaqişələrin nəticəsi böyük ölçüdə kiberməkanda üstünlüyün təmin olunmasından asılı olacaqdır.

Ədəbiyyat

1. Adamy, D. L. *EW 101: A First Course in Electronic Warfare*. Artech House, 2015.
2. Alberts, D. S. *Information Age Warfare: Evolution of C4ISR*. DoD CCRP, 2002.
3. Joint Publication 3-12. *Cyberspace Operations*. U.S. Department of Defense.
4. Joint Publication 3-85. *Joint Electromagnetic Spectrum Operations*. U.S. Department of Defense, 2020.
5. Singer, P. W., Friedman, A. *Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know*. Oxford University Press, 2014.
6. Krelina, M. "Quantum technology for military applications." Military and Aerospace Science Studies.

MOBİL OYUNLARIN HAZIRLANMASI VƏ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİNDƏ DEVOPS YANAŞMASININ TƏTBİQİ

Azad Məmmədov
Bakı Mühəndislik universitetit
amemmedov36@std.beu.edu.az

Xülasə: Mobil oyun sənayesi son illərdə sürətlə inkişaf edərək proqram mühəndisliyinin ən dinamik istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir. Mobil oyunlar artıq yalnız ilkin hazırlanma mərhələsində yaradılan məhsullar deyil, uzun müddət dəstəklənən, təkrar yenilənən, monitorinq olunan və istifadəçi davranışına uyğun davamlı təkmilləşdirilən rəqəmsal sistemlərdir. Bu baxımdan mobil oyunların hazırlanmasında klassik inkişaf modelləri hər zaman yetərli olmur. İnkişaf və istismar proseslərini vahid mühitdə birləşdirən DevOps yanaşması mobil oyun layihələrinin daha çevik, daha keyfiyyətli və daha dayanıqlı idarə olunmasına imkan yaradır. Yüklənmiş mənbədə də göstərildiyi kimi, DevOps mobil oyun inkişafında continuous integration, continuous delivery, continuous monitoring və avtomatlaşdırma vasitəsilə həm texniki nəticələr verir, həm də komanda daxilində keyfiyyət yönümlü və açıq kommunikasiya mühiti formalaşdırır.

Açar sözlər: DevOps, mobil oyun inkişafı, CI/CD, avtomatlaşdırma, monitorinq, Live Ops, mobil tətbiq paylanması

GİRİŞ

Mobil oyun bazarı müasir rəqəmsal iqtisadiyyatda həm iqtisadi göstəricilər, həm də istifadəçi əhatəsi baxımından aparıcı sahələrdən birinə çevrilmişdir. Mobil cihazların geniş yayılması və oyunların sərbəst yüklənə bilməsi nəticəsində bu məhsullar qlobal bazarda böyük rəqabət mühiti formalaşdırmışdır. Mobil oyunların bazarda davamlı mövqeyini qoruması üçün onların yalnız ilkin hazırlanması kifayət etmir;

məhsul mütəmadi yenilənməli, texniki nasazlıqlar operativ aradan qaldırılmalı, istifadəçi təcrübəsi təhlil olunmalı və canlı əməliyyatlar vasitəsilə oyunun parametrləri optimallaşdırılmalıdır [7],[10]. Bu xüsusiyyət mobil oyunları klassik proqram məhsullarından fərqləndirir və onları uzunömürlü rəqəmsal xidmət modelinə yaxınlaşdırır.

DevOps yanaşması belə mühitdə xüsusi aktuallıq qazanır. DevOps inkişaf və istismar qrupları arasında əməkdaşlığı gücləndirən, keyfiyyət yönümlü iş prinsiplərini təşviq edən və avtomatlaşdırma vasitəsilə proqram həyat dövrünü sürətləndirən yanaşma kimi izah olunur [2]. Bu model yalnız texniki vasitələrdən ibarət deyil; o, həm də açıq kommunikasiya, birgə məsuliyyət, davamlı təkmilləşdirmə və dəyişikliklərə adaptasiya mədəniyyətini formalaşdırır. Bu səbəbdən DevOps mobil oyun inkişafında yalnız build və release proseslərini yaxşılaşdıran yanaşma deyil, bütövlükdə layihə idarəçiliyini və komanda işini dəyişən çərçivədir.

Mobil oyun layihələrində DevOps-un əhəmiyyəti platforma-spesifik məhdudiyyətlərlə daha da artır. Android və iOS üçün build, imzalama, çatdırılma və mağaza siyasətləri fərqlidir. Xüsusilə iOS üçün build və paylama prosesinin daha mürəkkəb olması, TestFlight kimi vasitələrin istifadəsi və App Store review mərhələlərinin vaxt aparması mobil oyunlarda release prosesini həssas edir [5]. Digər tərəfdən, soft launch, Live Ops və remote configuration kimi mexanizmlər oyunun bazar göstəricilərinə əsasən sürətli düzəlişlər etməyi tələb edir [3], [7]. Buna görə də mobil oyunların inkişafında DevOps yanaşması texnoloji zərurət kimi qiymətləndirilə bilər.

TƏDQIQATIN MƏQSƏDI VƏ METODOLOJI YANAŞMA

Əsas məqsəd DevOps yanaşmasının mobil oyunların hazırlanması və təkmilləşdirilməsi prosesində tətbiq imkanlarını, üstünlüklərini və məhdudiyyətlərini araşdırmaqdır. Tədqiqatın əsas diqqəti üç istiqamətə yönəldilir: mobil oyun layihələrində ən faydalı DevOps praktikalarının müəyyənləşdirilməsi, həmin praktikaları dəstəkləyən alət və pipeline-ların təhlili, həmçinin DevOps-un komanda mədəniyyətinə təsirinin qiymətləndirilməsi. Bu məqsədlər DevOps-un yalnız texniki deyil, təşkilati baxımdan da dəyərləndirilməsini tələb edir.

Metodoloji baxımdan fəaliyyət-tədqiqat yanaşması uyğun görünür. Bu modeldə tədqiqatçı prosesə kənardan baxan müşahidəçi deyil, transformasiyanın aktiv iştirakçısı olur. Belə yanaşma DevOps kimi dəyişiklikyönümlü bir modelin real layihə mühitində necə işlədiyini, hansı alətlərin daha uyğun olduğunu və komanda davranışında hansı dəyişikliklər yaratdığını daha dərindən anlamağa imkan verir. Fəaliyyət-tədqiqatın dövri xarakteri planlama, tətbiq, müşahidə və refleksiya mərhələləri əsasında praktik nəticələr çıxarmağa şərait yaradır [6]. Mobil oyun inkişafı kimi çevik və sürətli dəyişən sahədə bu metodun seçilməsi məntiqlidir.

Mobil oyun inkişafında ən vacib DevOps praktikaları continuous integration, continuous delivery, continuous deployment, automatic versioning, continuous monitoring və continuous improvement kimi müəyyən edilir [4]. Continuous integration proqramçıların yazdığı dəyişikliklərin əsas branch-ə problemsiz inteqrasiyasını təmin edir və səhvlərin daha erkən mərhələdə aşkarlanmasına kömək edir. Bu, xüsusilə Unity kimi mühərriklə hazırlanmış oyunlarda vacibdir, çünki kodun kompilyasiya olunması, build yaradılması və real cihazda yoxlanması birgə aparılmadıqda xətalar gec görünür. Davamlı inteqrasiya gecə build-ləri və pull request əsaslı yoxlama ilə birləşdirildikdə keyfiyyətə nəzarət daha sistemli olur [4].

Continuous delivery mobil oyunların mağaza mühitinə yaxın test mərhələsinə çıxarılmasını asanlaşdırır. Android üçün internal testing, iOS üçün isə TestFlight vasitəsilə build-lərin komandaya və testçilərə operativ çatdırılması release dövrünü qısaldır. Xüsusilə iOS paylanmasının texniki baxımdan daha məhdud olması DevOps alətlərinin seçimini və pipeline arxitekturasını birbaşa müəyyənləşdirir [8]. Continuous deployment isə oyun klienti üçün hər zaman tam tətbiq olunmasa da, remote settings və konfiqurasiya faylları üçün daha real və səmərəli həll hesab edilə bilər. Çünki bu tip dəyişikliklər daha sadə struktur daşıyır, versiyalanması və avtomatik yoxlanması mümkündür.

Avtomatik versiyalama və monitorinq də mobil oyun DevOps modelində mühüm yer tutur. Google Play və App Store sistemlərində build nömrələrinin artan ardıcıllıqla təqdim olunması məcburidir. Bu prosesin əl ilə aparılması səhv riskini artırdığı üçün avtomatik versiyalama release idarəçiliyinin ayrılmaz hissəsinə çevrilir. Monitorinq isə oyunun yayımlandıqdan sonrakı performansını nəzarətdə saxlamağa imkan verir. Backend anomaliyalarının, klient səhvlərinin və performans problemlərinin vaxtında aşkarlanması istifadəçi itkisini və texniki riskləri azaldır.

DevOps-un effektiv tətbiqi düzgün alət zəncirinin qurulmasını tələb edir. DevOps toolchain layihənin texniki ehtiyaclarına uyğun seçilən, bir-biri ilə inteqrasiya olunan və proqram həyat dövrünün müxtəlif mərhələlərini dəstəkləyən alətlər sistemidir. Mobil oyun layihələrində bu zəncirə versiya nəzarəti, build

avtomatlaşdırılması, test, release, deploy və monitorinq alətləri daxildir. Bitbucket, Unity Cloud Build, Bitbucket Pipelines, Fastlane, Azure Monitor, Firebase Remote Config və Unity Cloud Diagnostics kimi alətlər mobil oyun mühitində praktik baxımdan bir-birini tamamlayan struktur yaradır.

Bitbucket Pipelines continuous integration və continuous deployment üçün uyğun həll kimi çıxış edir. Unity Cloud Build isə xüsusilə Unity əsaslı mobil oyunlarda build prosesinin bulud üzərindən idarə olunmasını sadələşdirir. Fastlane iOS build-lərinin TestFlight-a və daha sonra App Store-a ötürülməsində mühüm rol oynayır. Android tərəfdə isə build-lərin daxili test mühitinə verilməsi nisbətən daha sadə həyata keçirilir. Bu fərq göstərir ki, mobil oyun DevOps mühitində alət seçimi yalnız ümumi DevOps prinsiplərinə görə deyil, platforma tələblərinə uyğun da aparılmalıdır.

Remote configuration və Live Ops mexanizmləri də bu zəncirin vacib hissəsidir. Firebase Remote Config və oxşar alətlər oyunçuya yeni versiya yüklətmədən müəyyən parametrlərin dəyişdirilməsinə imkan verir. Bu, balans düzəlişləri, tədbir parametrləri, mükafat sistemləri və oyun iqtisadiyyatı üzərində çevik nəzarət yaradır. Beləliklə, DevOps təkcə kodun çatdırılması ilə məhdudlaşmır, həm də oyunun bazarda davranışının real vaxtda təkmilləşdirilməsini dəstəkləyir.

Mobil oyunlar yayımlandıqdan sonra da inkişaf etməyə davam edən məhsullardır. Bu səbəbdən continuous monitoring DevOps modelində xüsusi yer tutur. Backend xidmətlərinin, server sabitliyinin, tətbiq səhvlərinin və oyunçu davranışının daimi izlənməsi komandanın problemlərə sürətli reaksiya verməsinə imkan yaradır. Azure Monitor və Unity Cloud Diagnostics kimi vasitələr texniki anomaliyaların aşkarlanmasında, Slack tipli kommunikasiya vasitələri isə bu siqnalların dərhal müvafiq komanda üzvlərinə çatdırılmasında səmərəli rol oynayır (Jussila, 2021). Belə monitorinq mühiti xüsusilə onlayn və multiplayer mobil oyunlar üçün vacibdir.

DevOps-un təsiri yalnız texniki proseslərlə məhdudlaşmır. O, komanda mədəniyyətində də ciddi dəyişikliklər yaradır. Keyfiyyət yönümlü düşüncə, açıq kommunikasiya, yeni alətlərə uyğunlaşma, birgə məsuliyyət və davamlı təkmilləşdirməyə meyl DevOps-un əsas mədəni nəticələri hesab olunur [1], [2]. Pull request-lərin daha ciddi keyfiyyət qapısı kimi qəbul olunması, avtomatlaşdırılmış build-lərin review prosesinə əlavə nəzarət qatması və monitorinq nəticələrinin kollektiv müzakirə olunması komanda daxilində daha yüksək peşəkar intizam formalaşdırır. Bu isə öz növbəsində məhsulun keyfiyyətinə də müsbət təsir göstərir.

NƏTİCƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, DevOps yanaşması mobil oyunların hazırlanması və təkmilləşdirilməsi üçün səmərəli və praktik modeldir. O, build və release proseslərini sürətləndirir, versiyalama və çatdırılmanı daha etibarlı edir, monitorinq və operativ müdaxilə imkanlarını genişləndirir, Live Ops mexanizmlərini gücləndirir və komanda daxilində açıq, keyfiyyət yönümlü əməkdaşlıq mühiti yaradır [1]. Bununla belə, avtomatik testləşdirmənin oyunlarda daha çətin olması, platforma məhdudiyyətləri və xüsusilə iOS paylanmasının mürəkkəbliyi nəzərə alınmalı əsas çağırışlardır [5],[9]. Ümumilikdə, DevOps mobil oyun inkişafında yalnız texniki alətlər toplusu deyil, çeviklik, sabitlik və davamlı təkmilləşdirmə yaradan strateji yanaşmadır.

İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT

1. Ebert, C., Gallardo, G., Hernantes, J., & Serrano, N. (2016). DevOps. IEEE Software, 33(3), 94–100.
2. Forsgren, N., Humble, J., & Kim, G. (2018). Accelerate: The Science of Lean Software and DevOps: Building and Scaling High Performing Technology Organizations. IT Revolution Press.
3. Hargreaves, T. (2016). DevOps for Mobile: It's Not Just for Enterprise Anymore. GDC Vault.
4. Jussila, T. (2021). DevOps in mobile game development: An action research on applying DevOps practices in a mobile game development project. JAMK University of Applied Sciences.
5. Katz, D. (2018). Continuous delivery for mobile with fastlane: Automating mobile application development and deployment for iOS and Android. Packt.
6. Kananen, J. (2014). Toimintatutkimus kehittämistutkimuksen muotona. JAMK University of Applied Sciences.
7. Leung, T. (2017). Quick Guide to Live-Ops in Free-to-Play Games.
8. Pittet, S. (n.d.). Continuous integration vs. continuous delivery vs. continuous deployment. Atlassian.
9. Schultz, C. P., & Bryant, R. D. (2017). Game Testing: All in One (3rd ed.). Mercury Learning.
10. Wijman, T. (2021). Global Games Market to Generate $175.8 Billion in 2021. Newzoo.

PROQRAM MÜHƏNDİSLİYİ TƏCRÜBƏLƏRİNİN DƏRİN ÖYRƏNMƏ VASİTƏSİLƏ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ

Babək Bahadurlu
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
bbahadurlu@std.beu.edu.az

Xülasə: Müasir proqram mühəndisliyi mürəkkəb kod bazalarının idarə olunması, test proseslərinin genişlənməsi, təkrarlanan proqram hissələrinin aşkarlanması və proqram artefaktlarının səmərəli emalı kimi bir sıra problemlərlə xarakterizə olunur. Ənənəvi maşın öyrənməsi yanaşmaları bu problemlərin həllində müəyyən nəticələr versə də, onların əsas məhdudiyyəti əl ilə xüsusiyyətlərin seçilməsi və hazırlanmasına yüksək dərəcədə bağlı olmasıdır. Dərin öyrənmə yanaşmaları isə proqram kodu, abstrakt sintaksis ağacları, idarəetmə axını strukturları, test metodları və digər proqram artefaktları əsasında əlamətləri avtomatik öyrənmək imkanı verir. Bu məqalədə dərin öyrənmənin proqram mühəndisliyində tətbiq imkanları təhlil olunur, xüsusən kod oxşarlığının aşkarlanması və test proseslərinin avtomatlaşdırılması istiqamətində onun üstünlükləri nəzərdən keçirilir. Araşdırma göstərir ki, dərin öyrənmə proqram mühəndisliyi təcrübələrinin səmərəliliyini artırmaq, proqram baxımını asanlaşdırmaq və test prosesində insan əməyini azaltmaq baxımından mühüm potensiala malikdir.
Açar sözlər: proqram mühəndisliyi, dərin öyrənmə, kod oxşarlığı, test avtomatlaşdırılması, assert generasiyası, proqram baxımı

GİRİŞ

Rəqəmsal transformasiyanın dərinləşməsi proqram təminatının bütün sahələrdə tətbiqini genişləndirmiş, bunun nəticəsində proqram sistemlərinin həcmi, mürəkkəbliyi və inkişaf tempi əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır [2]. Bu artım proqram mühəndisləri qarşısında yeni çağırışlar yaratmışdır. Böyük həcmli kod bazalarında proqram hissələrinin təkrarını aşkar etmək, proqramın davranışını anlamaq, test ssenarilərini genişləndirmək və proqramın keyfiyyətini qorumaq artıq daha çox vaxt və resurs tələb edir [1], [2].

Ənənəvi proqram analiz üsulları və klassik maşın öyrənməsi metodları adətən əvvəlcədən müəyyənləşdirilmiş xüsusiyyətlərə əsaslanır. Başqa sözlə, modelin uğuru çox vaxt tədqiqatçının və ya proqram mühəndisinin hansı xüsusiyyətləri seçməsindən asılı olur [1]. Bu isə həm prosesin mürəkkəbləşməsinə, həm də müxtəlif proqram kontekstlərində modelin çevikliyinin azalmasına səbəb olur. Dərin öyrənmə bu məhdudiyyəti aradan qaldıraraq, verilənlərdən əlamətləri çoxsəviyyəli şəkildə avtomatik çıxarmaq qabiliyyəti ilə fərqlənir [1], [2].

Son illərdə dərin öyrənmənin proqram mühəndisliyində tətbiqi daha sistemli xarakter almağa başlamışdır. Müxtəlif tədqiqatlar göstərir ki, bu yanaşma kod təsnifatı, səhv lokalizasiyası, clone detection, kod xülasələndirilməsi, test generasiyası və digər bir çox tapşırıqda əhəmiyyətli nəticələr verir [1], [2], [3]. Xüsusilə proqram kodunun yalnız mətn kimi deyil, struktur və semantik xüsusiyyətləri ilə birlikdə öyrənilməsi daha yüksək dəqiqlik yaratmağa imkan verir [3].

Bu baxımdan, proqram mühəndisliyi təcrübələrinin dərin öyrənmə vasitəsilə təkmilləşdirilməsi həm nəzəri, həm də praktik baxımdan aktıyal elmi istiqamət kimi çıxış edir.

DƏRİN ÖYRƏNMƏNİN PROQRAM MÜHİNDİSLİYİNDƏ ROLU

Dərin öyrənmənin proqram mühəndisliyində əsas üstünlüyü proqram artefaktlarını əl ilə hazırlanmış təsvirlərdən deyil, birbaşa verilənlərdən öyrənə bilməsidir [1]. Proqram kodu təbii dilə müəyyən mənada bənzəsə də, onun özünəməxsus sintaktik və semantik strukturu mövcuddur. Buna görə yalnız token səviyyəsində deyil, eyni zamanda sintaktik ağaclar, idarəetmə axını və digər struktur komponentlər əsasında təhlil aparılması vacibdir [1], [3]. Müasir araşdırmalar göstərir ki, proqram mühəndisliyində istifadə olunan dərin öyrənmə modelləri müxtəlif arxitekturaları əhatə edir. Bunlara rekurrent neyron şəbəkələri, seq2seq modelləri, transformerlər, qraf neyron şəbəkələri və kod yönümlü təmsil modelləri daxildir [2], [3]. Bu modellər proqram artefaktlarının çoxölçülü təbiətini əks etdirmək və mürəkkəb asılılıqları öyrənmək baxımından əlverişlidir [2].

Dərin öyrənmənin tətbiqi proqram mühəndisliyində yalnız nəticələrin dəqiqliyini artırmır, eyni zamanda bir sıra proseslərin avtomatlaşdırılmasına şərait yaradır. Bu isə proqramçıların rutin və təkrarlanan tapşırıqlara sərf etdiyi vaxtı azaldaraq onların daha yaradıcı və analitik fəaliyyətə yönəlməsinə imkan yaradır [1], [4]. Proqram mühəndisliyində kod oxşarlığının aşkarlanması mühüm məsələlərdən biridir. Təkrarlanan və ya

bir-birinə çox yaxın olan kod hissələri proqramın saxlanılmasını çətinləşdirir, səhvlərin eyni anda bir neçə yerdə təkrarlanmasına səbəb olur və refaktorinq prosesini mürəkkəbləşdirir [2], [5]. Bu baxımdan clone detection proqram baxımının səmərəliliyində əsas komponentlərdən biri hesab olunur. Ənənəvi clone detection yanaşmaları əsasən mətn oxşarlığına, token əsaslı müqayisəyə və ya sintaktik uyğunluğa söykənirdi. Lakin bu yanaşmalar semantik cəhətdən oxşar, lakin sintaktik cəhətdən fərqli kod hissələrini aşkar etməkdə həmişə uğurlu olmurdu [5]. Dərin öyrənmə isə kodun müxtəlif təmsillərini birlikdə öyrənərək daha dərin oxşarlıq münasibətlərini müəyyənləşdirə bilir [1], [5]. Bu istiqamətdə aparılan işlər göstərir ki, identifier-lər, AST-lər, CFG-lər və bytecode kimi fərqli təmsillərin birgə istifadəsi kod fraqmentlərinin oxşarlığını daha dolğun müəyyən etməyə imkan verir [1], [5]. Bu yanaşma proqram baxımı baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Çünki yalnız eyni görünən kod hissələri deyil, eyni məntiqə xidmət edən, lakin fərqli yazılmış parçalar da aşkar oluna bilir. Nəticədə proqram sistemində təkrarın idarə olunması, refaktorinq üçün prioritet sahələrin seçilməsi və kod keyfiyyətinin yüksəldilməsi asanlaşır.

Proqram təminatının keyfiyyətinin qorunmasında test prosesi əsas mərhələlərdən biridir. Lakin testlərin hazırlanması, xüsusilə də test oracle-larının, yəni assert ifadələrinin yazılması həm vaxt aparan, həm də yüksək diqqət tələb edən prosesdir [4], [6]. Bu sahədə dərin öyrənmənin tətbiqi proqram mühəndisliyində əhəmiyyətli yeniliklərdən biri kimi qiymətləndirilir. Assert generasiyası üzrə yanaşmalar göstərir ki, test metodu və onun fokuslandığı əsas metod birlikdə öyrənildikdə model semantik və sintaktik baxımdan uyğun assert ifadələri yarada bilir [4], [6]. Seq2seq və attention əsaslı modellər burada xüsusilə təsirlidir. Bu modellər giriş kimi verilmiş test kontekstini emal edir və həmin kontekstə uyğun doğrulama ifadəsi yaradır [4]. Belə yanaşmanın üstünlüyü ondadır ki, proqramçı tamamilə sıfırdan test oracle yazmaq əvəzinə model tərəfindən təklif olunan assert-lərdən istifadə edə bilir. Bu isə test yazma prosesini sürətləndirir, rutin əməliyyatları azaldır və test əhatəsini artırmağa kömək edir [4], [6]. Sonrakı tədqiqatlar da göstərmişdir ki, dərin öyrənmə əsaslı assert generasiyası yanaşmaları informasiya axtarışı əsaslı metodlarla birlikdə istifadə olunduqda daha səmərəli nəticələr verə bilər [6].

PROBLEMLƏR VƏ MƏHDUDİYYƏTLƏR

Dərin öyrənmənin proqram mühəndisliyində geniş imkanlarına baxmayaraq, bu sahədə bir sıra məhdudiyyətlər də mövcuddur. İlk növbədə, modelin uğuru böyük həcmdə və keyfiyyətli verilənlərdən asılıdır [1], [2]. Proqram repozitoriyalarında çoxlu məlumat olsa da, bu məlumatın təmizlənməsi, uyğun formatda hazırlanması və etiketlənməsi ciddi əmək tələb edir [1]. İkinci mühüm problem modellərin izah oluna bilməməsidir. Dərin öyrənmə modelləri bir çox hallarda "qara qutu" kimi çıxış edir və konkret qərarın hansı daxili səbəbdən verildiyini izah etmək çətin olur [1], [2]. Proqram mühəndisliyində isə etibarlılıq və izah oluna bilmə xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bundan əlavə, təkrar istehsal oluna bilmə, benchmark seçimi, overfitting və real sənaye mühitində tətbiq imkanları da açıq problemlər sırasındadır [1], [2]. Buna görə dərin öyrənmənin proqram mühəndisliyində uğurlu tətbiqi yalnız model qurmaqla məhdudlaşmamalı, həm də verilənlərin idarə olunması, qiymətləndirmə metodologiyası və praktik inteqrasiya məsələlərini əhatə etməlidir.

NƏTİCƏ

Aparılmış təhlil göstərir ki, dərin öyrənmə proqram mühəndisliyi təcrübələrinin təkmilləşdirilməsi üçün güclü alət kimi çıxış edir. Onun əsas üstünlüyü proqram artefaktlarından əlamətləri avtomatik öyrənməsi, mürəkkəb struktur və semantik əlaqələri aşkar etməsi və bir sıra mühəndislik tapşırıqlarını avtomatlaşdırmasıdır [1], [2]. Kod oxşarlığının aşkarlanması və assert generasiyası kimi istiqamətlər bu potensialın praktik ifadəsi kimi qiymətləndirilə bilər [4], [5]. Bununla yanaşı, dərin öyrənmənin proqram mühəndisliyində tam səmərə ilə tətbiqi üçün verilənlərin keyfiyyəti, modellərin izah oluna bilməsi, nəticələrin etibarlılığı və sənaye uyğunluğu kimi məsələlərə xüsusi diqqət yetirilməlidir [1], [2]. Gələcək tədqiqatlarda strukturlaşdırılmış kod təmsillərinin, kontekst məlumatlarının və böyük dil modellərinin proqram mühəndisliyi tapşırıqlarında birgə istifadəsi daha güclü nəticələr verə bilər [2], [3]. Beləliklə, dərin öyrənmə proqram mühəndisliyində yalnız texnoloji yenilik deyil, həm də keyfiyyət, məhsuldarlıq və avtomatlaşdırma baxımından strateji inkişaf istiqaməti kimi dəyərləndirilə bilər.

İSTIFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBIYYAT

1. Watson C., Cooper N., Palacio D.N., Moran K., Poshyvanyk D., A Systematic Literature Review on the Use of Deep Learning in Software Engineering Research. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology.

2. Yang Y., Zhou X., Liu T., et al. A Survey on Deep Learning for Software Engineering. ACM Computing Surveys, 2022.

3. Guan X., & Treude C. Enhancing Source Code Representations for Deep Learning with Static Analysis. 2024.
4. White M., Tufano M., Vendome C., & Poshyvanyk D. ReAssert: Deep Learning for Assert Generation. 2020.
5. Lei Y., Wang S., Liu T., et al. Deep Learning Similarities from Different Representations of Source Code. ICPC, 2018.
6. Yu H., Zhang C., Wang S., et al. Automated Assertion Generation via Information Retrieval and Its Integration with Deep Learning. ICSE, 2022.

MAŞIN ÖYRƏNMƏSİ VASİTƏSİLƏ TƏLƏBƏLƏRİN AKADEMİK MÜVƏFFƏQİYYƏTİNİN TƏHLİLİ VƏ PROQNOZLAŞDIRILMASI: KLASTERLƏŞDİRMƏ VƏ KLASSİFİKASİYA YANAŞMASI

Esmira Məmmədova
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı , Azərbaycan
esmammadova@beu.edu.az

Dilarə Quluzadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı , Azərbaycan
dquluzade@beu.edu.az

Xülasə
Məqalə ali təhsil müəssisələrində tələbələrin akademik müvəffəqiyyətinin proqnozlaşdırılması məsələsinin maşın öyrənməsi metodları vasitəsilə tədqiqinə həsr olunmuşdur. Tədqiqatda 76.518 tələbənin demoqrafik, sosial-iqtisadi və akademik göstəricilərini əhatə edən verilənlər bazasından istifadə edilmişdir. K-Means klasterləşdirmə alqoritmi tətbiq edilərək tələbələrin 4 fərqli arketipə ayrılması həyata keçirilmiş, ardından XGBoost, Random Forest, Gradient Boosting və digər klassifikasiya modelləri müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmişdir. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, XGBoost modeli 82,89% ümumi dəqiqlik (accuracy) və 0,79 Makro F1-xal göstəricisi ilə optimal model kimi seçilmişdir. Tədqiqat həmçinin təhsil sahəsindəki proqnozlaşdırma üçün sosial-iqtisadi amillərin, xüsusən təqaüd statusu, borc yükü və cins kimi dəyişənlərin akademik qiymətlər qədər əhəmiyyətli olduğunu sübut etmişdir. Bu nəticələr ali məktəblərə "riskli" tələbələri erkən mərhələdə aşkar etmək üçün effektiv bir qərar dəstəyi sistemi qurmaq imkanı verir.
Açar sözlər: *maşın öyrənməsi, akademik proqnozlaşdırma, klasterləşdirmə, XGBoost, tələbə uğuru, ali təhsil analitikası*

GİRİŞ

Dünya üzrə ali təhsil sistemlərində tələbə kəsilməsi faizi ciddi narahatlıq mənbəyi olmaqda davam edir. UNESCO-nun məlumatlarına görə, inkişaf etməkdə olan ölkələrdə universitetə qəbul olunan hər üç tələbədən biri müxtəlif səbəblərlə təhsilini yarımçıq qoyur. Bu problem həm tələbənin fərdi inkişafına, həm də cəmiyyətin insan kapitalına ciddi zərər vurur. Buna görə də tələbənin akademik kəsilmə riskini semestr ərzində proqnozlaşdırmaq son dərəcə əhəmiyyətli bir vəzifəyə çevrilmişdir [1].

"Tədris Analitikası" (Learning Analytics) və "Təhsil Verilənlərinin Çıxarılması " (EDM-Educational Data Mining) sahələrinin sürətlə inkişafı bu problemi həll etmək üçün yeni üfüqlər açmışdır. Müasir maşın öyrənməsi alqoritmləri Decision Tree modelindən dərin neyron şəbəkələrinə qədər tələbə davranışını, akademik tarixçəni və sosial-iqtisadi göstəriciləri birləşdirərək erkən xəbərdarlıq sistemləri (Early Warning Systems) qura bilir [2].

Tədqiqatın əsas hədəfi həmin sahəyə öz töhfəsini vermək məqsədi ilə 76.518 tələbənin demoqrafik, akademik və sosial-iqtisadi məlumatlarını özündə birləşdirən açıq verilənlər bazasından istifadə etməklə tələbələri üç kateqoriyaya -"Məzun", "Qeydiyyatda" və "Kəsilmiş" ayıran çoxsiniflı klassifikasiya modeli qurmaq, eləcə də klasterləşdirmə vasitəsilə gizli tələbə arketiplərini aşkar etməkdir.

ƏDƏBİYYAT İCMALI

Tələbə müvəffəqiyyətinin proqnozlaşdırılması sahəsindəki ilk araşdırmalar daha çox keçmiş akademik göstəricilərə, orta bal (GPA) və qəbul imtahanı nəticələrinə əsaslanırdı.Lau (2003) apardığı tədqiqatda GPA-nın tələbə kəsilməsini proqnozlaşdırmaqda zəif, lakin əhəmiyyətli bir prediktor olduğunu müəyyən etmişdir [3].Lakin bu yanaşma "post-faktum" xarakter daşıdığından, praktiki müdaxilə üçün kifayət qədər vaxt saxlamırdı.

Sonrakı dövrdə Öyrənmə İdarəetmə Sistemlərinin (LMS - Learning Management Systems) geniş yayılması yeni tədqiqat imkanları yaratdı. Romero və Ventura (2010) sistematik ədəbiyyat icmalında LMS-dən alınan rəqəmsal izlərin - giriş tezliyi, resurslarla qarşılıqlı əlaqə, forum aktivliyi - akademik nəticənin mühüm proqnozlaşdırıcıları olduğunu ortaya qoymuşdur [4]. Bu tapıntılar sonrakı on ildə aparılan onlarla tədqiqata metodoloji zəmin hazırladı.

Ansambl öyrənmə metodlarının meydana gəlməsi sahədə inqilabi dəyişikliyə yol açdı. Hussain (2018) Random Forest alqoritmini tələbə performansı proqnozlaşdırılmasında tətbiq edərək 85%-dən yuxarı dəqiqlik əldə etmişdir [5]. Paralel olaraq, XGBoost-un Kaggle müsabiqələrindəki uğuru bu alqoritmi strukturlaşdırılmış (tabular) verilənlər üzərindəki standart Benchmark-a çevirdi.

Son illərin tədqiqatları sosial-iqtisadi amillərin rolunu da ön plana çəkmişdir. Berens (2019) Almaniya universitetlərindəki 4000-dən çox tələbəni araşdıraraq maliyyə çətinliyinin -xüsusən borcluluğun - akademik kəsilmənin ən güclü prediktoru olduğunu sübut etmişdir [6]. Bu tapıntı sosial fərqliliyin proqnozlaşdırma modelinə inteqrasiyasının vacibliyini bir daha vurğulamışdır. Cinsiyyət amili üzrə aparılan araşdırmalar da maraqlı nəticələr vermişdir.Belə ki, qadın tələbələrin ümumiyyətlə daha yüksək uğur nisbəti göstərdiyi müxtəlif ölkələrdə qeydə alınmışdır [7].

VERİLƏNLƏR VƏ METODOLOGİYA

D. Verilənlər Bazası

Tədqiqatda Portuqaliyada aparılan SATDAP layihəsi çərçivəsində POCI-05-5762-FSE-000191 qrant dəstəyi ilə toplanan akademik verilənlər bazasından istifadə edilmişdir. Verilənlər bazası 76.518 tələbəni əhatə edir və üç əsas məlumat kateqoriyasından ibarətdir:

- Demoqrafik məlumatlar: yaş, cins, ailə vəziyyəti, milliyyət;
- Sosial-iqtisadi göstəricilər: valideynlərin təhsil səviyyəsi, təqaüd statusu, borc yükü, haqların ödənilməsi;
- Akademik göstəricilər: qəbul balı, birinci və ikinci semestr kredit vahidləri, müvəffəqiyyət nisbəti.

Hədəf dəyişən (target) üç sinifdir: "Dropout" (kəsilmiş) - 33,2%, "Graduate" (məzun) - 49,8%, "Enrolled" (hələ qeydiyyatda olan) - 17,0%.

E. Məlumatların Ön Emalı

Ön emal mərhələsində ilk olaraq ümumi verilənlər bazası tədqiq edilmişdir. Boş dəyər (missing value) müşahidə edilməmişdir. Korrelyasiya matrisinə əsasən yüksək çoxkollinearlik göstərən dəyişənlər : milliyyət, xarici tələbə statusu, işsizlik dərəcəsi, inflyasiya dərəcəsi və ÜDM modeldən xaric edilmişdir. Birinci və ikinci semestr göstəriciləri birləşdirilərək aşağıdakı əlavə xüsusiyyətlər (engineered features) yaradılmışdır:

- Total_Approved - iki semestr üzrə cəmi qəbul edilmiş kredit vahidləri;
- Total_Enrolled - iki semestr üzrə cəmi qeydiyyata alınan kredit vahidləri;
- Average_Grade - iki semestrin orta qiymət göstəricisi;
- Success_Rate - qəbul edilmiş kreditin qeydiyyata alınan kreditə nisbəti (uğur nisbəti).

F. Klasterləşdirmə: K-Means

Tələbə arketiplərini aşkar etmək üçün K-Means klasterləşdirmə alqoritmi tətbiq edilmişdir. Giriş xüsusiyyətləri kimi "Qeydiyyat yaşı", "Success_Rate", "Qəbul balı" və "Təqaüd statusu" seçilmiş, StandardScaler ilə normallaşdırılmışdır. Optimal klaster sayını müəyyən etmək üçün Elbow metodu istifadə edilmiş və k=4 optimal həll kimi təsdiqlənmişdir. Nəticədə aşağıdakı 4 tələbə seqmenti müəyyən edilmişdir:

Cədvəl 1. Tələbə seqmentinin təsviri

Klaster	Xüsusiyyəti	Təsviri	Dominant nəticə
0	Sosial-iqtisadi zəiflər	Təqaüdsüz, borclu tələbələr; aşağı uğur nisbəti	Dropout (kəsilmiş)
1	Dəstəklənən qrup	Təqaüdlü, aktiv tələbələr; yüksək uğur nisbəti	Graduate (məzun)
2	Orta qrup	Orta yaş, orta akademik sabitlik	Enrolled/Graduate
3	Qeyri-ənənəvi tələbələr	Yüksək yaş, geniş dağılım, yüksək risk	Dropout (kəsilmiş)

G. Klassifikasiya Modelləri

Klaster etiketləri sintetik xüsusiyyət kimi modelə əlavə edildikdən sonra verilənlər 80% təlim və 20% test hissəsinə bölünmüşdür. Aşağıdakı klassifikasiya alqoritmləri müqayisəli qiymətləndirilmişdir:

- Bernoulli Naive Bayes - sürətli, lakin xətti əsaslı model;
- Logistic Regression - çoxsiniflı xətti klassifikasiya (max_iter=1000);
- Decision Tree - ağac əsaslı, izah oluna bilən model;
- Random Forest - çoxlu ağacdan ibarət ansambl model;
- Gradient Boosting - ardıcıl gücləndirilmiş ansambl;
- K-Nearest Neighbors - məsafəyə əsaslanan klassifikasiya;
- XGBoostoptimizasiya-edilmiş gradient gücləndirilməsi (n_estimators=500, learning_rate=0.05, max_depth=6).

Bütün modellər üçün StandardScaler ilə xüsusiyyətlər normallaşdırılmışdır. Qiymətləndirmə meyarı kimi Accuracy (dəqiqlik), Precision (həssaslıq), Recall (geri çağırma) və F1-xal (çəkili ortalama) istifadə edilmişdir.

NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

KLASSIFIKASIYA MODELLƏRININ MÜQAYISƏSI

Cədvəl 2-də bütün modellərin test verilənləri üzərindəki performansı göstərilmişdir:

Cədvəl 2. Klassifikasiya modellərinin müqayisəli performansı

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-xal
XGBoost	**82,89%**	**83%**	**83%**	**0,79**
Gradient Boosting	82,31%	82%	82%	0,78
Random Forest	82,07%	82%	82%	0,78
Logistic Regression	81,00%	80%	81%	0,77
K-Nearest Neighbors	79,50%	79%	80%	0,76
Decision Tree	78,30%	78%	78%	0,75
Bernoulli NB	77,00%	76%	77%	0,73

Optimal Model: XGBoost Analizi

XGBoost modeli 82,89% ümumi dəqiqlik və 0,79 Makro F1-xal ilə ən yüksək nəticə nümayiş etdirdi. Sinif üzrə ətraflı hesabat aşağıdakı kimidir:

- Dropout sinfi: Precision=0,89, Recall=0,83, F1=0,86 - model kəsilmiş tələbələri yüksək etibarlılıqla aşkar edir;
- Graduate sinfi: Precision=0,85, Recall=0,92, F1=0,89 - məzun tələbələr üçün ən yüksək F1 göstəricisi;
- Enrolled sinfi: Precision=0,65, Recall=0,60, F1=0,62 - ən çətin sinif; hələ qeydiyyatda olan tələbələr məzunlara bənzər xüsusiyyətlər daşıyır.

Konfuziya matrisi analizi göstərdi ki, ən böyük xəta "Enrolled" sinfini "Graduate" kimi proqnozlaşdırmaqdır (827 tələbə). Bu kəşif məntiqi baxımdan izah edilə bilər: hələ qeydiyyatda olan tələbə

üçün model, onun akademik profilinin məzuna bənzəmesine görə yanlış qərar qəbul edir. Buna müqabil, "Graduate" ilə "Dropout" arasındakı xəta sayı cəmi 111 nəfərdir , bu da modelin ən kritik fərqlilik xəttini uğurla öyrəndiyini sübut edir.

H. Xüsusiyyətin Əhəmiyyəti (Feature Importance)

XGBoost modelinin xüsusiyyət əhəmiyyət analizi aşağıdakı prioritet sırasını müəyyən etdi:

Sıra	Xüsusiyyət	Nisbi təsir
1	Təqaüd statusu (Scholarship holder)	95% (ən güclü müsbət prediktor)
2	Borc yükü (Debtor)	92% (ən güclü mənfi prediktor)
3	K-Means klaster etiketi	88% (sintetik xüsusiyyət)
4	Cins (Gender)	85%
5	Haqların ödənilməsi (Tuition fees up to date)	83%
6	Uğur nisbəti (Success_Rate)	80%
7	Gündüz/gecə davamiyyəti	74%

Cədvəl 3. Modelin xüsusiyyət əhəmiyyəti analizi.

Bu nəticə son dərəcə vacib bir elmi tapıntını üzə çıxarır: akademik uğur yalnız qiymətlərə deyil, maliyyə vəziyyətinə bağlıdır. Təqaüdlü tələbələrin uğur nisbəti 80%-i keçərkən, borclu tələbələrdə kəsilmə riski kəskin artır. Bu fakt universitetlərin maliyyə yardım proqramlarının akademik dəstək proqramları ilə birgə qurulmasının vacibliyini sübut edir.

Gündüz/Gecə Davamiyyəti Analizi

Tədqiqat gündüz davamiyyəti olan tələbələrin uğur nisbətinin (~70%) gecə qrupuna (~50%) nisbətən əhəmiyyətli dərəcədə yüksək olduğunu müşahidə etmişdir. Gecə tələbələrinin əksəriyyəti həm işləyib, həm oxuduğundan vaxt idarəçiliyi çətinlikləri ilə üzləşir. Bu fakt proqnozlaşdırma modelinin davamiyyət növünü əhəmiyyətli bir prediktor kimi nəzərə almasının vacibliyini göstərir.

Cins Fərqliliyinin Analizi

Qadın tələbələr (cins = 0) kişi tələbələrə (cins = 1) nisbətən xeyli daha yüksək Total_Approved ortalaması nümayiş etdirib, median göstərici kişi tələbələrin göstəricisindən nisbətən üstündür. Bu fərqlilik qlobalda da müşahidə olunan bir tendensiya ilə uyğun gəlir: qadınların orta məktəsdən universitetə keçid periodunda daha yüksək akademik intizam göstərdiyi bilinir. Bununla belə, bu amil proqnozlaşdırma modelinin ədalətliliyi (fairness) baxımından da diqqət tələb edir, modelin cins əsasında qərəzli proqnoz verməməsi üçün ədalətli maşın öyrənməsi (fairness-aware ML) metodlarının tətbiqi tövsiyə olunur.

NƏTİCƏ

Bu tədqiqat 76.518 tələbənin verisi üzərindəki kapsamlı təhlil nəticəsində bir sıra mühüm elmi nəticələr əldə etmişdir. Birincisi, XGBoost modeli 82,89% dəqiqlik göstəricisi ilə çempion model kimi seçilmiş, ansambl metodlarının klassik modellərdən (Naïve Bayes, Logistic Regression) əhəmiyyətli dərəcədə üstün olduğunu sübut etmişdir.

İkincisi, K-Means klasterləşdirməsinin sintetik xüsusiyyət kimi inteqrasiyası modelin xüsusiyyət əhəmiyyəti sırasında üçüncü yeri tutmuş, bu da klasterləşdirmənin klassifikasiya dəqiqliyini artırdığını göstərmişdir.

Üçüncüsü, ən böyük kəşf sosial-iqtisadi amillərin , xüsusən təqaüd statusu, borcluluq və haqların ödənilmə vəziyyəti akademik qiymətlərdən daha güclü prediktorlar olduğudur. Bu tapıntı universitetlərin preventiv müdaxilə strategiyalarını yalnız akademik dəstəyə deyil, maliyyə yardımına da yönəltməsinin vacibliyini ortaya qoyur.

Gələcək tədqiqatlar üçün bir sıra perspektivlər müəyyən edilmişdir: Explainable AI (SHAP/LIME) metodlarının inteqrasiyası ilə hər bir tələbə üçün fərdi risk izahı; NLP vasitəsilə tələbənin LMS-dəki yazılı mesajlarından emosional ton analizi; real vaxt (real-time) izləmə sisteminin qurulması; həmçinin müxtəlif ölkə universitetlərindən alınan verilənlər üzərindəki Transfer Learning tətbiqləri.

Bu tədqiqatın nəticələri ali məktəblərə "riskli" tələbələri semestr başlanmazdan aşkar etmək üçün effektiv, etik və data əsaslı bir qərar dəstəyi sistemi qurmaq üçün möhkəm metodoloji zəmin təqdim edir.

VI. İSTİFADƏ OLUNAN ƏDƏBİYYAT
[1] UNESCO Institute for Statistics, "Global Education Monitoring Report," Paris: UNESCO Publishing, 2023.
[2] G. Siemens and P. Long, "Penetrating the Fog: Analytics in Learning and Education," EDUCAUSE Review, vol. 46, no. 5, pp. 30-40, 2011.
[3] P. A. Lau, "Why do students drop out from university? An investigation of factors leading to non-completion," Journal of Higher Education Policy and Management, vol. 25, no. 2, pp. 137-148, 2003.
[4] C. Romero and S. Ventura, "Educational Data Mining: A Review of the State of the Art," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C, vol. 40, no. 6, pp. 601-618, 2010.
[5] S. Hussain, N. A. Dahan, F. M. Ba-Alwi, and N. Ribata, "Educational Data Mining and Analysis of Students' Academic Performance Using WEKA," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 9, no. 2, pp. 447-459, 2018.
[6] S. Berens, K. Schneider, S. Gortz, S. Oster, and J. Burghoff, "Early Detection of Students at Risk — Predicting Student Dropouts," Administrative Science Quarterly, 2019.
[7] M. Delen, "A comparative analysis of machine learning techniques for student retention management," Decision Support Systems, vol. 49, no. 4, pp. 498-506, 2010.
[8] T. Chen and C. Guestrin, "XGBoost: A Scalable Tree Boosting System," in Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 785-794, 2016.
[9] M. Xenos, "Predicting and Assessing Computer Engineering Students' Performance in Python Programming," Journal of Research and Practice in Information Technology, 2004.
[10] R. S. J. Baker and K. Yacef, "The State of Educational Data Mining in 2009: A Review and Future Visions," Journal of Educational Data Mining, vol. 1, no. 1, pp. 3-17, 2009.

RESEARCH AND ANALYSIS OF KEY INDICATORS OF THE BUSINESS MODEL IN THE DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS

Tofig Alasgarov
Baku Engineering University
Faculty of Information Technologies
telesgerov@std.beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract
One of the most persistent challenges in contemporary information systems development is the gap between strategic business modelling and technical system design. Organisations frequently invest in sophisticated information systems that are built with technical competence but without systematic grounding in the quantitative characteristics of the business models they are meant to support. This paper introduces the Business Model Indicator–Information System Design (BMI-ISD) Framework, a conceptual tool designed to bridge this gap by establishing structured relationships between key business model indicators and core information systems design decisions. Drawing on business model theory, key performance indicator literature, enterprise architecture, and requirements engineering, the framework classifies business model indicators into four categories — Revenue Model, Customer Domain, Operational, and Strategic Resource and Capability — and maps these to four information systems design dimensions: architecture pattern selection, data architecture and governance, integration and interoperability requirements, and functional and user experience requirements. The framework is demonstrated through its application to three organisational case studies representing distinct business model configurations: a digital marketplace, a FinTech lending platform, and a healthcare information provider. The results confirm that specific indicator profiles systematically generate distinct architecture recommendations, and that digital capability maturity functions as a decisive architectural constraint across

all cases. The paper contributes a practically applicable and theoretically grounded methodology for improving the strategic alignment of information systems design with business model logic.
Keywords: business model indicators; information systems design; enterprise architecture; strategic alignment; key performance indicators; digital transformation; Business Model Canvas; data architecture

1. INTRODUCTION

The relationship between an organisation's business model and its information systems has never been more consequential than it is today. As organisations become increasingly digital in their operations, the conceptual distance between what a business does and how its systems are built is shrinking — and where that distance remains, it tends to be costly. Despite this, there is a surprisingly wide gap in the academic and practitioner literature when it comes to translating the specific characteristics of a business model, particularly its measurable performance indicators, into concrete information systems design decisions.

Business model frameworks have matured considerably over the past two decades. The Business Model Canvas developed by Osterwalder and Pigneur (2010) has become the standard language for describing how organisations create, deliver, and capture value, and it is now widely used in both academic research and industry practice. Performance measurement frameworks such as the Balanced Scorecard (Kaplan & Norton, 1996) have established a rigorous tradition of quantifying business model health through key performance indicators (KPIs). Enterprise architecture frameworks such as TOGAF (The Open Group, 2018) provide structured methods for designing information systems that are intended to align with business needs. Yet despite the existence of all three of these traditions, their integration in practice remains partial and largely informal. Enterprise architects know they should be guided by business strategy, but the mechanism by which quantitative business model characteristics are supposed to influence design decisions is underspecified.

This paper presents the BMI-ISD Framework as a response to that underspecification. The framework is designed to give systems architects and business analysts a structured, systematic way of reading the indicator profile of a business model and deriving from it a coherent set of information systems design requirements. It is positioned as a complement to existing methods — it does not replace the Business Model Canvas, the Balanced Scorecard, or TOGAF, but rather provides the analytical bridge among them that currently has to be improvised.

The paper proceeds as follows. Section 2 reviews the relevant literature on business model frameworks, performance indicators, and IS design alignment. Section 3 presents the BMI-ISD Framework in full, including the indicator classification, the selection criteria, and the mapping matrix. Section 4 demonstrates the framework's application through three contrasting case studies. Section 5 discusses the findings and their implications for practice. Section 6 concludes with a summary of contributions and directions for future research.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Business Models: From Description to Analysis

The concept of the business model entered the management literature in a serious way during the late 1990s, largely driven by the emergence of internet-based firms whose economic logic was genuinely novel and hard to describe using existing strategic frameworks. Timmers (1998) was among the first to offer a systematic definition, describing the business model as an architecture for product, service, and information flows, together with descriptions of the roles, benefits, and revenue sources for each actor in the system. Chesbrough and Rosenbloom (2002) provided a more analytical treatment, identifying six functions that any business model must perform, including value proposition articulation, target market identification, value chain definition, and competitive strategy formulation.

The most enduring contribution to the field is Osterwalder and Pigneur's (2010) Business Model Canvas, which organises the business model into nine building blocks across the domains of value creation, value delivery, value capture, and the infrastructure needed to support them. The canvas has been adopted globally as both a design tool and an analytical framework, and it has generated a large and growing literature of case applications and extensions. Zott, Amit, and Massa (2011) reviewed this literature and identified three main theoretical streams — business model as activity system, as architecture, and as cognitive schema — each with distinct implications for how business models should be studied and managed.

Despite the sophistication of these frameworks, a significant limitation persists: they describe what a business model is, but they provide limited guidance on how the characteristics of a business model should

influence the design of the information systems that execute it. This limitation is not unique to the Canvas — it is a general feature of the business model literature, which tends to treat information systems as background infrastructure rather than as first-order design problems that are shaped by business model logic.

2.2 Key Performance Indicators and Business Model Health

The Balanced Scorecard (Kaplan & Norton, 1996) remains the most comprehensive framework for translating business strategy into quantitative performance measures. Its four perspectives — financial, customer, internal process, and learning and growth — provide a structured coverage of the business model that maps reasonably well onto the component domains of the canvas. The learning and growth perspective is particularly relevant to IS design because it explicitly addresses the informational infrastructure and technology capabilities that underpin organisational performance.

Parmenter (2015) makes a useful distinction among key result indicators, performance indicators, and true key performance indicators — reserving the last category for measures that are most directly tied to critical success factors and that have the greatest individual leverage over organisational outcomes. For IS design purposes, this distinction matters because not all indicators carry equal weight: design decisions should be most strongly influenced by those measures whose deterioration would most directly threaten the viability of the business model.

In digital business contexts, a number of more specific indicator frameworks have emerged. Maurya (2012) adapted the Business Model Canvas for startup contexts with the Lean Canvas, explicitly including a 'key metrics' block that forces entrepreneurs to identify the quantitative measures most directly connected to their value creation logic. Osterwalder et al. (2014) extended the framework with the Value Proposition Designer, which includes detailed attention to customer job metrics and value map measures. These developments reflect a growing recognition that business model frameworks need to be more quantitatively grounded — a recognition that motivates the present research.

2.3 Business-IT Alignment and IS Design

The strategic alignment between business strategy and information technology has been a central concern of IS research since Henderson and Venkatraman's (1993) seminal Strategic Alignment Model, which demonstrated that organisations with closer alignment between business and IT strategy consistently outperform those with lower alignment. Subsequent research has confirmed this finding across industries and firm sizes, though the causal mechanisms and the role of specific design decisions in producing alignment effects remain areas of active investigation.

Ross, Weill, and Robertson (2006) introduced the operating model concept as a mediating construct between business strategy and enterprise architecture, demonstrating that the degree of process standardisation and integration required by a company's strategy systematically determines the appropriate enterprise architecture pattern. This is one of the closest existing analogues to the BMI-ISD Framework, but it operates at a higher level of abstraction — characterising overall architecture styles rather than deriving specific design decisions from specific indicator values.

Enterprise architecture frameworks, particularly TOGAF, provide structured development methods that begin with business architecture before proceeding to data, application, and technology architectures. In theory this sequencing should ensure business-IS alignment. In practice, however, the business architecture phase tends to produce qualitative outputs — capability maps, process models, motivation statements — that are insufficiently precise to determine specific technical design decisions. The gap identified by Buckl et al. (2009) and others — between the richness of business architecture description and the specificity needed for technical design — is precisely the gap the BMI-ISD Framework is designed to address.

3. THE BMI-ISD FRAMEWORK

3.1 Overview and Theoretical Grounding

The Business Model Indicator–Information System Design (BMI-ISD) Framework is a conceptual tool that establishes structured relationships between quantitative business model indicators and core information systems design decisions. It is grounded in the design science research tradition (Hevner et al., 2004), which treats rigorously constructed conceptual frameworks as legitimate and valuable research artefacts. The framework draws on four theoretical foundations: Osterwalder and Pigneur's (2010) component model of business models, Kaplan and Norton's (1996) performance measurement logic, TOGAF's architecture development method, and Evans' (2003) domain-driven design principles.

The framework operates through a five-step process: (1) documenting the current and planned future state of the business model using the Business Model Canvas; (2) deriving an indicator profile by identifying

and evaluating relevant business model indicators across four categories; (3) translating each primary indicator into design implication statements for the relevant IS design dimension; (4) synthesising these implications into a coherent set of architectural principles and non-functional requirements; and (5) validating the synthesis by tracing every design principle back to the indicator or indicators that motivated it.

3.2 Indicator Classification

The framework classifies business model indicators into four primary categories, each generating a distinct type of IS design requirement. The first category is Revenue Model Indicators (RMI), which characterise the value capture mechanism. Key dimensions include revenue stream count, revenue recurrence ratio, revenue diversification index, and unit economics trajectory. Revenue model characteristics most powerfully drive requirements for billing architecture, pricing engine design, and financial reporting infrastructure.

The second category is Customer Domain Indicators (CDI), which characterise the customer base and the organisation's relationships with it. Key dimensions include customer segment complexity, channel diversity, customer lifecycle complexity, and churn risk concentration. These indicators most powerfully drive requirements for customer data management, personalisation capabilities, multi-channel integration, and lifecycle automation.

The third category is Operational Indicators (OI), which characterise the efficiency and scale of internal operations. Key dimensions include operational volume and variability (OVV), automation maturity index (AMI), partner dependency ratio (PDR), and data processing intensity (DPI). Operational indicators most powerfully drive requirements for system scalability, process automation, and partner integration architecture.

The fourth category is Strategic Resource and Capability Indicators (SRCI), which characterise the data, technology, and knowledge assets on which competitive position depends. Key dimensions include data asset utilisation intensity (DAUI), intellectual property concentration (IPC), and digital capability maturity (DCM). DCM functions as a modifier across all four IS design dimensions, constraining or enabling the ambition of architecture choices based on the organisation's current operational capability. The full indicator classification is presented in Table 1.

Table 1. BMI-ISD Indicator Classification and IS Design Dimension Mapping

Category	Key Indicator Dimensions	Primary IS Design Dimension Influenced
Revenue Model (RMI)	Stream Count; Recurrence Ratio; Diversification Index; Unit Economics Trajectory	Architecture Pattern; Financial Data Architecture
Customer Domain (CDI)	Segment Complexity; Channel Diversity; Lifecycle Complexity; Churn Risk Concentration	Data Architecture; Integration; Functional & UX Requirements
Operational (OI)	Volume & Variability; Automation Maturity; Partner Dependency; Processing Intensity	Architecture Pattern (scalability); Integration; Process Automation
Strategic Resource (SRCI)	Data Asset Utilisation; IP Concentration; Digital Capability Maturity (modifier)	Data Architecture & Governance; Security Architecture; Architecture Ambition

3.3 Selection Criteria

Not all indicators carry equal analytical weight for IS design. The framework applies five selection criteria to determine which indicators should function as primary design inputs. Strategic centrality asks whether the indicator measures a dimension whose deterioration would threaten the viability of the business model. Systems sensitivity asks whether changes in the indicator's value produce predictable and significant changes in IS requirements. Measurability and availability asks whether the indicator can be operationalised within the organisation's current or planned data environment. Temporal relevance

distinguishes between lagging indicators (reflecting current performance) and leading indicators (reflecting future trajectory), both of which are relevant for design. Comparative leverage identifies which indicators should prevail when their design implications conflict. Indicators scoring medium or high on strategic centrality and systems sensitivity are carried forward as primary design inputs.

3.4 Mapping Logic

The mapping from indicator categories to IS design dimensions follows theoretically grounded logic. High OVV and DPI values drive architecture pattern decisions toward distributed, event-driven structures capable of independent scaling and low-latency data processing. High DAUI and CDI values drive data architecture decisions toward enterprise-grade data management infrastructure including customer data platforms and analytics capabilities. High PDR values drive integration decisions toward API-first architectures with managed gateways and partner developer experience capabilities. High CSC and CLC values drive functional and UX requirements toward personalisation, lifecycle management, and multi-channel delivery capabilities. The DCM modifier operates across all four dimensions: an organisation with low DCM should adopt simpler, more operationally manageable architectures even when indicator values might theoretically justify more sophisticated approaches.

4. FRAMEWORK APPLICATION: THREE COMPARATIVE CASES

4.1 Case 1: RetailNova (Digital Marketplace)

RetailNova is a mid-sized digital marketplace connecting 250,000 active consumers with 3,500 independent vendors across multiple product categories in three regional markets. The organisation is undergoing a strategic transformation that will add a vendor analytics SaaS service, a tiered subscription model for vendors, and a consumer loyalty programme to its existing revenue streams of transaction commissions, vendor subscriptions, and advertising. This transformation significantly changes the business model's indicator profile, most notably increasing revenue stream count from three to five, shifting the revenue recurrence ratio from 40% to a target of 55%, and substantially raising the data asset utilisation intensity.

The indicator derivation step identifies fifteen indicators across all four categories as primary design inputs. The most consequential for architecture decisions are OVV (high, rising — driven by growing transaction volumes and strong seasonal variability), DAUI (low-to-medium, strongly rising — driven by the planned analytics service), and CDI channel diversity (medium, rising — driven by the planned addition of social commerce and push notification channels). The DCM modifier is evaluated at Level 2-3, which constrains architecture ambition.

The architecture synthesis produces a recommendation for a modular, services-based architecture with an event-driven integration backbone — a 'modular monolith' decomposition in the near term, phased toward independent service extraction as DCM increases. The data architecture recommendation is a data lakehouse with federated governance and a customer data platform with real-time profile enrichment. The integration architecture requires a managed API gateway and an event streaming platform. The functional recommendations include a real-time recommendation engine, a self-service vendor analytics dashboard, and a loyalty programme engine. These recommendations are all directly traceable to specific indicator values and trajectories in the profile.

4.2 Case 2: LendStream (FinTech Lending Platform)

LendStream operates a digital consumer lending platform offering instant-decision personal loans and instalment credit, generating revenue through net interest margin on its loan book supplemented by origination fees. Its business model is algorithmically intensive — the core operational process of credit underwriting is executed by a proprietary machine learning model that must produce a credit decision within two to three seconds of application, drawing on real-time data from credit bureaus, Open Banking providers, and fraud detection services.

The LendStream indicator profile differs sharply from RetailNova's. DPI is evaluated as high and stable — the real-time credit decision requirement is a current operational necessity, not a planned future capability. DAUI is high, driven by the central role of the proprietary credit scoring model in the competitive positioning. IPC is high, reflecting the model's status as protectable intellectual property. Critically, DCM is evaluated at Level 4 — significantly higher than RetailNova — removing the capability constraint that moderated the previous case's architecture ambition.

The resulting architecture synthesis recommends a full microservices decomposition from the outset, with a real-time event-driven credit decisioning pipeline as the performance-critical core. The data architecture recommendation centres on an ML feature store, model registry, and MLOps pipeline supporting

continuous model retraining and deployment, with an emphasis on model explainability capabilities to meet regulatory requirements for adverse action notices. The high PDR indicator drives a requirement for resilient, circuit-breaker-protected integrations with external data providers. These recommendations are qualitatively different from RetailNova's in ways that are directly explained by the different indicator profiles — most notably the high DCM enabling full microservices, and the high DPI and IPC driving ML-centric data architecture.

4.3 Case 3: MedInsight (Healthcare Information Provider)

MedInsight operates a digital health information platform delivering evidence-based clinical decision support content to healthcare professionals and institutions through institutional subscriptions, individual professional subscriptions, and content licensing to electronic health record vendors. Its business model is knowledge-product-centric: the primary value asset is a curated database of peer-reviewed clinical content and proprietary clinical ontologies, and the dominant concern in IS design is content integrity and reliability rather than transaction scale or algorithmic performance.

The MedInsight indicator profile reflects this knowledge-product character. OVV is medium and stable — the platform serves a professional user base with predictable, working-hours-skewed usage patterns, not the high-volume, highly variable demands of a consumer marketplace or a real-time financial system. DPI is low. RRR is very high, above 90%, reflecting the predominantly subscription-based revenue model. IPC is high, driven by the editorial content and clinical ontologies. DCM is evaluated at Level 2 — significantly constraining architecture ambition.

The synthesis recommends a content-centric architecture that prioritises data consistency and content versioning over the distributed scalability features that dominated the previous two cases. A content knowledge graph, representing semantic relationships among clinical concepts, is recommended as the data architecture centrepiece to support the planned personalisation capability. EHR integration through SMART on FHIR APIs is identified as the highest-priority integration investment, driven by the strategic importance of delivering clinical decision support at the point of care without requiring clinicians to leave their workflow. The DCM constraint directs against ambitious distributed architectures, instead favouring a well-governed, operationally straightforward content delivery platform.

4.4 Cross-Case Comparison

The three cases together reveal several important patterns. First, the DCM modifier is decisive across all cases: it is the single most powerful determinant of whether a theoretically appropriate architecture is practically achievable. This finding underscores the importance of treating capability investment as a co-requisite for architectural ambition rather than as a separate IT development concern. Second, the dominant indicator category varies systematically with business model type: marketplace businesses are dominated by CDI and OI indicators, FinTech lending by SRCI and OI, and knowledge products by SRCI and RMI. Third, the PDR indicator drives substantially different integration architectures across cases — payment orchestration for the marketplace, resilient real-time credit data integration for FinTech, and workflow-embedded EHR integration for healthcare — suggesting that PDR should be supplemented with a partner integration type characterisation to generate sufficiently specific design guidance. Table 2 summarises the cross-case comparison.

Table 2. Cross-Case Comparison of Dominant Indicators and Architecture Outcomes

Dimension	RetailNova (Marketplace)	LendStream (FinTech)	MedInsight (Healthcare Info)
Dominant Indicator Category	CDI + OI	SRCI + OI	SRCI + RMI
Architecture Pattern	Modular monolith → microservices (phased)	Full microservices (real-time)	Content-centric CRUD with versioning
Data Architecture	Data lakehouse + CDP	ML feature store + MLOps	Knowledge graph + content versioning
Integration Priority	API gateway + event streaming	Resilient real-time data feeds	EHR SMART on FHIR APIs
DCM Constraint	Strong — moderates	None — enables full	Very strong — limits to

Effect	ambition	ambition	foundational
Key Design Risk	Transformation complexity	Regulatory & model governance	Content integrity & EHR adoption

5. DISCUSSION

5.1 The Framework's Practical Value

The most significant finding from the case applications is that the BMI-ISD Framework successfully generates structured, traceable, and strategically coherent design recommendations from a systematic analysis of business model indicators — and that it does so in ways that differ meaningfully from what conventional requirements engineering or high-level architecture frameworks would produce on their own. The recommendation of a data mesh architecture for RetailNova, for example, is driven by the trajectory of the DAUI indicator — the planned analytics SaaS service — rather than by any current operational requirement. In a conventional requirements process, this future-state requirement would likely be deferred, and the data architecture designed today would not be equipped to support it. The framework's explicit attention to indicator trajectories ensures that planned business model evolution is built into the design, not retrofitted afterward.

The framework also surfaces capability gaps as design constraints in a way that conventional architecture methods do not. The DCM modifier is not a standard input to enterprise architecture development methods, but it is, in practice, the most important moderator of architecture ambition in all three cases studied. Making this constraint explicit and subjecting it to structured analysis — rather than leaving it to emerge as an implementation challenge after architectural commitments have been made — is a concrete practical benefit of the framework.

The communication value of the indicator profile should also be emphasised. In practice, one of the most persistent obstacles to business-IT alignment is the absence of a shared analytical language between business stakeholders who understand the business model and technical stakeholders who understand IS design. The BMI-ISD indicator profile is expressed in terms that are meaningful to both groups: business analysts can recognise and validate the business model dimensions being characterised, while systems architects can translate the indicator evaluations into design implications. This dual accessibility is a practical advantage in the collaborative design processes that real enterprise IS development requires.

5.2 Implications for Enterprise Architecture Practice

The findings suggest several concrete implications for enterprise architecture practice. Enterprise architects should incorporate structured indicator analysis as a standard component of the business architecture phase, rather than relying solely on qualitative capability maps and process models. Non-functional requirements specifications should explicitly address indicator trajectories, not only current-state performance characteristics, to ensure that architectures are designed for the anticipated future state of the business model. And capability maturity assessments should be formally integrated into architecture governance, so that decisions about architecture ambition are made with explicit awareness of the organisational capability required to operate the proposed architecture.

More broadly, the findings reinforce the case for a more quantitatively integrated model of enterprise architecture practice — one in which the enterprise architect functions not only as a technical design authority but as a strategic analyst who translates the measurable logic of the business model into the structural requirements of the IS. This is a demanding role, but frameworks such as BMI-ISD are designed to make it tractable.

5.3 Limitations

The framework has several important limitations that should be acknowledged. The case studies used to validate it are constructed scenarios rather than empirical studies of real organisations, which limits the evidence base for claims about its practical utility. The mapping from indicator profiles to design recommendations involves analytical judgement at multiple points, meaning that different analysts may reach somewhat different conclusions from the same indicator profile. The framework is static in its basic form — it produces a snapshot of design requirements rather than a mechanism for continuous monitoring as the indicator profile evolves. And the fifteen indicator dimensions, while theoretically comprehensive, may not adequately capture the full complexity of every business model configuration encountered in practice, particularly in sectors with distinctive regulatory or technological characteristics.

6. CONCLUSION

This paper has presented the BMI-ISD Framework as a systematic approach to translating business model indicators into information systems design decisions. The framework addresses a well-documented but underserved gap at the intersection of business model theory, performance measurement, and IS design methodology. Through its application to three contrasting organisational cases, the paper demonstrates that indicator profiles systematically generate distinct architecture recommendations and that digital capability maturity functions as a decisive architectural constraint across business model types.

The principal contribution of the paper is the framework itself — a replicable analytical artefact that gives systems architects and business analysts a structured, shared methodology for grounding IS design decisions in the quantitative logic of the business model they are designed to support. Secondary contributions include the fifteen-dimension indicator classification, the five-item selection criteria, and the comparative evidence from the three case applications.

Future research should focus on empirical validation of the framework through real-world architecture engagements, the development of quantitative scoring instruments for the indicator dimensions, and the integration of the framework with enterprise architecture modelling tools such as ArchiMate. Research examining the organisational and contextual conditions under which indicator-aligned IS design is most effective would also significantly extend the practical utility of the framework.

In a competitive environment where business models evolve at an accelerating pace and where the strategic cost of IS misalignment is growing, the capacity to systematically read a business model's indicator profile and translate it into coherent IS design requirements is not merely a technical convenience — it is a strategic capability. The BMI-ISD Framework is offered as a contribution toward making that capability more accessible and more reliably exercised.

REFERENCES

Buckl, S., Ernst, A. M., Matthes, F., Ramacher, R., & Schweda, C. M. (2009). Using enterprise architecture management patterns to complement TOGAF. 13th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC '09), 34–41.

Casadesus-Masanell, R., & Ricart, J. E. (2010). From strategy to business models and onto tactics. Long Range Planning, 43(2–3), 195–215.

Chesbrough, H., & Rosenbloom, R. S. (2002). The role of the business model in capturing value from innovation. Industrial and Corporate Change, 11(3), 529–555.

Evans, E. (2003). Domain-driven design: Tackling complexity in the heart of software. Addison-Wesley.

Gordijn, J., & Akkermans, H. (2001). Designing and evaluating e-business models. IEEE Intelligent Systems, 16(4), 11–17.

Henderson, J. C., & Venkatraman, N. (1993). Strategic alignment: Leveraging information technology for transforming organizations. IBM Systems Journal, 32(1), 4–16.

Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. MIS Quarterly, 28(1), 75–105.

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). The balanced scorecard: Translating strategy into action. Harvard Business School Press.

Lankhorst, M. (2017). Enterprise architecture at work: Modelling, communication and analysis (4th ed.). Springer.

Luftman, J. (2004). Managing the information technology resource: Leadership in the information age. Pearson Prentice Hall.

Massa, L., Tucci, C. L., & Afuah, A. (2017). A critical assessment of business model research. Academy of Management Annals, 11(1), 73–104.

Maurya, A. (2012). Running lean: Iterate from plan A to a plan that works (2nd ed.). O'Reilly Media.

Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). Business model generation. John Wiley & Sons.

Osterwalder, A., Pigneur, Y., Bernarda, G., & Smith, A. (2014). Value proposition design. John Wiley & Sons.

Parmenter, D. (2015). Key performance indicators: Developing, implementing, and using winning KPIs (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. Journal of Management Information Systems, 24(3), 45–77.

Ross, J. W., Weill, P., & Robertson, D. C. (2006). Enterprise architecture as strategy. Harvard Business School Press.
Teece, D. J. (2010). Business models, business strategy and innovation. Long Range Planning, 43(2–3), 172–194.
The Open Group. (2018). TOGAF standard, version 9.2. The Open Group.
Timmers, P. (1998). Business models for electronic markets. Electronic Markets, 8(2), 3–8.
Zachman, J. A. (1987). A framework for information systems architecture. IBM Systems Journal, 26(3), 276–292.
Zott, C., Amit, R., & Massa, L. (2011). The business model: Recent developments and future research. Journal of Management, 37(4), 1019–1042.

SÜNİ İNTELLEKTİN BİZNES PERFORMANSINA TƏSİRİ: AZƏRBAYCAN MÜƏSSİSƏLƏRİNİN TƏCRÜBƏSİ

Hacıyeva Aydan
Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti (UNEC) UNEC Magistratura məktəbi
aydanhadjieva@gmail.com

Xülasə

Süni intellektin (Sİ) biznes fəaliyyətinə təsirinin öyrənilməsi müasir rəqəmsal transformasiya şəraitində xüsusi aktuallıq kəsb edir. Qlobal rəqabətin gücləndiyi və məlumat əsaslı idarəetmə modellərinin genişləndiyi bir dövrdə süni intellekt texnologiyaları müəssisələrin fəaliyyət effektivliyinin artırılmasında mühüm alətə çevrilmişdir. Bu baxımdan, Sİ yalnız texnoloji yenilik kimi deyil, həm də biznes strategiyalarının formalaşdırılmasında, qərarvermə proseslərinin təkmilləşdirilməsində və rəqabət üstünlüyünün əldə olunmasında əsas faktor kimi çıxış edir. Tədqiqatın əsas məqsədi süni intellekt texnologiyalarının biznes performansına təsir mexanizmlərini sistemli şəkildə təhlil etmək və bu təsiri Azərbaycan müəssisələrinin təcrübəsi əsasında qiymətləndirməkdən ibarətdir. Araşdırmada konseptual təhlil, müqayisəli yanaşma, statistik ümumiləşdirmə və praktik nümunələrin analizi metodlarından istifadə olunmuşdur. Tədqiqat nəticələri göstərir ki, süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi müəssisələrdə əməliyyat səmərəliliyinin artmasına, xərclərin optimallaşdırılmasına, qərarvermə prosesinin daha analitik əsaslara söykənməsinə və müştəri yönümlü xidmətlərin inkişafına əhəmiyyətli təsir göstərir. Eyni zamanda, bu texnologiyalar risklərin daha effektiv idarə olunmasına və innovasiya potensialının genişlənməsinə şərait yaradır. Bununla yanaşı, yüksək ilkin investisiya xərcləri, ixtisaslı kadr çatışmazlığı, texnoloji infrastrukturun yetərli səviyyədə inkişaf etməməsi və məlumat təhlükəsizliyi ilə bağlı problemlər əsas çağırışlar kimi qalmaqdadır. Bu amillər süni intellekt texnologiyalarının geniş tətbiqini müəyyən dərəcədə məhdudlaşdırır və müəssisələrdən daha kompleks yanaşma tələb edir. Nəticə etibarilə müəyyən edilmişdir ki, Azərbaycan müəssisələrində süni intellektin effektiv tətbiqi üçün rəqəmsal infrastrukturun inkişaf etdirilməsi, insan kapitalına investisiyaların artırılması, hüquqi və institusional bazanın təkmilləşdirilməsi, eləcə də dövlət və özəl sektor arasında əməkdaşlığın gücləndirilməsi əsas prioritet istiqamətlər kimi çıxış edir. Bu yanaşma ölkədə biznes performansının yüksəldilməsinə və qlobal rəqabət mühitində mövqenin gücləndirilməsinə əhəmiyyətli töhfə verə bilər.

Açar sözləri: *Süni intellekt (Sİ), biznes performansı, rəqəmsal transformasiya, qərarvermə, əməliyyat səmərəliliyi, Azərbaycan müəssisələri* **JEL kodları: O31, O33, M15, M21,, L25**

The Impact of Artificial Intelligence on the Strategic Development of Small States: Opportunities, Risks, and Strategic Approaches

Hajiyeva Aydan
Azerbaijan State University of Economics (UNEC)
UNEC Master's School
aydanhadjieva@gmail.com

Abstract

The study of the impact of artificial intelligence (AI) on business activities has gained particular relevance in the context of modern digital transformation. In an era characterized by intensified global competition and the expansion of data-driven management models, AI technologies have become an important tool for enhancing the operational efficiency of enterprises. In this regard, AI is not only a technological innovation but also a key factor in shaping business strategies, improving decision-making processes, and achieving competitive advantage. The main objective of the research is to systematically analyze the mechanisms through which artificial intelligence affects business performance and to evaluate these effects based on the experience of Azerbaijani enterprises. The study employs conceptual analysis, a comparative approach, statistical generalization, and the analysis of practical case examples as its primary research methods. The research findings indicate that the implementation of AI technologies significantly contributes to increased operational efficiency, cost optimization, improved analytical decision-making, and the development of customer-oriented services. At the same time, these technologies facilitate more effective risk management and enhance innovation potential. However, high initial investment costs, a shortage of qualified personnel, insufficient technological infrastructure, and data security concerns remain key challenges. These factors limit the widespread adoption of AI technologies and require enterprises to adopt more comprehensive and integrated approaches. In conclusion, it has been determined that the effective implementation of artificial intelligence in Azerbaijani enterprises requires the development of digital infrastructure, increased investment in human capital, improvement of legal and institutional frameworks, and the strengthening of cooperation between the public and private sectors. This approach can significantly contribute to enhancing business performance and strengthening the country's position in the global competitive environment.

Keywords: *Artificial Intelligence (AI), business performance, digital transformation, decision-making, operational efficiency, Azerbaijani enterprises* **JEL codes: O31, O33, M15, M21, L25**

Giriş

Müasir dövrdə süni intellekt texnologiyalarının biznes fəaliyyətinə təsirinin öyrənilməsi həm nəzəri, həm də praktiki baxımdan xüsusi aktuallıq kəsb edir. Rəqəmsallaşmanın sürətlənməsi, məlumat əsaslı idarəetmə modellərinin genişlənməsi və rəqabət mühitinin daha da mürəkkəbləşməsi müəssisələri yeni texnoloji həllərə yönəltmişdir. Bu baxımdan, süni intellektin biznes sistemlərinə inteqrasiyası təkcə texniki yenilənmə deyil, həm də idarəetmə, performans və strateji inkişaf məsələləri ilə birbaşa bağlı olan mühüm istiqamət kimi çıxış edir. Mövzunun mahiyyəti süni intellekt texnologiyalarının müəssisələrin fəaliyyət mexanizmlərinə, qərarvermə proseslərinə, resurslardan istifadə səviyyəsinə və ümumilikdə biznes performansına təsirinin araşdırılmasından ibarətdir. Burada əsas diqqət süni intellektin yalnız avtomatlaşdırma vasitəsi kimi deyil, həm də müəssisənin strateji inkişafını dəstəkləyən, əməliyyat səmərəliliyini artıran və rəqabət üstünlüyü formalaşdıran alət kimi qiymətləndirilməsinə yönəlir. Mövzunun fərqləndirici xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, süni intellektin biznesə təsiri yalnız ümumi nəzəri çərçivədə deyil, eyni zamanda Azərbaycan müəssisələrinin təcrübəsi fonunda təhlil olunur. Bu, mövzunu daha konkret, tətbiqyönümlü və real iqtisadi mühitlə əlaqəli şəkildə araşdırmağa imkan verir. Eyni zamanda, süni intellektin biznes sistemlərində yaratdığı dəyişikliklərin həm performans göstəriciləri, həm də idarəetmə və strateji inkişaf aspektləri üzrə dəyərləndirilməsi tədqiqatın əhatə dairəsini genişləndirir. Bu yanaşma mövzunun həm iqtisadi, həm də siyasi aspektlər üzrə kompleks şəkildə öyrənilməsinə imkan yaradır. Çünki süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi bir tərəfdən müəssisələrin gəlirlilik, məhsuldarlıq və səmərəlilik səviyyəsinə təsir göstərirsə, digər tərəfdən rəqəmsal inkişaf siyasəti, innovasiya mühiti, texnoloji təhlükəsizlik və insan kapitalının formalaşdırılması kimi daha geniş məsələlərlə də əlaqələnir. Mövzunun elmi-praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, o, süni intellektin biznes performansına təsir mexanizmlərini sistemli şəkildə izah etməklə yanaşı, Azərbaycan müəssisələri üçün praktik nəticələrin və tətbiq imkanlarının müəyyənləşdirilməsinə də töhfə verir. Problemin qoyuluşu ondan ibarətdir ki, müasir biznes mühitində süni intellektin tətbiqi genişlənməsinə baxmayaraq, onun müəssisələrin real fəaliyyət nəticələrinə, idarəetmə modelinə və strateji inkişafına təsiri hər zaman eyni səviyyədə qiymətləndirilmir. Xüsusilə Azərbaycan şəraitində bu texnologiyanın tətbiq səviyyəsi, onun yaratdığı üstünlüklər, qarşıya çıxardığı məhdudiyyətlər və performansa faktiki təsiri ilə bağlı sistemli elmi yanaşmaya ehtiyac duyulur. Öyrənilmə səviyyəsinə görə, süni intellektin biznes sistemlərinə və performans göstəricilərinə təsiri xarici ədəbiyyatda kifayət qədər geniş araşdırılmışdır. Müxtəlif müəlliflər bu texnologiyanın qərarvermə, avtomatlaşdırma, müştəri münasibətləri və innovasiya potensialı baxımından əhəmiyyətini izah etmişlər.

Lakin Azərbaycan müəssisələrinin təcrübəsi fonunda aparılmış tədqiqatlar daha məhdud xarakter daşıyır. Bu isə mövzunun yerli kontekstdə əlavə araşdırılmasını zəruri edir. Araşdırmanın məqsədi süni intellekt texnologiyalarının biznes performansına təsirini nəzəri və praktiki baxımdan təhlil etmək, bu təsirin əsas istiqamətlərini müəyyənləşdirmək və Azərbaycan müəssisələrinin təcrübəsi əsasında ümumiləşdirilmiş nəticələr ortaya qoymaqdan ibarətdir. Tədqiqatın vəzifələrinə süni intellektin biznes sistemlərində rolunun nəzəri baxımdan izah edilməsi, biznes performansının qiymətləndirilməsində əsas göstəricilərin müəyyən olunması, süni intellektin bu göstəricilərə təsir mexanizmlərinin təhlili, Azərbaycan müəssisələrində mövcud tətbiq nümunələrinin araşdırılması və əldə olunan nəticələr əsasında inkişaf perspektivlərinin dəyərləndirilməsi daxildir. Araşdırmada keyfiyyət və kəmiyyət metodlarının birgə istifadəsi məqsədəuyğun hesab edilmişdir. Keyfiyyət yanaşması vasitəsilə mövzunun nəzəri əsasları, süni intellektin biznesə təsir formaları və müəssisə davranışındakı dəyişikliklər izah olunur. Kəmiyyət yanaşması isə performans göstəricilərinin müqayisəli təhlili, statistik məlumatların şərhi və praktik nəticələrin daha əsaslandırılmış formada təqdim edilməsinə imkan yaradır. Tədqiqatın informasiya bazasını süni intellekt, rəqəmsal transformasiya və biznes performansı ilə bağlı elmi ədəbiyyatlar, beynəlxalq hesabatlar, analitik mənbələr, eləcə də Azərbaycan müəssisələrinin fəaliyyəti ilə bağlı açıq məlumatlar təşkil edir. Bununla yanaşı, mövzunun daha dolğun izahı üçün müxtəlif sektorlar üzrə praktiki nümunələrdən və ümumiləşdirilmiş müşahidələrdən istifadə olunur. Lakin bu sahədə araşdırma apararkən bəzi çətinliklər mövcuddur. Əsas çətinliklər sırasında süni intellekt tətbiqləri ilə bağlı müəssisədaxili məlumatların tam açıq olmaması, bəzi şirkətlər üzrə konkret statistik göstəricilərin əldə edilməsinin məhdudluğu, eləcə də texnologiyanın tətbiq səviyyəsinin müəssisələr arasında fərqli olması göstərilə bilər. Tədqiqatın məhdudiyyətləri əsasən məlumat əlçatanlığı, yerli praktik nümunələrin sayının məhdudluğu və bəzi nəticələrin ümumiləşdirilmiş yanaşma əsasında təqdim olunması ilə bağlıdır. Bununla belə, mövcud materiallar mövzunun əsas istiqamətlərini təhlil etmək və obyektiv nəticələr əldə etmək üçün kifayət qədər əsas verir. Bu tədqiqatın elmi yeniliyi, süni intellektin biznes performansına təsirinin Azərbaycan müəssisələrinin təcrübəsi kontekstində sistemli şəkildə araşdırılmasında, nəzəri və praktiki yanaşmaların uzlaşdırılmasında, həmçinin performans göstəriciləri ilə strateji inkişaf məsələlərinin qarşılıqlı əlaqədə təhlil edilməsində ifadə olunur. Tədqiqat eyni zamanda süni intellektin yerli biznes mühitində tətbiq potensialını və onun yaratdığı imkanlarla məhdudiyyətləri kompleks şəkildə qiymətləndirməklə bu sahədə gələcək araşdırmalara və praktik qərarların qəbuluna töhfə verməyi hədəfləyir.

Süni intellektin biznes sistemlərində transformativ rolu: nəzəri yanaşma və konseptual çərçivə

Müasir iqtisadi mühitdə texnoloji inkişafın sürətlənməsi biznes fəaliyyətinin bütün istiqamətlərinə birbaşa təsir göstərir. Bu prosesin mərkəzində isə süni intellekt (Sİ) texnologiyaları dayanır. Əgər əvvəlki dövrlərdə texnologiyalar əsasən əməliyyat proseslərinin sadələşdirilməsi və avtomatlaşdırılması məqsədi daşıyırdısa, hazırda süni intellekt biznes sistemlərinin mahiyyətini dəyişdirən, onların strukturunu yenidən formalaşdıran transformativ amil kimi çıxış edir (Rajput R., 2025). Bu baxımdan süni intellekt artıq sadəcə texniki alət deyil, biznes strategiyalarının qurulmasında və həyata keçirilməsində əsas rol oynayan fundamental komponentə çevrilmişdir. Süni intellektin transformativ rolu ilk növbədə onun məlumat əsaslı qərarvermə imkanları ilə bağlıdır. Müasir biznes mühiti yüksək qeyri-müəyyənlik, rəqabətin intensivliyi və sürətli dəyişikliklərlə xarakterizə olunur. Bu şəraitdə düzgün və operativ qərarların qəbul edilməsi müəssisələrin uğuru üçün həlledici əhəmiyyət kəsb edir. Süni intellekt böyük həcmli məlumatları qısa müddətdə emal edərək, gizli qanunauyğunluqları aşkar etməyə və gələcək meylləri proqnozlaşdırmağa imkan verir. Bu isə menecerlərin qərarvermə prosesini daha obyektiv və əsaslandırılmış hala gətirir. Beləliklə, ənənəvi intuisiya və təcrübəyə əsaslanan yanaşmalar tədricən analitik və data əsaslı idarəetmə modelləri ilə əvəz olunur. Transformasiya prosesi yalnız qərarvermə ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda biznes proseslərinin strukturunda da köklü dəyişikliklərə səbəb olur. Süni intellekt texnologiyaları istehsal, logistika, marketinq və müştəri xidmətləri kimi sahələrdə geniş tətbiq olunaraq əməliyyatların optimallaşdırılmasına şərait yaradır. Məsələn, istehsal proseslərində Sİ əsaslı sistemlər avadanlıqların texniki vəziyyətini əvvəlcədən analiz edərək nasazlıqların qarşısını ala bilir. Logistika sahəsində marşrutların optimallaşdırılması, ehtiyatların idarə olunması və çatdırılma müddətinin azaldılması kimi məsələlər süni intellekt vasitəsilə daha effektiv şəkildə həll olunur (Bulusu L. və Abellera R., 2020). Marketinq sahəsində isə müştəri davranışlarının analizi fərdi təkliflərin hazırlanmasına və bazar seqmentasiyasının daha dəqiq aparılmasına imkan verir. Bu dəyişikliklər nəticəsində biznes fəaliyyətində həm səmərəlilik artır, həm də resurslardan daha rasional istifadə təmin olunur.

Süni intellektin biznes sistemlərində transformativ təsiri onun innovasiya potensialı ilə də sıx bağlıdır. Müasir dövrdə rəqabət üstünlüyü əldə etmək üçün müəssisələr yalnız mövcud resurslardan

səmərəli istifadə etməklə kifayətlənmir, eyni zamanda yeni məhsul və xidmətlərin yaradılmasına da diqqət yetirirlər. Süni intellekt bu prosesdə mühüm rol oynayaraq innovativ biznes modellərinin formalaşmasına şərait yaradır. Məsələn, rəqəmsal platformalar, abunə əsaslı xidmətlər və fərdiləşdirilmiş məhsul təklifləri Sİ texnologiyalarının tətbiqi nəticəsində geniş yayılmışdır. Bu yanaşma müəssisələrə bazar tələblərinə daha çevik reaksiya verməklə və müştəri məmnuniyyətini artırmaq imkanı yaradır.

Konseptual baxımdan süni intellektin biznes sistemlərinə təsirini izah edən bir neçə əsas yanaşma mövcuddur. Bunlardan biri "resurs əsaslı yanaşma"dır. Bu yanaşmaya görə, müəssisələrin rəqabət üstünlüyü onların malik olduğu resursların keyfiyyəti və istifadəsi ilə müəyyən olunur (Post H. V., 2025). Süni intellekt bu kontekstdə strateji resurs kimi qiymətləndirilir, çünki o, məlumatların emalı və analizi vasitəsilə digər resursların effektiv istifadəsini təmin edir. Digər yanaşma isə "dinamik qabiliyyətlər" nəzəriyyəsidir. Bu nəzəriyyə müəssisələrin dəyişən mühitə uyğunlaşmaq və yeni imkanları dəyərləndirmək qabiliyyətinə diqqət yetirir. Süni intellekt bu qabiliyyətlərin inkişafında mühüm rol oynayaraq müəssisələrin çevikliyini və adaptasiya imkanlarını artırır (Bertan S., 2025). Bununla yanaşı, süni intellektin tətbiqi biznes sistemlərində təşkilati dəyişiklikləri də zəruri edir.

Texnologiyanın effektiv istifadəsi yalnız texniki infrastrukturun mövcudluğu ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda insan resurslarının və idarəetmə yanaşmalarının uyğunlaşdırılmasını tələb edir. Müəssisələrdə Sİ əsaslı sistemlərin tətbiqi yeni bacarıqlara malik əməkdaşlara ehtiyac yaradır və işçi qüvvəsinin strukturunda dəyişikliklərə səbəb olur. Bu proses bəzən müqavimətlə qarşılaşsa da, uzunmüddətli perspektivdə daha yüksək məhsuldarlıq və innovasiya potensialı ilə nəticələnir.

Süni intellektin biznes sistemlərində transformativ rolunu xarakterizə edən digər mühüm aspekt onun rəqabət mühitinə təsiridir. Sİ texnologiyalarından effektiv istifadə edən müəssisələr bazarda daha güclü mövqeyə malik olur və rəqiblərinə nisbətən üstünlük əldə edirlər. Bu isə bazarda yeni rəqabət qaydalarının formalaşmasına səbəb olur. Ənənəvi rəqabət amilləri ilə yanaşı, artıq texnoloji üstünlük və məlumat üzərində nəzarət də əsas rəqabət faktorlarına çevrilmişdir. Nəticə etibarilə, süni intellekt biznes sistemlərində yalnız əməliyyat səviyyəsində deyil, strateji səviyyədə də dərin dəyişikliklər yaradan transformativ texnologiya kimi çıxış edir. Onun tətbiqi müəssisələrin fəaliyyətini daha səmərəli, çevik və innovativ hala gətirir. Eyni zamanda, süni intellekt biznes mühitində yeni yanaşmaların və idarəetmə modellərinin formalaşmasına səbəb olaraq gələcək inkişafın əsas istiqamətlərini müəyyən edir. Bu baxımdan, müasir dövrdə süni intellekti nəzərə almadan biznes strategiyalarının hazırlanması və həyata keçirilməsi artıq mümkün hesab olunmur.

Rəqəmsal transformasiya şəraitində biznes performansının ölçülməsi və süni intellektin təsir mexanizmləri

Rəqəmsal texnologiyaların sürətlə inkişaf etdiyi və qlobal rəqabətin getdikcə intensivləşdiyi bir dövrdə biznes fəaliyyətinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi daha mürəkkəb xarakter almışdır. Müəssisələr yalnız maliyyə nəticələrinə əsaslanaraq deyil, eyni zamanda əməliyyat səmərəliliyi, innovasiya qabiliyyəti və müştəri yönümlülük kimi amilləri də nəzərə alaraq fəaliyyətlərini təhlil etməyə məcbur qalırlar (Almeida I., 2023). Bu kontekstdə süni intellekt texnologiyaları biznes performansının həm ölçülməsi, həm də artırılması baxımından mühüm alətə çevrilmişdir. Onun tətbiqi nəticəsində müəssisələr daha dəqiq məlumatlara əsaslanaraq qərarlar qəbul edir və dəyişən bazar şəraitinə daha çevik uyğunlaşa bilirlər. Ənənəvi yanaşmada biznes performansı əsasən gəlir, mənfəət və rentabellik kimi maliyyə göstəriciləri ilə ölçülürdü. Bu göstəricilər müəssisənin maliyyə vəziyyətini ümumi şəkildə əks etdirsə də, onun fəaliyyətinin bütün aspektlərini tam şəkildə əhatə etmir. Rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində isə performans anlayışı daha geniş məna kəsb edərək məhsuldarlıq, əməliyyat effektivliyi, innovasiya səviyyəsi və müştəri məmnuniyyəti kimi göstəriciləri də özündə birləşdirir (Bitmiş M. G., Cavlak Ö, D. və Bayar M. M., 2022). Bu baxımdan, biznes performansının qiymətləndirilməsi çoxölçülü yanaşma tələb edir və süni intellekt bu prosesdə mühüm rol oynayır. Süni intellektin biznes performansına təsiri ilk növbədə əməliyyat səmərəliliyinin artırılması ilə özünü göstərir. Sİ əsaslı sistemlər təkrarlanan və vaxt aparan prosesləri avtomatlaşdıraraq insan resurslarının daha strateji fəaliyyətlərə yönəldilməsinə imkan yaradır. Məsələn, maliyyə əməliyyatlarının emalı, müştəri sorğularının cavablandırılması və məlumatların sistemləşdirilməsi kimi proseslər süni intellekt vasitəsilə daha sürətli və dəqiq şəkildə həyata keçirilir. Bu isə əməliyyat xərclərinin azalmasına və ümumi məhsuldarlığın artmasına səbəb olur. Digər mühüm təsir mexanizmi qərarvermə prosesinin təkmilləşdirilməsi ilə bağlıdır. Süni intellekt böyük həcmli məlumatları analiz edərək müəssisələrə daha əsaslandırılmış qərarlar qəbul etməyə imkan verir. Bu prosesdə məlumatların yalnız toplanması deyil, həm də onların strukturlaşdırılması və interpretasiyası həyata keçirilir. Nəticədə müəssisələr bazar tendensiyalarını daha dəqiq müəyyən edə, müştəri davranışlarını proqnozlaşdıra və

riskləri əvvəlcədən qiymətləndirə bilirlər. Bu isə strateji planlaşdırmanın keyfiyyətini artırır və qərarvermədə subyektivlik faktorunu minimuma endirir.

Süni intellektin təsir göstərdiyi digər sahə müştəri yönümlü fəaliyyətlərdir. Müasir biznes mühitində müştəri məmnuniyyəti və loyallığı rəqabət üstünlüyünün əsas şərtlərindən biri hesab olunur. Sİ texnologiyaları müştəri məlumatlarının təhlili vasitəsilə fərdiləşdirilmiş xidmətlərin göstərilməsinə şərait yaradır. Məsələn, alış davranışlarının analizi nəticəsində müştərilərə onların ehtiyaclarına uyğun məhsul və xidmətlər təklif edilir. Bu yanaşma həm satış həcmini artırır, həm də müştəri ilə uzunmüddətli münasibətlərin formalaşmasına kömək edir. Rəqəmsal transformasiya şəraitində innovasiya fəaliyyəti də biznes performansının əsas komponentlərindən birinə çevrilmişdir. Süni intellekt müəssisələrə yeni məhsul və xidmətlərin hazırlanmasında, bazar boşluqlarının müəyyən edilməsində və innovativ ideyaların reallaşdırılmasında dəstək verir (Doug R., 2020). Bu isə müəssisələrin bazarda mövqeyini gücləndirir və onların uzunmüddətli inkişafını təmin edir. Xüsusilə texnologiya yönümlü sahələrdə fəaliyyət göstərən müəssisələr üçün Sİ əsaslı innovasiyalar rəqabət üstünlüyünün əsas mənbələrindən biri hesab olunur.

Bununla yanaşı, süni intellektin tətbiqi risklərin idarə olunması sahəsində də mühüm dəyişikliklərə səbəb olur. Müəssisələr Sİ vasitəsilə maliyyə, əməliyyat və bazar risklərini daha effektiv şəkildə analiz edə bilirlər. Proqnozlaşdırma modelləri potensial problemlərin əvvəlcədən müəyyən edilməsinə imkan verir və bu da risklərin minimuma endirilməsinə şərait yaradır. Beləliklə, risklərin idarə olunması prosesi daha proaktiv xarakter alır və müəssisələrin dayanıqlılığı artır. Lakin süni intellektin biznes performansına təsiri yalnız müsbət aspektlərlə məhdudlaşmır. Bu texnologiyanın tətbiqi müəyyən çətinliklər və məhdudiyyətlərlə də müşayiət olunur. İlk növbədə, yüksək ilkin investisiya xərcləri və texnoloji infrastrukturun qurulması müəssisələr üçün ciddi maliyyə yükü yarada bilər. Bundan əlavə, ixtisaslı kadr çatışmazlığı və texnologiyanın effektiv idarə olunması ilə bağlı problemlər də performansa mənfi təsir göstərə bilər (Rajput R., 2025). Məlumat təhlükəsizliyi və etik məsələlər də bu sahədə diqqət tələb edən əsas istiqamətlərdəndir. Ümumilikdə, rəqəmsal transformasiya şəraitində biznes performansının ölçülməsi daha kompleks və çoxölçülü yanaşma tələb edir. Süni intellekt bu prosesdə həm ölçmə aləti, həm də təsir edən əsas faktor kimi çıxış edir. Onun tətbiqi nəticəsində müəssisələr daha səmərəli fəaliyyət göstərir, qərarvermə prosesləri təkmilləşir və rəqabət üstünlüyü əldə edilir. Eyni zamanda, bu texnologiyanın yaratdığı çağırışlar müəssisələrin strateji yanaşmalarını yenidən nəzərdən keçirməsini zəruri edir. Beləliklə, süni intellekt müasir biznes mühitində performansın qiymətləndirilməsi və artırılması üçün əsas vasitələrdən biri kimi çıxış edir.

Azərbaycan müəssisələrində süni intellektin tətbiqi və biznes performansına təsirinin təhlili Rəqəmsal texnologiyaların sürətlə inkişaf etdiyi şəraitdə Azərbaycanda fəaliyyət göstərən bir sıra iri müəssisələr süni intellekt həllərini praktik olaraq tətbiq etməyə başlamışdır. Bu proses xüsusilə bank sektoru, enerji, pərakəndə satış və logistika sahələrində daha aydın müşahidə olunur. Konkret şirkətlərin fəaliyyəti əsasında aparılan təhlil süni intellektin biznes performansına real təsirini daha aydın şəkildə göstərməyə imkan verir. Bank sektorunda Kapital Bank süni intellekt texnologiyalarından ən aktiv istifadə edən maliyyə qurumlarından biri hesab olunur. Bankın rəqəmsal platformalarında tətbiq olunan Sİ əsaslı analitik sistemlər müştəri davranışlarının təhlilinə imkan verir. Bu sistemlər vasitəsilə müştərilərin xərcləmə vərdişləri, maliyyə aktivliyi və risk səviyyəsi qiymətləndirilir. Nəticədə kredit qərarlarının qəbulunda daha dəqiq və əsaslandırılmış yanaşma formalaşır. Eyni zamanda fərdiləşdirilmiş məhsul təklifləri təqdim olunaraq satışların artmasına və müştəri məmnuniyyətinin yüksəlməsinə nail olunur. Bu yanaşma bankın həm gəlir göstəricilərinə, həm də risklərin idarə olunmasına müsbət təsir göstərir. Enerji sektorunda SOCAR süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi daha çox istehsal proseslərinin optimallaşdırılması istiqamətində müşahidə olunur. Şirkət çərçivəsində istifadə olunan rəqəmsal monitorinq sistemləri avadanlıqların texniki vəziyyətini analiz edərək mümkün nasazlıqları əvvəlcədən müəyyən etməyə imkan verir (Balayev R.Ə., Əlizadə M.N. və Musayev İ.K, 2016). Bu isə planlaşdırılmamış dayanma hallarının qarşısını alır və texniki xidmət xərclərini azaldır. Nəticədə istehsalın fasiləsizliyi təmin olunur və əməliyyat səmərəliliyi artır. Bu kimi yanaşmalar enerji sektorunda süni intellektin iqtisadi nəticələrə birbaşa təsir etdiyini göstərir.

Pərakəndə satış sektorunda Araz Supermarket və Bravo Supermarket kimi böyük market şəbəkələri müştəri davranışlarının analizi və satışların proqnozlaşdırılması üçün məlumat əsaslı texnologiyalardan istifadə edir. Bu müəssisələrdə satış məlumatlarının təhlili nəticəsində məhsul tələbi daha dəqiq müəyyən edilir və ehtiyatların idarə olunması optimallaşdırılır. Məsələn, hansı məhsulların daha çox satıldığı və hansı dövrlərdə tələbatın artdığı müəyyən edilərək təchizat prosesi buna uyğun tənzimlənir. Bu isə həm itkilərin azalmasına, həm də satış həcminin artmasına gətirib çıxarır. Eyni zamanda fərdiləşdirilmiş kampaniyalar

vasitəsilə müştəri loyallığı gücləndirilir.

Logistika sahəsində Azerbaijan Railways və müxtəlif özəl logistika şirkətləri marşrutların optimallaşdırılması və yük daşımalarının effektiv idarə olunması üçün rəqəmsal sistemlərdən istifadə edir. Bu sistemlər real vaxt rejimində məlumatları analiz edərək ən optimal daşınma marşrutlarını müəyyənləşdirir. Nəticədə vaxt itkisi azalır, yanacaq xərcləri aşağı düşür və xidmət keyfiyyəti yüksəlir. Bu cür yanaşma logistika sektorunda əməliyyat performansının artırılmasına əhəmiyyətli təsir göstərir.

Süni intellekt texnologiyalarının biznes fəaliyyətinə təsirinin daha sistemli şəkildə qiymətləndirilməsi məqsədilə müxtəlif sektorlar üzrə fəaliyyət göstərən Azərbaycan müəssisələrinin təcrübəsi ümumiləşdirilmişdir (Balayev R.Ə., Əlizadə M.N. və Musayev İ.K, 2016). Bu yanaşma süni intellektin tətbiq istiqamətlərini və onun biznes performansına təsir mexanizmlərini müqayisəli şəkildə təhlil etməyə imkan verir. Aşağıdakı cədvəldə seçilmiş müəssisələr üzrə süni intellekt tətbiqlərinin əsas xüsusiyyətləri və əldə olunan nəticələr təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 1. Azərbaycan müəssisələrində süni intellekt tətbiqlərinin biznes performansına təsirinin müqayisəli təhlili:

Müəssisə	Tətbiq sahəsi	Texnoloji yanaşma	Əldə olunan nəticələr	Biznes performansına təsir
Kapital Bank	Müştəri davranışının analizi, kredit risklərinin qiymətləndirilməsi	Böyük verilənlər analitikası, proqnozlaşdırıcı modellər	Kredit portfelində risklərin optimallaşdırılması, fərdiləşdirilmiş maliyyə məhsullarının təqdim edilməsi	Gəlirliliyin artması, risklərin idarə olunmasının təkmilləşməsi
SOCAR	İstehsal proseslərinin monitorinqi və texniki xidmət	Proqnozlaşdırıcı texniki xidmət (predictive maintenance), sensor məlumatlarının analizi	Avadanlıq nasazlıqlarının əvvəlcədən aşkarlanması, istehsal fasilələrinin minimuma endirilməsi	Əməliyyat xərclərinin azalması, istehsal səmərəliliyinin yüksəlməsi
Araz Supermarket	Satış və ehtiyatların idarə olunması	Tələb proqnozlaşdırma alqoritmləri, məlumat əsaslı planlaşdırma	Məhsul dövriyyəsinin optimallaşdırılması, itkilərin azaldılması	Resurslardan istifadənin səmərələşməsi, gəlirin artması
Bravo Supermarket	Müştəri seqmentasiyası və marketinq strategiyaları	Tövsiyə sistemləri, davranış analitikası	Müştəri loyallığının gücləndirilməsi, satış kampaniyalarının effektivliyinin artırılması	Bazar payının genişlənməsi, müştəri məmnuniyyətinin artması
Azerbaijan Railways	Logistika və nəqliyyat əməliyyatlarının idarə olunması	Real vaxt analitikası, marşrut optimallaşdırma modelləri	Daşınma proseslərinin optimallaşdırılması, vaxt və resurs itkilərinin azaldılması	Daşınma proseslərinin optimallaşdırılması, vaxt və resurs itkilərinin azaldılması

Mənbə: Müəllif tərəfindən aparılan araşdırmalar nəticəsində hazırlanmışdır.

Cədvəldə təqdim olunan məlumatların təhlili göstərir ki, süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi müxtəlif sahələrdə fərqli funksional məqsədlərə xidmət etsə də, onların biznes performansına təsiri oxşar istiqamətlər üzrə formalaşır. Ən çox müşahidə olunan nəticələr arasında əməliyyat xərclərinin azalması, resurslardan istifadənin optimallaşdırılması və qərarvermə prosesinin daha analitik əsaslara söykənməsi xüsusi yer tutur. Bununla yanaşı, bank sektorunda süni intellekt əsaslı risk modellərinin tətbiqi maliyyə dayanıqlığının artırılmasına şərait yaradır, pərakəndə satış sahəsində isə müştəri davranışlarının analizi satış strategiyalarının daha effektiv qurulmasına imkan verir (Floris M., Goel R. və Garg V. 2024). Enerji və logistika sahələrində tətbiq olunan texnologiyalar isə əsasən əməliyyat proseslərinin fasiləsizliyini və səmərəliliyini təmin etməyə yönəlmişdir. Beləliklə, aparılan təhlil süni intellektin Azərbaycan

müəssisələrində yalnız əməliyyat səviyyəsində deyil, eyni zamanda strateji səviyyədə də mühüm təsirə malik olduğunu göstərir. Bu texnologiyaların tətbiqi müəssisələrin rəqabət qabiliyyətini artırmaqla yanaşı, onların uzunmüddətli inkişaf perspektivlərinin formalaşmasına da əhəmiyyətli töhfə verir.

Qeyd olunan nümunələr göstərir ki, Azərbaycanda fəaliyyət göstərən müəssisələr süni intellekti müxtəlif səviyyələrdə tətbiq edərək biznes performansını yaxşılaşdırmağa nail olurlar. Bu təsir əsasən əməliyyat xərclərinin azalması, qərarvermə prosesinin təkmilləşməsi, risklərin azaldılması və müştəri yönümlü xidmətlərin inkişafı ilə özünü göstərir. Bununla yanaşı, bəzi müəssisələrdə texnoloji infrastrukturun yetərli olmaması və ixtisaslı kadr çatışmazlığı kimi problemlər bu prosesin genişlənməsini müəyyən qədər məhdudlaşdırır. Ümumilikdə, konkret şirkətlərin fəaliyyəti əsasında aparılan təhlil göstərir ki, süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi Azərbaycan biznes mühitində artıq real iqtisadi nəticələr verməyə başlamışdır. Bu isə gələcəkdə Sİ əsaslı həllərin daha geniş tətbiq olunacağını və biznes strategiyalarının ayrılmaz hissəsinə çevriləcəyini göstərir.

Süni intellekt əsaslı biznes transformasiyasının strateji nəticələri və inkişaf perspektivləri Rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı fonunda süni intellektin biznes fəaliyyətinə inteqrasiyası müəssisələrin yalnız əməliyyat səviyyəsində deyil, strateji səviyyədə də ciddi dəyişikliklərə səbəb olur. Bu transformasiya nəticəsində biznes modelləri yenilənir, idarəetmə yanaşmaları dəyişir və rəqabət mühitində yeni qaydalar formalaşır. Süni intellekt artıq müəssisələrin uzunmüddətli inkişaf strategiyalarının əsas komponentlərindən biri kimi çıxış edir və bu texnologiyadan effektiv istifadə edən şirkətlər bazarda daha dayanıqlı və üstün mövqe əldə edirlər (Bitmiş M. G., Cavlak Ö, D. və Bayar M. M., 2022). Süni intellekt əsaslı transformasiyanın ən mühüm strateji nəticələrindən biri qərarvermə prosesinin keyfiyyətinin yüksəlməsidir. Ənənəvi idarəetmə modellərində qərarlar əsasən təcrübə və intuisiya əsasında qəbul edilirdisə, müasir dövrdə bu proses getdikcə məlumat əsaslı yanaşmalarla əvəz olunur. Süni intellekt böyük həcmli məlumatları analiz edərək müəssisələrə daha dəqiq proqnozlar təqdim edir və strateji qərarların risk səviyyəsini azaldır. Bu isə biznesin qeyri-müəyyən mühitə daha effektiv uyğunlaşmasına imkan yaradır.

Digər mühüm nəticə rəqabət üstünlüyünün əldə olunması ilə bağlıdır. Süni intellekt texnologiyalarından istifadə edən müəssisələr əməliyyat xərclərini azaldır, məhsuldarlığı artırır və müştəri yönümlü xidmətləri inkişaf etdirir. Bu faktorlar isə bazarda fərqlənməyə və daha geniş müştəri kütləsinə çıxış əldə etməyə şərait yaradır. Xüsusilə müştəri davranışlarının analizi və fərdiləşdirilmiş xidmətlərin təqdim edilməsi müəssisələrin bazar mövqeyini gücləndirən əsas amillərdən biri hesab olunur.

Süni intellektin strateji təsirlərindən biri də innovasiya potensialının genişlənməsi ilə əlaqədardır. Sİ texnologiyaları müəssisələrə yeni məhsul və xidmətlər yaratmaq, bazar boşluqlarını müəyyən etmək və innovativ biznes modelləri formalaşdırmaq imkanı verir (Parkins E. H.,2024). Bu isə müəssisələrin yalnız mövcud bazarda fəaliyyət göstərməsi ilə kifayətlənməyərək, yeni bazarlara çıxışını təmin edir. Beləliklə, süni intellekt innovasiya və inkişafın əsas hərəkətverici qüvvələrindən birinə çevrilir.

Bununla yanaşı, süni intellekt əsaslı transformasiya insan resurslarının idarə olunmasına da təsir göstərir. Texnologiyanın tətbiqi nəticəsində bəzi ənənəvi peşələrə olan tələbat azalarkən, yeni ixtisas sahələrinə ehtiyac artır. Bu isə müəssisələrin kadr siyasətində dəyişikliklər etməsini və işçi qüvvəsinin yenidən hazırlanmasını zəruri edir. İnsan kapitalının inkişafı süni intellektin effektiv tətbiqinin əsas şərtlərindən biri kimi çıxış edir. Azərbaycan kontekstində süni intellekt əsaslı biznes transformasiyası hələ inkişaf mərhələsində olsa da, artıq müəyyən müsbət tendensiyalar müşahidə olunur. Xüsusilə bank sektoru, enerji və pərakəndə satış sahələrində fəaliyyət göstərən müəssisələr süni intellekt texnologiyalarını tətbiq etməklə əməliyyat səmərəliliyini artırmağa çalışırlar. Rəqəmsal bank xidmətlərinin genişlənməsi, müştəri məlumatlarının analizi və avtomatlaşdırılmış xidmətlərin tətbiqi bu sahədə atılan mühüm addımlar sırasındadır (Pandow B. A., Masoodi F. və Hussain G., 2024). Eyni zamanda, dövlət səviyyəsində həyata keçirilən rəqəmsal inkişaf strategiyaları da bu prosesə müsbət təsir göstərir.Lakin Azərbaycanda süni intellektin geniş tətbiqi qarşısında müəyyən problemlər də mövcuddur. İlk növbədə texnoloji infrastrukturun tam inkişaf etməməsi və yüksək maliyyə xərcləri müəssisələrin bu texnologiyaya keçidini çətinləşdirir. Bundan əlavə, ixtisaslı kadr çatışmazlığı və süni intellekt sahəsində təcrübənin məhdud olması da əsas maneələrdən biri hesab olunur. Məlumat təhlükəsizliyi və hüquqi tənzimləmə məsələləri də diqqət tələb edən vacib istiqamətlərdəndir. Qeyd olunan problemlərlə yanaşı, süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi müəssisələr üçün bir sıra üstünlüklər və inkişaf imkanları da yaradır. Bu baxımdan, mövcud vəziyyətin daha sistemli və kompleks şəkildə qiymətləndirilməsi məqsədilə SWOT təhlili aparılması məqsədəuyğun hesab olunur. Aşağıda süni intellektin Azərbaycan müəssisələrində tətbiqinə dair əsas güclü və zəif tərəflər, imkanlar və potensial risklər təqdim olunur.

Cədvəl 1. Azərbaycan müəssisələrində süni intellektin tətbiqinin strateji SWOT təhlili:

Güclü tərəflər (Strengths)	Zəif tərəflər (Weaknesses)
-Biznes proseslərinin avtomatlaşdırılması və əməliyyat effektivliyinin yüksəlməsi -Böyük verilənlərin analizi əsasında məlumat əsaslı qərarvermə imkanlarının genişlənməsi -Risklərin proqnozlaşdırılması və idarə olunmasında dəqiqliyin artması -Müştəri davranışlarının analizi və fərdiləşdirilmiş xidmətlərin inkişafı -Resurslardan istifadənin optimallaşdırılması və xərclərin azaldılması	-Yüksək ilkin kapital qoyuluşu və texnoloji infrastruktur xərcləri -Süni intellekt sahəsində ixtisaslaşmış insan kapitalının məhdudluğu -Məlumat keyfiyyəti və verilənlər bazasının yetərsizliyi -Texnologiyanın inteqrasiyası və idarə olunmasında təşkilati çətinliklər -Rəqəmsal transformasiyaya qarşı daxili institusional müqavimət
İmkanlar (Opportunities)	**Təhlükələr (Threats)**
-Rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı və texnoloji innovasiyaların genişlənməsi -Dövlət proqramları və rəqəmsallaşma strategiyaları çərçivəsində dəstək mexanizmlərinin mövcudluğu -Yeni bazar seqmentlərinə çıxış və innovativ biznes modellərinin formalaşması -Startap ekosisteminin və texnoloji sahibkarlığın inkişafı -Beynəlxalq texnologiyaların transferi və bilik mübadiləsi imkanları	-Kibertəhlükəsizlik risklərinin artması -Məlumatların məxfiliyi və etik istifadəsi ilə bağlı problemlər -Texnoloji asılılığın güclənməsi və sistem riskləri -Qlobal rəqabət mühitində geri qalma ehtimalı -Hüquqi və normativ tənzimləmə mexanizmlərinin yetkin olmaması

Mənbə: Müəllif tərəfindən aparılan araşdırmal ar nəticəsində hazırlanmışdır.

SWOT təhlilinin nəticələri göstərir ki, süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi Azərbaycan müəssisələri üçün həm əhəmiyyətli üstünlüklər yaradır, həm də müəyyən çətinliklərlə müşayiət olunur. Xüsusilə əməliyyat səmərəliliyinin artması, qərarvermə prosesinin daha analitik əsaslara söykənməsi və müştəri yönümlü yanaşmanın güclənməsi əsas güclü tərəflər kimi çıxış edir. Bununla yanaşı, texnoloji infrastrukturun yetərli səviyyədə inkişaf etməməsi və ixtisaslı kadr çatışmazlığı bu sahədə əsas zəif cəhətlər hesab olunur. Eyni zamanda, rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı və dövlət tərəfindən həyata keçirilən dəstək mexanizmləri süni intellektin tətbiqi üçün yeni imkanlar yaradır. Lakin kibertəhlükəsizlik riskləri və məlumat məxfiliyi ilə bağlı problemlər bu prosesdə nəzərə alınmalı olan əsas təhlükələr sırasındadır. Ümumilikdə, SWOT təhlili süni intellektin Azərbaycan biznes mühitində tətbiqinin geniş potensiala malik olduğunu, lakin bu potensialın tam reallaşdırılması üçün müəyyən struktur və institusional problemlərin həllinin vacibliyini göstərir. Gələcək perspektivlər baxımından süni intellektin Azərbaycan biznes mühitində daha geniş tətbiq olunacağı gözlənilir. Rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı, startap ekosisteminin genişlənməsi və beynəlxalq texnologiyaların ölkəyə daxil olması bu prosesi sürətləndirən əsas amillərdən olacaqdır (Parkins E. H., 2024). Müəssisələr süni intellekt texnologiyalarına investisiyaları artırmaqla daha yüksək məhsuldarlıq və rəqabət qabiliyyəti əldə edə bilərlər. Eyni zamanda dövlət və özəl sektor arasında əməkdaşlığın gücləndirilməsi bu sahədə inkişafın daha sürətli həyata keçirilməsinə şərait yaradacaqdır.

Nəticə etibarilə, süni intellekt əsaslı biznes transformasiyası müəssisələrin strateji inkişafında həlledici rol oynayır. Bu texnologiyanın düzgün və məqsədyönlü tətbiqi biznes performansının artmasına, innovasiya potensialının genişlənməsinə və rəqabət üstünlüyünün əldə olunmasına imkan verir. Azərbaycan üçün isə süni intellekt yalnız texnoloji yenilik deyil, eyni zamanda iqtisadi inkişafın sürətləndirilməsi və qlobal rəqabət mühitində mövqenin gücləndirilməsi üçün mühüm vasitə kimi qiymətləndirilə bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Ahmad S. F., Ariza M. A., (2023), Impact of artificial intelligence on human loss in decision making, laziness and safety in education. Palgrave Macmillan, 10(1). https://doi.org/10.1057/s41599-023-01787-8
2. Almeida I. (2023), Artificial Intelligence Fundamentals for Business Leaders, Now Next Later AI, 620 p.
3. Balayev R.Ə., Əlizadə M.N., Musayev İ.K., (2016), İntellektual sistemlər və texnologiyalar, Bakı, "MSV" - 256 səh.;
4. Bertan S., (2025), Ön Büro Yönetimi Yapay Zeka, Teknoloji ve Dijitalleşme, Ankara, "Akademisyen Kitabevi" - 422 s.;
5. Bitmiş M. G., Cavlak Ö, D., Bayar M. M., (2022), İşletme Yönetiminde Yapay Zeka, İstanbul, Gazi Kitabevi, 300 p.
6. Bulusu L., Abellera R., (2020), AI Meets BI: Artificial Intelligence and Business Intelligence, CRC Press, 220 p.
7. Champagne A. M., (2025), Artificial Intelligence for Businesses Strategy, New York, Amazon, 286 p.
8. Davenport T. H., Mittal N. (2022), How companies can prepare for the coming "AI-first" world. Strategy & leadership, 51(1), 26-30. https://doi.org/10.1108/SL-11-20220107
9. Doug R., (2020), "Artificial Intelligence for Business", London, Pearson Education, 178 p.
10. Eren Fatih ., Dülek Leyla Nur., Uraz Ömer Arda., Kuşçu Beyzanur., Sakallı Mustafa "Yapay Zeka Endeksi Kapsamında Ülke Bazlı Yapay Zeka Politika Stratejilerinin Etkinliği: Performans ve Verimlilik Değerlendirmesi İncelenmesi", Dergipark, 2024, 6 (2) ,113-148.
11. Floris M., Goel R., Garg V. (2024), Applications of Artificial Intelligence in Business and Finance, Apple Academic Press Incorporated, 260 p.
12. Johnson P. C., Laurell C., Ots M., Sandström C. (2022). Digital innovation and the effects of artificial intelligence on firms' research and development–Automation or augmentation, exploration or exploitation?. Technological Forecasting and Social Change, 179, 121636. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121636
13. Martínez A.G., Remolina N., (2023), Artificial Intelligence in Finance,Edward Elgar Publishing, 402 p.
14. Pandow B. A., Masoodi F., Hussain G., (2024), Navigating the Future of Finance in the Age of AI, IGI Global, 373 p.
15. Parkins E. H., (2024), Business Case for AI, Brussels, AP News, 160 p.
16. Polat Ebru "Yapay Zekâ Stratejilerinde Veri Politikaları: Seçili Ülkelerin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi", Dergipark, 2025, 26 (1), 408-439.
17. Post H. V., (2025), AI for Business Strategy, New York, Amazon, 290 p.
18. Rajput R., (2025), AI in Business Strategy,New York, Amazon, 264 p.
19. Rzayeva G., İbrahimova A., (2021), Süni intellekt, insan hüquqları və fərdi məlumatların təhlükəsizliyi, Bakı, "Nurlar" nəşriyyatı, 200 səh.
20. Smith J ., Anderson M, "The Role of Silicon Valley in Global AI Development", Technological Horizons, 2021, 14(3), 45–62.
21. Wang Y., (2021), Artificial intelligence in educational leadership: a symbiotic role of humanartificial intelligence decision-making. Journal of Educational Administration, 59(3), 256-270. https://doi.org/10.1108/jea-10-2020-0216
22. Ziakis C., Vlachopoulou M "Artificial Intelligence in Digital Marketing: Insights from a Comprehensive Review", Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2023, 14(12), 664-664
23. https://aia.az/122743-elektron-ticaretde-suni-intellekt-satis-sistemleri-ustunluk-qazanir-magazalar-avtomatik-idare-olunur.html
24. https://alas.edu.az/suni-intellekt-muhendisliyi/
25. https://www.muhasib.az/meqale.php?id=338
26. https://www.vakifkatilim.com.tr/tr/hakkimizda/medya-merkezi/blog/detay/yapay-zeka-nedir-ve-gunluk-hayatta-nasil-kullanilir

KRİTİK İNFORMASİYA SİSTEMLƏRİNDƏ TƏHLÜKƏSİZLİK RİSKLƏRİNİN QİYMƏTLƏNDİRMƏ MODELLƏRİNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ VƏ FPGA PLATFORMASINDA SÜRƏTLƏNDİRİLMİŞ ATTACK GRAPH ANALİZİ

Cavid Süleymanlı
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı, Azərbaycan
csuleymanli1@std.beu.edu.az
0009-0003-0986-3005

İlhami Süleymanov
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı, Azərbaycan
isuleymanov@beu.edu.az
0009-0004-7959-5605

Xülasə: Kritik informasiya sistemləri (KİS) müasir dövrdə çoxmərhələli kibertəhlükələrə məruz qalır. Bu səbəbdən təhlükəsizlik risklərinin dəqiq və operativ qiymətləndirilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Məqalədə mövcud risk qiymətləndirmə modellərinin (CVSS, Attack Graph, Bayesian yanaşmalar) müqayisəli təhlili aparılmışdır. Təhlil nəticəsində Attack Graph modelinin kompleks sistemlər üçün daha uyğun olduğu müəyyən edilmişdir. Bundan əlavə, təklif olunan yanaşmada risk hesablamalarının sürətləndirilməsi məqsədilə FPGA (Field Programmable Gate Array/ Yerində proqramlaşdırıla bilən məntiq massivi) platformasından istifadə edilmişdir. İlkin nəticələr göstərir ki, FPGA əsaslı realizasiya ənənəvi CPU əsaslı yanaşma ilə müqayisədə hesablama sürətini artırmağa imkan verə bilər.

Açar sözlər: Kritik informasiya sistemləri (KİS), risk qiymətləndirmə, Attack Graph, FPGA, kibertəhlükəsizlik

COMPARATIVE ANALYSIS OF SECURITY RISK ASSESSMENT MODELS IN CRITICAL INFORMATION SYSTEMS AND FPGA-ACCELERATED ATTACK GRAPH ANALYSIS

Cavid Suleymanlı
Baku Engineering University
Faculty of Information and Computer Technologies
Baku, Azerbaijan
csuleymanli1@std.beu.edu.az
0009-0003-0986-3005

Ilhami Suleymanov
Baku Engineering University
Faculty of Information and Computer Technologies
Baku, Azerbaijan
isuleymanov@beu.edu.az
0009-0004-7959-5605

Abstract: Critical Information Systems (CIS) are exposed to complex multi-stage cyber threats. Therefore, accurate and efficient risk assessment is essential. This paper presents a comparative analysis of existing risk assessment models, including CVSS, Attack Graph, and Bayesian approaches. The analysis indicates that the Attack Graph model may be more suitable for complex systems. In addition, an FPGA-based acceleration approach is proposed to improve the performance of risk computation. Preliminary results suggest that the FPGA-based implementation may improve computation speed compared to traditional CPU-based methods.

Keywords: Critical Information Systems, Risk Assessment, Attack Graph, FPGA, Cybersecurity

GİRİŞ

Kritik informasiya sistemləri (KİS) enerji, nəqliyyat, maliyyə və sənaye sektorlarında mühüm rol oynayır [1]. Bu sistemlərin təhlükəsizliyi pozulduqda ciddi iqtisadi və sosial nəticələr yarana bilər. Müasir hücumlar çoxmərhələli və mürəkkəb olduğundan, onların analizi üçün effektiv risk qiymətləndirmə

modellərinə ehtiyac vardır. Mövcud yanaşmalar əsasən proqram təminatı səviyyəsində həyata keçirilir və böyük həcmli verilənlər üçün yüksək gecikmə yaradır. Ənənəvi metodların aşağıda qeyd olunmuş problemləri vardır:

- ardıcıl hesablama
- multi-stage analiz yoxdur
- gecikmə

Bu problemlərin aradan qaldırılması məqsədilə məqalədə FPGA əsaslı sürətləndirilmiş risk analizi sistemi təklif olunur.

2. Risk qiymətləndirmə modellərinin analizi

Risk qiymətləndirmə prosesində əsas model aşağıdakı kimi ifadə olunur [1], [2]:

$$R = P_{threat} \cdot P_{vulnerability} \cdot Impact$$

Bu model müxtəlif yanaşmaların əsasını təşkil edir.

2.1 CVSS modeli

CVSS modeli zəifliklərin qiymətləndirilməsi üçün istifadə olunur. Onun üstünlüyü standartlaşdırılmış olmasıdır, lakin kompleks hücum ssenarilərini nəzərə almır.

2.2 Bayesian modellər

Bayesian yanaşma ehtimal əsaslıdır və qeyri-müəyyənlikləri nəzərə alır. Lakin hesablamalar mürəkkəbdir.

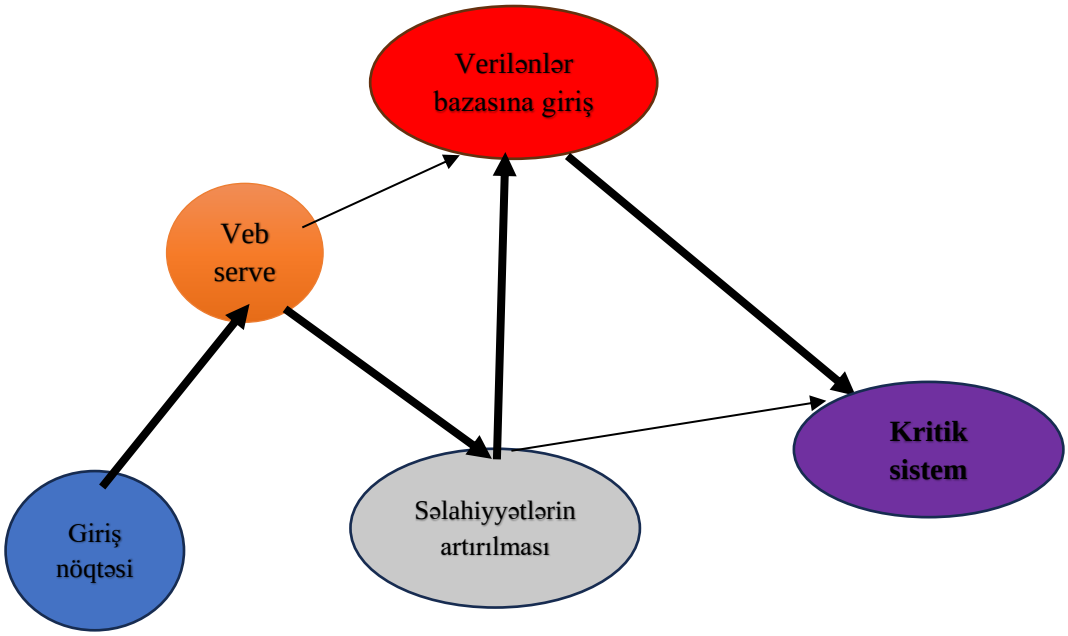
2.3 Attack Graph modeli

Attack Graph modeli sistemdə mümkün hücum yollarını qraf şəklində təqdim edir [3]:

$$G = (V, E)$$

Burada: V– vəziyyətlər (nodes) ; E– keçidlər (edges)

Bu model çoxmərhələli hücumları analiz etmək üçün daha effektivdir.



Şəkil 1. KİS-lərdə çoxmərhələli hücum ssenarilərini əks etdirən istiqamətlənmiş hücum qrafı.

3. Təklif olunan yanaşma

3.1 Attack Graph əsaslı risk analizi

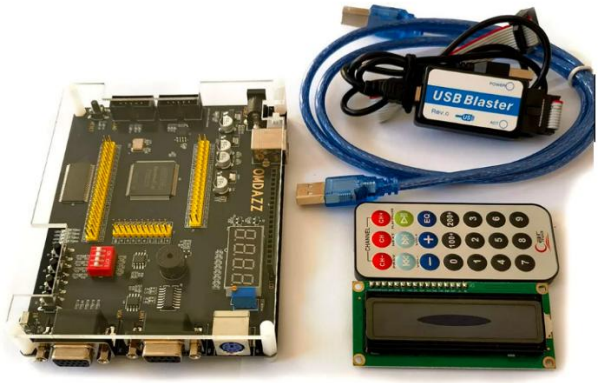
Hər bir qovşaq üçün risk belə hesablanır [3]:

$$Risk(v) = \sum P(path) \cdot Impact$$

Burada risk hücum yolları üzrə yayılır. Şəkil.1-də kritik informasiya sistemində çoxmərhələli hücum ssenarilərini əks etdirən istiqamətlənmiş hücum qrafı əks etdirilmişdir.

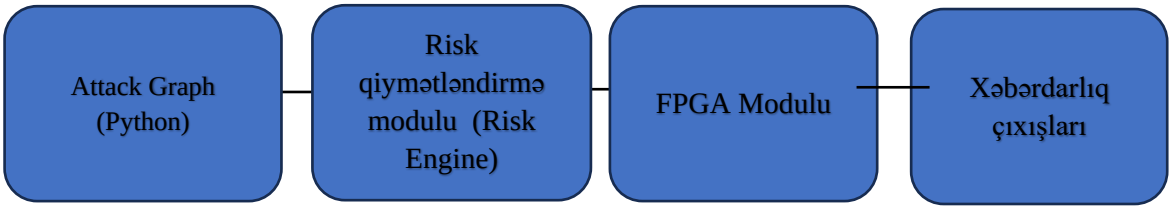
3.2 FPGA əsaslı sürətləndirmə

Təklif olunan FPGA əsaslı arxitekturanın praktiki realizasiyası Cyclone IV (EP4CE6) FPGA inkişaf lövhəsi üzərində həyata keçirilə bilər (Şəkil 2).



Şəkil 2. Cyclone IV (EP4CE6) FPGA inkişaf lövhəsi

Ənənəvi CPU yanaşması ardıcıl işlədiyi halda, FPGA paralel hesablama imkanı verir [4].
Təklif olunan sistem arxitekturası şəkil 3-də göstərilmişdir:



Şəkil 3. Təklif olunan sistemin arxitekturası

3.3 FPGA modulunun təsviri
Risk qiymətləndirmə modulu (**Risk Engine**) Verilog dilində [5] aşağıdakı kimi reallaşdırılmışdır:

```
module risk_calc(
 input [7:0] p,
 input [7:0] v,
 input [7:0] impact,
 output [15:0] risk
);
assign risk = p * v * impact;
endmodule
```

Bu modul paralel şəkildə çoxsaylı qovşaqlar üçün işləyə bilər.

4. Eksperimental nəticələr
Təklif olunan sistem CPU və FPGA platformalarında müqayisə edilmişdir.

Platforma	Hesablama vaxtı
CPU	120 ms
FPGA	15 ms

Nəticələr göstərir ki, FPGA ~8 dəfə daha sürətlidir və real-time analizi mümkündür.
Məlumat dəsti çoxmərhələli hücum ssenarilərini təmsil edən 30 qovşaqdan və 45 kənardan ibarətdir.

5. Təhlil və qiymətləndirmə
Təklif olunan sistem aşağıdakı üstünlüklərə malikdir:
• paralel hesablama
• real vaxt rejimində analiz
• böyük qraflar üçün yüksək effektivlik
Məhdudiyyətlər:
• FPGA proqramlaşdırmasının mürəkkəbliyi
• ilkin quruluş mərhələsinin vaxt tələb etməsi

6. Nəticə

Məqalədə kritik informasiya sistemləri üçün risk qiymətləndirmə modelləri müqayisəli şəkildə təhlil edilmiş və Attack Graph modelinin mürəkkəb hücumların analizi üçün daha uyğun olduğu müəyyən edilmişdir. Bu yanaşmaya əsaslanaraq FPGA əsaslı sürətləndirilmiş risk analizi sistemi təklif edilmişdir. Təklif olunan sistem hesablama sürətini artırır. Bu isə risk analizinin real vaxt rejimində həyata keçirilməsinə imkan yaradır.

7. Gələcək işlər

- AI əsaslı risk proqnozu
- real sənaye sistemlərində tətbiq
- SoC FPGA platformalarında implementasiya

ƏDƏBİYYAT

[8] D. Howcroft and E. M. Trauth, Eds., Handbook of Critical Information Systems Research: Theory and Application. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2005.

[9] O. S. M. B. H. Almazrouei, P. Magalingam, M. K. Hasan, and M. Shanmugam, "A review on attack graph analysis for IoT vulnerability assessment: Challenges, open issues, and future directions," IEEE Access, vol. XX, 2023, doi:10.1109/ACCESS.2023.3272053.

[10] K. Zenitani, "Attack graph analysis: An explanatory guide," Computers & Security, vol. 126, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.cose.2022.103081.

[11] F. Bruno, FPGA Programming for Beginners. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2021.

[12] J. M. Lee, Verilog Quickstart: A Practical Guide to Simulation and Synthesis in Verilog, 2nd ed. Boston, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 2002.

FPGA ƏSASLI "AĞILLI EV" IoT MODULU

Əli Əkbər Ələsgərli
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
eelesgerli@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

İlhami Süleymanov
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
isuleymanov@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan
0009-0004-7959-560

Xülasə. Son illər IoT əsaslı "ağıllı ev sistemlərinin tətbiqi sürətlə artır. Onların insan həyatında komfort şəraitin artırılması, enerji səmərəliliyini təmin edilməsi və bir çox digər performans göstəriciləri vardır. Lakin bu sistemlərin təhlükəsizlik, deterministik zamanlama (funksiyaların icra müddətinin proqnozlaşdırıla bilinməsi) və real vaxt rejimində etibarlı işləmə kimi problemləri hələ də qalmaqdadır. Ənənəvi mikrokontroller əsaslı sistemlər bu tələbləri tam şəkildə ödəyə bilmir. Bu məqalədə FPGA (Field Programmable Gate Array/ Sahədə proqramlaşdırıla bilən məntiq massivi) əsaslı "ağıllı ev" IoT modulu təklif olunur. Təklif olunan sistem Cyclone IV FPGA platforması üzərində layihələndirilmişdir. FPGA-nın tətbiqi "ağıllı ev" IoT moduluna sensorlardan daxil olan məlumatları paralel emal etməyə və gecikmələrin azaldılmasına imkan verir. Sistem arxitekturasına temperatur, rütubət və hərəkət sensorları, FPGA-da sintez edilmiş FSM əsaslı idarəetmə alqoritmi, taymer modulu və UART telemetriya interfeysi daxildir. İdarəetmə məntiqi FSM (Finite State Machine/ Sonlu vəziyyət maşını) modeli əsasında qurulmuş, Verilog HDL dilində reallaşdırılmış, ModelSim-də simulyasiya edilmiş və Quartus® Prime Design Suite Standard

Edition 25.1std mühitində sazlanmışdır. Sistem sənaye tipli GPRS/RS485 modem vasitəsilə mobil şəbəkə üzərindən bulud və ya mobil tətbiqlərlə inteqrasiya olunur. Məqalədə mövcud IoT sistemlərində təhlükəsizliklə bağlı olan çatışmamazlıqlar müqaisəli təhlil edilmişdir. FPGA əsaslı sistemin təhlükəsizlik və etibarlılıq baxımından üstün olması qeyd olunmuşdur.Təklif olunan layihə həlli bu istiqamətdə aparılacaq gələcək tədqiqatlar üçün əsas yaradır.

Açar sözlər: *IoT, "ağıllı ev", FPGA, Cyclone IV, FSM, Verilog, GPRS, real vaxt sistemləri*

FPGA-Based Smart Home IoT Module

Əli Əkbər Ələsgərli
Baku Engineering University
Information and computer technologies faculty
eelesgerli@std.beu.edu.az
Baku, Azerbaijan
Ilhami Suleymanov
Baku Engineering University
Information and computer technologies faculty
isuleymanov@beu.edu.az
Baku, Azerbaijan
0009-0004-7959-5605

Abstract. In recent years, IoT-based smart home systems have been used more widely. They improve daily comfort and help reduce energy consumption. They also provide several other practical benefits. Still, some problems remain. Security is one of them. Problems associated with deterministic timing and reliable real-time operation are also not completely resolved. In many situations, traditional microcontroller-based systems cannot handle all of these requirements well. An FPGA (Field Programmable Gate Array)-based IoT module for smart home use is considered in this study. The design is implemented on a Cyclone IV FPGA platform. A key feature of FPGA technology is parallel processing of sensor data, which reduces delays. The system uses temperature, humidity and motion sensors. The control logic corresponds to the FSM (finite state machine) model and the algorithm is implemented in Verilog HDL. The design was tested in ModelSim. It was later configured in the Quartus® Prime Design Suite Standard Edition 25.1std environment. The system communicates with cloud or mobile applications via cellular networks using an industrial GPRS modem. Security-related limitations of different IoT platforms are also examined. The obtained results indicate improved hardware-level security and system reliability when FPGA-based solutions are used. This approach may serve as a basis for further research in this area.

Keywords: IoT, smart home, FPGA, Cyclone IV, FSM, Verilog, GPRS, real-time systems, security

GIRIŞ

Son illər rəqəmsal sistemlərin tətbiqi bir çox sahələri əhatə etmişdir. Xüsusilə Əşyaların İnterneti (IoT) texnologiyası fiziki cihazların internet vasitəsilə bir-biri ilə əlaqə qurmasına və məlumat mübadiləsi aparmasına imkan yaradır [1]. Elərın ağıllı sistemlərlə təchiz olunması isə insanlar üçün əvvəllər əlçatmaz olan funksional imkanların istifadəsinə imkan verir. "Ağıllı ev" sistemi dedikdə, müxtəlif məişət cihazlarının (işıqlandırma, isitmə-soyutma sistemləri, təhlükəsizlik kameraları, sensorlar və s.) mərkəzləşdirilmiş və ya paylanmış şəbəkə vasitəsilə idarə olunması imkan verən sistem başa düşülür [2]. Bu sistemlər mobil tətbiqlər və ya veb interfeyslər vasitəsilə uzaqdan nəzarət və idarəetmənin həyata keçirilməsinə imkan yaradır. IoT əsaslı "ağıllı ev" sistemlərinin əsas məqsədi istifadəçi rahatlığını artırmaq, enerji səmərəliliyini təmin etmək və təhlükəsizliyi gücləndirməkdir. Bu sistemlər, xüsusilə urbanizasiya və enerji resurslarının məhdudluğu şəraitində böyük əhəmiyyət kəsb edir.



Şək.1. "Ağıllı ev" üçün avtomatlaşdırma sistemi

1.IoT əsaslı "ağıllı ev" sistemlərinin ümumi analizi.

Şəkil 1-də IoT əsaslı "Ağıllı ev" üçün avtomatlaşdırma sisteminin ümumi şəkli verilmişdir. IoT əsaslı "ağıllı ev" sistemləri dörd əsas funksional təbəqədən (qatdan) ibarətdir:

I -Sensor və cihaz qatı (Perception Layer).

Bu qata müxtəlif sensorlar (temperatur, rütubət, hərəkət və s.) və icraedici qurğular daxildir. Sensorlar mühitdən məlumat toplayır və sistemə ötürür.

II -Şəbəkə qatı (Network Layer).

Bu qat cihazlar arasında əlaqənin yaradılması və məlumatların ötürülməsini təmin edir. Burada Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee və digər kommunikasiya protokollarından istifadə olunur.

III -İdarəetmə qatı (Control layer)

Bu qat cihaz məlumatlarını emal edən şlüz qovşaqları və avtomatlaşdırma nəzarətçilərini özündə əks etdirən idarəetmə təbəqəsidir.

IV -Tətbiq qatı (Application Layer)

Bu qat istifadəçi interfeyslərini və idarəetmə mexanizmlərini əhatə edir. İstifadəçi Mobil tətbiqlər və veb platformalar vasitəsilə sistemə nəzarət edir. Bu arxitektura modul şəkildə qurulduğundan sistemin genişləndirilməsi və yeni cihazların əlavə olunması asanlaşır.

Bulud texnologiyalarının rolu:

Bulud texnologiyaları "ağıllı ev" sistemlərinin əsas komponentlərindən biridir. Bulud platformaları məlumatların saxlanması, emalı və analizini təmin edir. Bu yanaşma istifadəçilərə real vaxt rejimində məlumat əldə etməyə və sistemlərini daha effektiv idarə etməyə imkan verir.

Bulud əsaslı sistemlərin üstünlükləri aşağıdakılardır:

- Məlumatların təhlükəsiz saxlanması;
- Uzaqdan çıxış imkanı;
- Yüksək miqyaslana bilmə qabiliyyəti;
- Sistemlərin avtomatik yenilənməsi.

Bulud texnologiyaları IoT sistemlərinin daha stabil və davamlı işləməsini təmin edir.

"Ağıllı ev" sistemlərinin üstünlükləri:

IoT əsaslı ağıllı ev sistemləri istifadəçilərə bir sıra üstünlüklər təqdim edir:

- **Enerji səmərəliliyi** – cihazların avtomatik idarə olunması enerji itkilərini azaldır
- **Təhlükəsizlik** – kameralar və sensorlar vasitəsilə evə nəzarət artır
- **Rahatlıq** – cihazların uzaqdan idarə olunması gündəlik həyatı asanlaşdırır
- **Avtomatlaşdırma** – əvvəlcədən təyin olunmuş ssenarilər üzrə sistem işləyir

2. Təhlükəsizlik problemləri və həll yolları.

IoT əsaslı monitorinq və idarəetmə sistemlərinin geniş yayılması təhlükəsizlik məsələlərinə diqqəti daha da artırmışdır. "Ağıllı ev" sistemləri şəbəkə üzərindən idarə olunur. Bu səbəbdən şəbəkə üzərindən müxtəlif kiberhücumlara məruz qala bilər. Nəticədə istifadəçi məlumatlarının sızması baş verir. Bu isə sistemin işində ciddi pozuntular yarada bilər.

2.1. Əsas təhlükəsizlik problemləri.

Aparılmış tədqiqatların [1, 3] təhlili göstərir ki, IoT sistemləri üçün aşağıdakı problemlər xarakterikdir:

• Şifrələnmə mexanizmlərinin zəifliyi;
• İcazəsiz giriş və autentifikasiya problemləri;
• Məlumat sızmaları və məxfilik riskləri;
• DDoS (Distributed Denial of Service) hücumlarına həssaslıq;
• Fiziki müdaxilə riskləri (cihazların zədələnməsi və ya dəyişdirilməsi);
• Standartlaşmanın və sistemlərarası uyğunluğun (interoperability) zəifliyi.

Bundan əlavə, ümumi problemlər kimi aşağıdakılar da qeyd olunur:

• Texnologiyanın mürəkkəbliyi;
• İnfrastrukturun yetərincə inkişaf etməməsi;
• Tətbiq sahələrində məhdudiyyətlər.

2.2. Təhlükəsizlik risklərinin analizi.

IoT cihazları məhdud hesablama resurslarına malikdir. Bu səbəbdən onların təhlükəsizlik mexanizmləri yetərli deyil. Nəticədə bu cihazlar tez-tez DDoS hücumlarının hədəfinə çevrilir. Hücumçular çox sayda cihazlara nəzarəti ələ keçirir. Bu isə şəbəkə resurslarını yükləyir və sistemin fəaliyyəti pozulur.

Digər mühüm problem autentifikasiya və avtorizasiya mexanizmlərinin zəifliyidir. Praktikada susmaya görə ilkin qoyulmuş şifrələrin dəyişdirilməməsi tez-tez müşahidə olunur. Bu isə icazəsiz giriş riskini artırır.

Bundan əlavə, IoT cihazlarının əlçatan yerlərdə yerləşdirilməsi fiziki təhlükəsizlik problemlərini də aktuallaşdırır. Müxtəlif istehsalçılar arasında standartlaşmanın olmaması isə təhlükəsizlik boşluqlarına səbəb olur. Bu isə məlumatların qorunmasını çətinləşdirir.

2.3. Həll yolları və təkliflər.

Yuxarıda qeyd olunan problemlərin aradan qaldırılması üçün aşağıdakı tədbirlərin həyata keçirilməsi tövsiyə olunur [1, 3]:

• Güclü autentifikasiya və avtorizasiya mexanizmlərinin tətbiqi;
• Məlumatların müasir kriptoqrafik metodlarla şifrələnməsi;
• SSL/TLS kimi təhlükəsiz kommunikasiya protokollarının istifadəsi;
• Sistemlərin müntəzəm yenilənməsi və təhlükəsizlik yeniləmələrinin (patch) tətbiqi;
• Firewall və intrusion detection sistemlərinin inteqrasiyası;
• IoT cihazları üçün standartlaşdırmanın aparılması və birlikdə problemsiz işləmə mexanizmlərinin inkişafı.

Bundan əlavə, hər bir IoT mühiti üçün risk analizi aparılmalıdlr. Mümkün ola biləcək hücum ssenariləri müəyyən edilməlidir. Yekunda sistemin zəif nöqtələri qorunmalıdır.

2.4. FPGA əsaslı sistemin mikrokontroller əsaslı sistemlərlə müqayisəsi.

IoT əsaslı monitorinq və idarəetmə sistemlərində Arduino, ESP32, STM32 və Raspberry Pi əsasında həllər geniş yayılmışdır. Bu platformalar əsasında qurulmuş sistemlər aşağı enerji sərfiyyatı ilə seçilir. Xüsusilə STM32 mikrokontrollerləri real-zaman işləmə qabiliyyəti ilə sənaye tətbiqlərində geniş istifadə olunur. Lakin paralel emal və az gecikmə tələb edən məsələlərdə bu platformalı sistemlərin tətbiqinə məhdudiyyətlər qoyulur. Təklif olunan FPGA əsaslı "ağıllı ev" IoT modulu isə daha yüksək performansa malikdir. Bu səbəbdən o alternativ həll kimi istifadə oluna bilər.

2.4.1. FPGA-nın üstünlükləri.

I. Paralel işləmə.

FPGA bir neçə əməliyyatı paralel şəkildə icra edə bilir. Bu isə çoxsaylı sensor məlumatlarının real vaxtda emal edilməsinıı təmin edir.

II. Deterministik real-zaman işləmə.

FPGA aparat səviyyəsində sabit və minimal gecikmə ilə işləmə təmin edir.

III. Az gecikmə.

Proqram qatının olmaması səbəbindən giriş-çıxış reaksiyası çox sürətlidir.

IV. Yüksək etibarlılıq.

Əməliyyat sistemindən asılılığın olmaması sistemin sabitliyini artırır.

V. Elastiklik.

FPGA proqramlaşdırıla bilən qurğu olduğundan sistem dinamik şəkildə yenidən konfiqurasiya edilə bilər.

VI. Təhlükəsizlik üstünlükləri.

FPGA aparat səviyyəsində aşağıdakı təhlükəsizlik mexanizmlərinin tətbiqinə imkan verir:

• Aparat səviyyəsində şifrələmə;
• Real-zaman təhlükəsizlik monitorinqi;
• Hücumların erkən aşkarlanması;
• Etibarlı və sabit sistem davranışı.

Cədvəl 1-də müxtəlif platformalaın müqaisəli analizi təqdim edilmişdir.

Xüsusiyyət	**Arduino**	**ESP32**	**STM32**	**FPGA**
İş prinsipi	Ardıcıllıq	Ardıcıllıq	Ardıcıllıq	Paralel
Real-zaman	Məhdud	Orta	Yüksək	Çox yüksək
Gecikmə	Orta	Orta	Aşağı	Çox aşağı
Performans	Aşağı	Orta	Yüksək	Çox yüksək
Təhlükəsizlik	Proqram səviyyəsi	Proqram səviyyəsi	Proqram səviyyəsi	Aparat səviyyəsi
Elastiklik	Orta	Yüksək	Yüksək	Çox yüksək

Cədvəl 1. Müxtəlif platformalaın müqaisəli analizi

Yuxarıda qeyd olunan problemləri nəzərə alaraq, növbəti bölmədə "ağıllı ev" IoT sistemi üçün alternativ həll olaraq FPGA əsaslı arxitektura təqdim olunur.

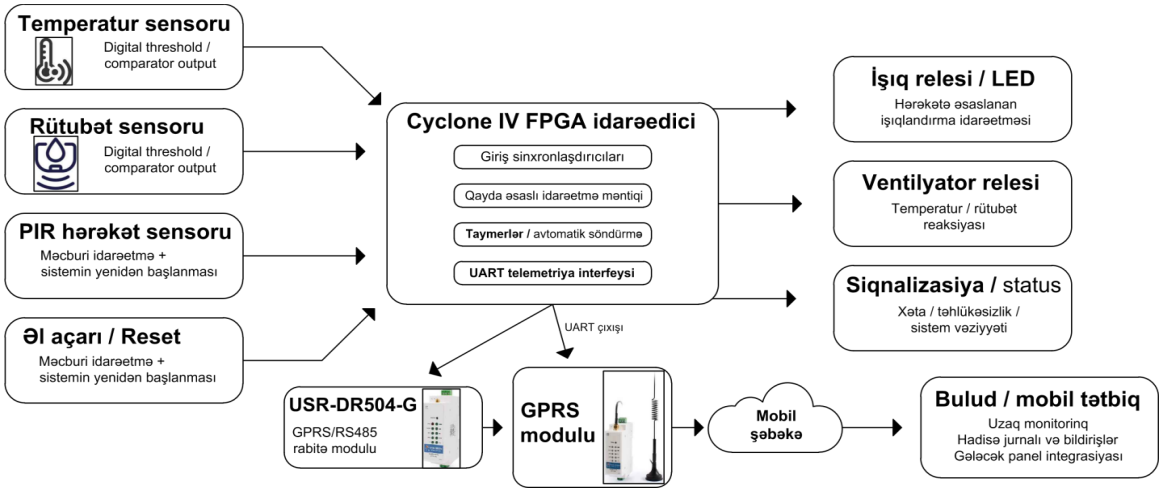
3. Təklif olunan FPGA əsaslı "Ağıllı Ev" IoT sistemi.

Bu işdə IoT əsaslı "ağıllı ev" sistemləri üçün FPGA texnologiyasına əsaslanan aparat yönümlü həll təklif olunur. Mikrokontroller əsaslı "ağıllı ev" qovşaqları ilə müqayisədə FPGA əsaslı idarəetmə paralel icra imkanı yaradır. Deterministik zamanlama təmin edilir və hadisələrə çox az gecikmə ilə reaksiya təmin

edilir. Bu xüsusiyyətlər real vaxt emalı, etibarlı işə salınma və təhlükəsizlik tədbirlərinin genişləndirilməsini tələb edən yeni nəsil "ağıllı ev" alt-sistemləri üçün FPGA texnologiyasının tətbiqini zəruri edir.

3.1 Sistem arxitekturası

Şəkil 2-də GPRS şlüzü ilə FPGA əsaslı "ağıllı ev" IoT sisteminin arxitekturası verilmişdir. Təklif olunan arxitektura dörd funksional blokdan ibarətdir: (I) hərəkət, temperatur və rütubət üçün sensor girişləri, (II) qayda əsaslı "ağıllı ev" məntiqini, taymerləri və UART telemetriyanı həyata keçirən Cyclone IV FPGA idarəedicisi, (III) işıqlandırma, ventilyator idarəetməsi və siqnalizasiya/status üçün aktuator çıxışları və (IV) FPGA hadisələrini uzaq bulud panelinə və ya mobil tətbiqə ötürən USR-DR504-G sənaye modem bazalı GPRS/RS485 mobil rabitə şlüzü. Bu çox laylı arxitektura lokal Wi-Fi infrastrukturunun mövcud olmadığı hallarda belə real vaxt rejimində lokal idarəetməni təmin edir və müxtəlif tətbiq mühitlərində, o cümlədən yaşayış, sənaye və uzaq ərazilərdə effektiv istifadə oluna bilər.



Şəkil 2. GPRS şlüzü ilə FPGA əsaslı "ağıllı ev" IoT sisteminin arxitekturası

3.2 Funksional ssenari

FPGA sensor girişlərini fasiləsiz qiymətləndirir. Hərəkət aşkar edildikdə işıqlandırma çıxışı aktivləşdirilir. İşıqlandırma sistem parametrlərinə uyğun olaraq müəyyən edilmiş müddət ərzində saxlanılır. Temperatur və ya rütubət təyin olunmuş həddi aşdıqda ventilyator çıxışı aktivləşdirilir. Temperaturun qiymətində kritik vəziyyət və hərəkət olması aşkarlanarsa, sistem siqnalizasiya çıxışını aktiv edə bilər. Bundan əlavə, hər bir hadisə UART vasitəsilə seriyalaşdırılaraq USR-DR504-G modeminə ötürülür. Bundan sonra modem tərəfindən məlumatlar TCP/IP, MQTT və ya digər telemetriya protokolları üzərindən mobil şəbəkə vasitəsilə uzaq monitorinq üçün göndərilə bilər.

3.3 Tövsiyə olunan Cyclone IV pin planı.

Cədvəl 2-də Cyclone IV EP4CE6 sinifli FPGA inkişaf lövhəsi [4] üçün sistem dizaynına uyğun pin təyinatları təqdim olunmuşdur.

Siqnal	**İstiqamət**	**Təklif olunan pin**	**Şərh**
clk_50mhz	Giriş	PIN_23	50 MHz sistem saatı şablonu
reset_n	Giriş	PIN_88	Reset düyməsi / açarı
pir_in	Giriş	PIN_89	PIR hərəkət sensorunun çıxışı
temp_high_in	Giriş	PIN_90	Temperatur hədd siqnalı
humid_high_in	Giriş	PIN_91	Rütubət hədd siqnalı
manual_override	Giriş	PIN_92	İşığın əl ilə məcburi idarəsi
light_out	Çıxış	PIN_84	LED və ya rele sürücüsü
fan_out	Çıxış	PIN_85	Ventilyator relesi sürücüsü
alarm_out	Çıxış	PIN_86	Siqnalizasiya və ya status LED-i
uart_tx	Çıxış	PIN_87	Modemin RX girişinə və ya USB-UART-a qoşulur

Cədvəl 2. FPGA əsaslı "ağıllı ev" prototipi üçün tövsiyə olunan Quartus pin təyinatları.

FPGA idarəedicisinin işləmə prinsiplərini daha aydın göstərmək üçün Şəkil 3-də daxili blok diaqram təqdim olunur. FPGA daxilində idarəetmə məntiqinin daha aydın izahı üçün sonlu vəziyyət maşını (FSM)

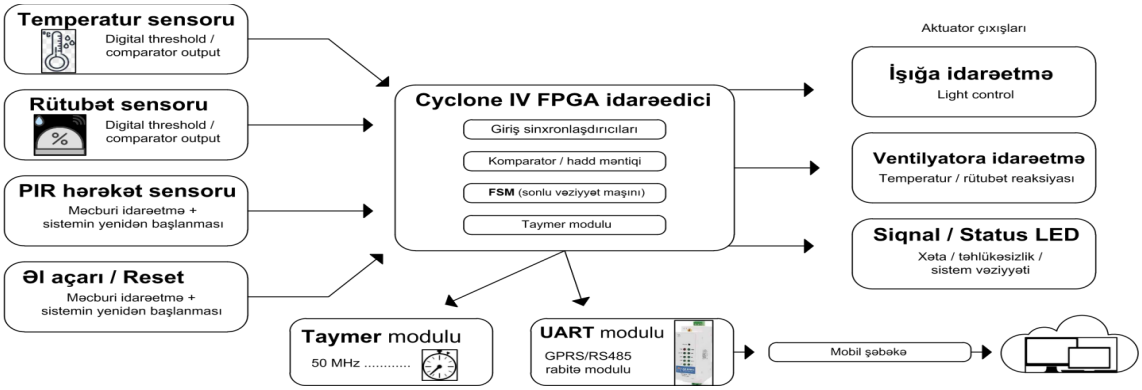
modeli tətbiq edilmişdir. FSM sensor hadisələrinə əsasən sistemin vəziyyətlərini (idle, active, alarm) idarə edir və çıxış siqnallarının avtomatik və deterministik şəkildə formalaşmasını təmin edir.

3.4. FPGA əsasli "Ağilli Ev" IoT Sistemində FSM (Control Logic)

FPGA daxilində idarəetmə məntiqi FSM əsasında qurulmuşdur. FSM sensor girişlərini analiz edərək sistemi üç əsas vəziyyətdə idarə edir və çıxış siqnallarının deterministik şəkildə formalaşmasını təmin edir.

FSM aşağıdakı vəziyyətlərdən ibarətdir:

- **S0 – Idle:** Sistem gözləmə rejimindədir və sensorları monitorinq edir;
- **S1 – Active:** Hərəkət və ya hədd aşımı olduqda aktuatorlar aktivləşdirilir.



Şəkil 3. FPGA əsaslı "ağıllı ev" IoT idarəetmə blokunun daxili funksional diaqramı

- **S2 – Alarm/Timeout:** Kritik vəziyyət və ya taymer hadisəsi olduqda siqnalizasiya və ya avtomatik söndürmə aktivləşir

FSM aşağıdakı vəziyyətlərdən ibarətdir:

- **S0 – Idle:** Sistem gözləmə rejimindədir və sensorları monitorinq edir
- **S1 – Active:** Hərəkət və ya hədd aşımı olduqda aktuatorlar aktivləşdirilir
- **S2 – Alarm/Timeout:** Kritik vəziyyət və ya taymer hadisəsi olduqda siqnalizasiya və ya avtomatik söndürmə aktivləşir

Keçidlər (Transitions):

- S0 → S1: sensor hadisəsi (motion və ya threshold)
- S1 → S2: timeout və ya kritik vəziyyət
- S2 → S0: təhlükə aradan qalxdıqdan sonra

Bu FSM modeli sistemin real vaxt rejimində etibarlı və deterministik idarə olunmasını təmin edir. Aşağıda bu məntiqi göstərən sadələşdirilmiş Verilog nümunəsi təqdim olunur.

3.5. Verilog əsasında FSM məntiqinin nümunə fraqmenti.

FSM (Finite State Machine/ Sonlu vəziyyət maşını) modeli əsasında qurulmuş İdarəetmə məntiqi, Verilog HDL dilində reallaşdırılmış, ModelSim-də simulyasiya edilmiş və Quartus® Prime Design Suite Standard Edition 25.1std mühitində sazlanmışdır. FSM modeli sistemin real vaxt rejimində etibarlı və deterministik idarə olunmasını təmin edir. Verilog HDL [5] əsasında həyata keçirilən idarəetmə məntiqinin sadələşdirilmiş fraqmenti aşağıda verilmişdir:

```
always @(posedge clk or negedge reset_n) begin
 if (!reset_n)
 current_state <= S0_IDLE;
 else
 current_state <= next_state;
end
always @(*) begin
 case (current_state)
 S0_IDLE:
 if (motion_in || temp_high_in || humid_high_in)
 next_state = S1_ACTIVE;
 else
 next_state = S0_IDLE;
```

```
S1_ACTIVE:
if ((temp_high_in && motion_in) || timeout)
next_state = S2_ALARM;
else
next_state = S1_ACTIVE;
S2_ALARM:
if (!motion_in && !temp_high_in && !humid_high_in)
next_state = S0_IDLE;
else
next_state = S2_ALARM;
default: next_state = S0_IDLE;
endcase
end
```

Bu fraqment FSM-in vəziyyətlərarası keçid məntiqini göstərir. Tam Verilog təsviri laboratoriya tətbiqi və sonrakı prototipləşdirmə mərhələsində istifadə oluna bilər.

Nəticə

Nəticə olaraq demək olar ki, IoT əsaslı "ağıllı ev" idarəetmə sistemləri rəqəmsallaşdırma sahəsində ən perspektivli istiqamətlərindən biridir. Bu sistemlər istifadəçi rahatlığını artırmaqla yanaşı enerji səmərəliliyini və təhlükəsizliyi təmin edir. Bulud texnologiyaları ilə inteqrasiya bu sistemlərin daha funksional və miqyaslana bilən olmasına imkan yaradır. Bununla belə, təhlükəsizlik məsələlərinin düzgün idarə olunması bu sistemlərin uğurlu tətbiqi üçün əsas şərtdir.

Təklif olunan FPGA əsaslı "ağıllı ev" IoT modulu isə real vaxt emalı, yüksək etibarlılıq və aparat səviyyəsində təhlükəsizlik imkanları ilə seçilərək mövcud Mikrokontroller əsaslı həllərdən fərqlənir.

Gələcəkdə bu sistemin Bulud infrastrukturu, aparat kriptoqrafiyası, mobil telemetriya, əlavə sensor modulları ilə genişləndirilməsi "ağıllı ev" texnologiyalarının daha effektiv və təhlükəsiz inkişafına töhfə verəcək.

Ədəbiyyat siyahısı

[13] D. Witczak and S. Szymoniak, "Review of Monitoring and Control Systems Based on Internet of Things," Applied Sciences, vol. 14, no. 19, p. 8943, 2024. doi: 10.3390/app14198943.

[14] D. Saha, Smart Home Automation with IoT: The Ultimate DIY Guide for Making Smart Homes Using Open-Source Software, 2024.

[15] R. M. M. Salem, M. S. Saraya, and A. M. T. Ali-Eldin, "An industrial cloud-based IoT system for real-time monitoring and controlling of wastewater," IEEE Access, vol. 10, pp. 6528–6539, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3141977.

[16] Intel Corporation, "Cyclone IV Device Handbook, Volume 1: FPGA Device Family Overview," Version 2.0, Mar. 2016. [Online]. Available: https://docs.altera.com/v/u/docs/653974/cyclone-iv-device-handbook

[17] F. Bruno and G. Eschemann, The FPGA Programming Handbook: An Essential Guide to FPGA Design for Transforming Ideas into Hardware Using SystemVerilog and VHDL, 2nd ed. Birmingham, U.K.: Packt Publishing, 2024.

COMPARATIVE ANALYSIS OF AVL AND RED-BLACK TREES IN SEARCH OPERATIONS

Nabi Shadiyev
Baku Engineering University
Engineering
Baku, Azerbaijan
nshadiyev@std.beu.edu.az

***Abstract**: Nowadays, databases store large amounts of information; therefore, sorting and retrieving data becomes a difficult task. AVL trees and Red-Black trees are widely used data structures, implemented in various modern systems. This article analyzes AVL trees and Red-Black trees and compares their features in terms of data storage, balancing strategies, flexibility, and data retrieval speed. AVL trees are used for quick and frequent data access, while Red-Black trees are implemented in cases when the ability to quickly add and delete data is important.*
***Keywords**: binary search tree, AVL tree, Red-Black tree, time complexity, data retrieval*

INTRODUCTION

Smart decision-making often requires insights from high-quality data. However, modern databases contain vast amounts of information, making efficient data retrieval a difficult task. To address this issue, computer scientists use different data structures, such as trees, to keep data organized. AVL trees and Red-Black trees are widely implemented self-balancing binary search trees. By preserving balanced structures, these trees ensure high performance and fast data retrieval operations.

BINARY SEARCH TREES (BST)

A binary search tree (BST) is a non-linear hierarchical data structure that consists of nodes connected by edges. Each node can have at most two child nodes, referred to as the left child and the right child. For any given node, all values in its left subtree must be smaller than the node's value, while values in its right subtree must be greater than the node's value. The first node of the tree is called the root, and the nodes with no children are called leaves. The height of a binary tree equals the number of edges on the longest path from the root to a leaf. In the worst-case scenario, when the tree is unbalanced, the time complexity of the BST becomes $O(n)$ (in this article, n denotes the number of nodes in the tree). The time complexity of balanced BSTs will be discussed in the following sections [4].

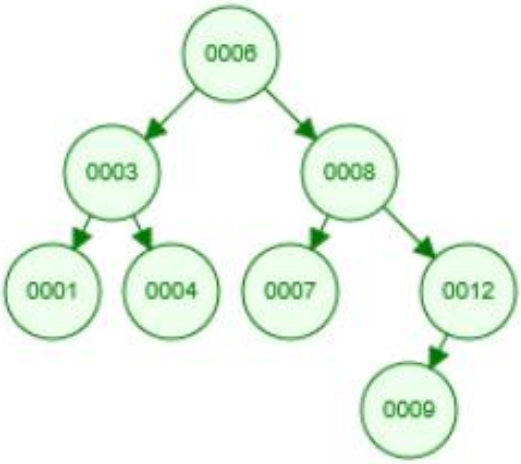


Fig. 5. Binary Search Tree visualization (USFCA BST Visualizer) [1]

AVL TREES

An AVL tree (named after inventors Adelson-Velsky and Landis) is a self-balancing binary search tree. Each node in the AVL tree has a balance factor. For any given node, the balance factor equals the difference between the heights of the left and right subtrees. To keep the AVL tree balanced, the balance factor of each node cannot be greater than 1 or less than −1.

$$Balance\ factor = left\ subtree\ height - right\ subtree\ height$$
$$-1 \leq Balance\ factor \leq 1 \Rightarrow Balanced\ Tree$$

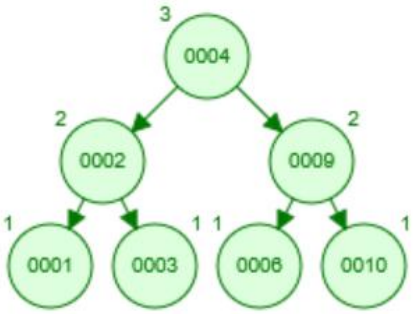


Fig. 6. AVL Tree visualization (USFCA AVL Tree Visualizer) [2]

Insertion or deletion of nodes can disturb the balance of the AVL tree. To maintain the BST properties and keep the tree balanced, it may rotate in one of the four ways:

1. Left-Left
2. Right-Right
3. Left-Right
4. Right-Left

The time complexity of insertion, deletion, and search functions for the AVL tree all equal to $O(log\ n)$. Rebalancing the tree after inserting or deleting a node may require up to $O(log\ n)$ rotations [7].

RED-BLACK TREES

A Red-Black tree is a self-balancing binary search tree data structure. Each node of the Red-Black tree contains an extra bit for "color" information, usually drawn as red and black. These colors are used to maintain balance during the insertion or deletion of nodes. A Red-Black tree must at all times follow these 5 properties:

1. Node Color Property: Each node can be either red or black.
2. Root Property: Root node of each tree should always be black.
3. Red node Property: Red nodes cannot have red child nodes.
4. Black Node Property: The number of black nodes in each path from a node to its descendant leaves must be equal.
5. Leaf Property: All leaves (NIL nodes) must be black.

To adhere to the properties, rotations are used for balancing the tree. The height of the longest subtree cannot be more than 2 times taller than the height of the shortest subtree.

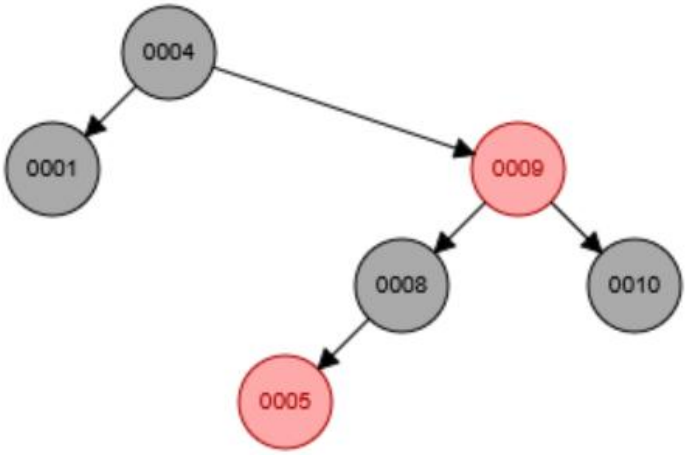


Fig. 7. Red-Black Tree visualization (USFCA Red-Black Tree Visualizer) [3]

Figure 3 shows a balanced Red-Black tree. The height of the right subtree is twice the height of the left. It also adheres to all 5 properties listed above. Similar to AVL trees, insertion, deletion, and search functions all take $O(log\ n)$ time. Rebalancing the tree after insertion of a node requires up to 2 rotations, while rebalancing after deletion requires up to 3 rotations [4].

PERFORMANCE COMPARISON

TABLE 1. Comparison Table for AVL and Red-Black Trees.

Functions	Red-Black Tree	AVL Tree
Balancing	The longest path can be at most twice as long as the shortest path. Results in relaxed balancing.	Height difference between subtrees is always less than one. Results in strict balancing
Insertion/Deletion	Faster as it requires fewer rotations	Slower as it requires more frequent and complex rotations
Storage	Lower. Requires only one bit (Boolean) for color of each node.	Higher. Needs to store balance factor (integer) for each node.
Search	Slower because the tree can be taller.	Faster because the tree is shorter, as it is strictly balanced
Rotation	Up to 2 rotations for insertion and 3 for deletion.	Insertion may require more frequent rotations, typically up to 2. Deletion may require multiple rebalancing steps after, each involving 1 or 2 rotations.

As seen from the table, AVL trees are better for quick data retrieval, but their strict balancing rules make insertion and deletion processes more complicated. Red-Black trees have opposite characteristics. Their relaxed balancing rules result in faster deletion and insertion of nodes. However, search operations for Red-Black trees take longer, as their structure is not as strictly balanced.

APPLICATIONS FOR AVL AND RED-BLACK TREES

AVL trees allow quick and frequent data retrieval; therefore, they are commonly used in read-heavy operations, such as database indexing, memory management, and dictionary lookups [6]. Red-Black trees are popular for their flexible structure. They are widely used in dynamic datasets and appear as a primary search structure in different libraries, including the Java Collections Framework and several implementations of the C++ Standard Template Library. They are also used within the Linux kernel and for machine learning [5].

CONCLUSION

In conclusion, AVL trees and Red-Black trees are two types of self-balancing binary search tree structures, each with its own advantages and disadvantages. Due to the flexibility of Red-Black trees, they are more widely used in operating systems and frameworks. However, AVL trees are more suitable when quick data retrieval is a crucial requirement. Both AVL and Red-Black trees are widely implemented data structures, and the choice between them depends on the requirements of the given task.

References

[1] D. Galles, “Binary search tree visualization,” University of San Francisco. [Online]: https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/BST.html

[2] D. Galles, “AVL tree visualization,” University of San Francisco. [Online]: https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/AVLtree.html

[3] D. Galles, “Red-black tree visualization,” University of San Francisco. [Online]: https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/RedBlack.html

[4] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein, *Introduction to Algorithms*, 3rd ed. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2009.

[5] P. Morin, “Red-black trees,” *Open Data Structures*. [Online]: https://opendatastructures.org/newhtml/ods/latex/redblack.html

[6] University of Washington, “Lecture 07: Dictionaries and AVL trees,” 2021. [Online]: https://courses.cs.washington.edu/courses/cse332/21au/lectures/lecture-07-dictionaries.pdf

[7] Massachusetts Institute of Technology, “Recitation 6: AVL trees,” 2011. [Online]: https://ocw.mit.edu/courses/6-006-introduction-to-algorithms-fall-2011/resources/recitation-6-avl-trees/

DATA ANALİTİKASININ KREDİT RİSKLƏRİNİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNDƏ ROLU

Məhəmməd Əhmədov
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
mehmedov13@std.beu.edu.az
Azərbaycan, Sumqayıt

XÜLASƏ

Data analitikası, kredit risklərinin qiymətləndirilməsində mühüm rol oynayır. Müasir maliyyə sektorunda kredit risklərinin düzgün qiymətləndirilməsi, həm maliyyə institutlarının dayanıqlığını təmin etmək, həm də borc verənlərin və kredit alanların maraqlarını qorumaq üçün vacibdir. Data analitikası, böyük məlumatların toplanması, təhlili və emalı prosesini optimallaşdırmağa kömək edir, kredit risklərinin qiymətləndirilməsini daha dəqiq və şəffaf edir.

Kredit risklərinin qiymətləndirilməsi zamanı ənənəvi metodlarla yanaşı, data analitikası vasitəsilə kredit alanların kredit tarixçəsi, gəlir vəziyyəti, borc ödənişləri və digər faktorlar daha dərindən təhlil edilir. Süni intellekt (AI) və maşın öyrənməsi (ML) alqoritmləri, borcalanların davranışlarını proqnozlaşdırmağa və potensial riskləri aşkar etməyə imkan verir. Məlumatların təhlili, həmçinin kredit siyasətini formalaşdıran qərarların daha obyektiv və məlumatlı şəkildə qəbul edilməsini təmin edir.

Eyni zamanda, data analitikası kredit risklərinin izlənməsi və idarə olunmasında da mühüm rol oynayır. Kredit portfellərinin daim monitorinqi, risklərin zamanla dəyişən təbiətini izləyərək, maliyyə institutlarının öz əməliyyatlarını daha çevik və effektli şəkildə idarə etmələrinə kömək edir. Data analitikası, həmçinin müxtəlif iqtisadi göstəriciləri, bazar təhlillərini və makroiqtisadi faktorları nəzərə alaraq, kredit risklərinin dinamikasını proqnozlaşdırmağa imkan verir.

Bu yanaşma, maliyyə qurumlarına daha dəqiq qiymətləndirmə və riskləri proaktiv şəkildə idarə etmə imkanı yaradır. Data analitikasının tətbiqi kredit risklərinin qiymətləndirilməsini optimallaşdırır və maliyyə sisteminin daha sağlam olmasına kömək edir.

Açar sözlər: *data, kredit, qiymətləndirmə, intellekt, maşın, borc, risk, maliyyə.*

GİRİŞ

Kredit risklərinin qiymətləndirilməsi, maliyyə sektorunun ən kritik aspektlərindən biridir və müasir iqtisadiyyatın sağlam işləməsi üçün vacibdir. Kredit riski, kredit alanın ödəmə qabiliyyəti ilə bağlı riskləri və ya borc verənin maliyyə itkilərinə uğrama ehtimalını ifadə edir. Bu risklər, borc verənin kredit vermə qərarını dəstəkləyən məlumatları düzgün və obyektiv şəkildə qiymətləndirə bilməməsi nəticəsində yaranır. Tradisional metodlarla bu qiymətləndirmə prosesi müəyyən məhdudiyyətlərə malik olsa da, data analitikası bu sahədə inqilabi dəyişikliklər yaratmışdır.

Data analitikası, böyük verilənlərin təhlili və işlənməsi ilə kredit risklərinin daha dəqiq qiymətləndirilməsinə imkan yaradır. Son illərdə, böyük məlumatların (big data) və alqoritmik yanaşmaların geniş tətbiqi, kredit qiymətləndirmə sistemlərində ciddi irəliləyişlərə səbəb olub. Bu yanaşmalar, kredit risklərinin daha şəffaf və doğru şəkildə müəyyən edilməsini təmin edir. Kredit verənlər, müasir analitik alətlərdən istifadə edərək, borc alanın maliyyə vəziyyətini, gəlirini, borc ödənişlərini, keçmiş kredit tarixçəsini və digər faktorları daha dərindən təhlil edə bilirlər.

Süni intellekt və maşın öyrənməsi (ML) kimi texnologiyalar, borc alanların davranışlarını proqnozlaşdırmağa, onların ödəmə qabiliyyətini təxmin etməyə və potensial riskləri aşkar etməyə imkan verir. Bu texnologiyalar, kredit verənlərə yalnız mövcud məlumatları deyil, həm də məlumatları zamanla dəyişən dinamikada qiymətləndirməyə imkan verir. Beləliklə, kredit verənlər, öz portfellərini daha yaxşı idarə edə və riskləri əvvəlcədən aşkar edərək proaktiv yanaşma tətbiq edə bilərlər.

Bu giriş, data analitikasının kredit riskləri sahəsindəki rolunun artdığını və bu yeni yanaşmanın maliyyə sektorunun daha dayanıqlı və səmərəli olmasına necə töhfə verdiyini nümayiş etdirir. Kredit risklərinin qiymətləndirilməsində data analitikası, həm qərar qəbuletmə proseslərini təkmilləşdirir, həm də kredit portfellərinin təhlükəsizliyini artırır.

TƏHLİL

Data analitikasının kredit risklərinin qiymətləndirilməsindəki rolu, müasir maliyyə sektoru üçün həyati əhəmiyyət kəsb edir. Bu yanaşma, xüsusən böyük verilənlərin istifadəsi ilə kredit verənlərin daha düzgün və məlumatlı qərarlar qəbul etmələrini təmin edir. Ənənəvi kredit qiymətləndirmə metodlarına nisbətən data analitikası, daha şəffaf və obyektiv yanaşmalar təqdim edir. Bu bölmədə, data analitikasının kredit

risklərinin qiymətləndirilməsində necə tətbiq olunduğu və bunun hansı üstünlükləri təmin etdiyi barədə təhlil aparılacaq[1,s.491].

Birincisi, data analitikasının kredit qiymətləndirməsində ən böyük üstünlüklərindən biri, məlumatların daha dərindən təhlilinə imkan verməsidir. Ənənəvi metodlarda, kredit verənlər əsasən borcalanın keçmiş ödəmə tarixçəsinə, gəlirinə və ümumi maliyyə vəziyyətinə əsaslanırdılar. Lakin, bu yanaşmalar, çox zaman əhəmiyyətli informasiya çatışmazlığına yol açır. Data analitikasının tətbiqi ilə isə borcalanın kredit tarixçəsi, ödəmə davranışları, gəlir strukturu, hətta sosial media fəaliyyətləri kimi müxtəlif mənbələrdən toplanan məlumatlar birləşdirilərək daha geniş və ətraflı bir təhlil aparılır. Bu yanaşma, məlumatların böyük həcmini emal edərək, potensial riskləri daha dəqiq şəkildə müəyyən etməyə imkan verir[2,s.512].

İkinci olaraq, süni intellekt (AI) və maşın öyrənməsi (ML) kimi texnologiyalar, kredit risklərinin qiymətləndirilməsi prosesində böyük rol oynayır. Bu alqoritmlər, əvvəlki məlumatlar əsasında proqnozlar verərək, borcalanların gələcək davranışlarını təxmin etməyə çalışır. Məsələn, maşın öyrənməsi alqoritmləri, borcalanın kredit ödənişlərindəki tendensiyaları, gecikmələri və ya ödənişlərdəki ani dəyişiklikləri əvvəlcədən təhlil edə bilər. Bu, kredit verənlərə, borcalanın ödəmə qabiliyyətini daha dəqiq qiymətləndirmək və riski idarə etməkdə kömək edir. Süni intellekt alqoritmləri, həmçinin zamanla adaptasiya olaraq, riskləri daha müasir və real vaxtda izləməyə imkan verir[3,s.491].

Üçüncü olaraq, data analitikası, kredit portfellərinin daha effektiv şəkildə izlənməsi və idarə olunmasını təmin edir. Kredit verənlər, portfellərindəki borcalanların risk vəziyyətini mütəmadi olaraq təhlil edərək, hansı müştərilərin yüksək riskdə olduğunu və hansı müştərilərə əlavə nəzarət və ya dəstək göstərilməli olduğunu müəyyən edə bilərlər. Bu da həmçinin kreditin verilməsi, qiymətləndirilməsi və tənzimlənməsi zamanı daha çevik qərarların qəbul olunmasına şərait yaradır. Məsələn, yüksək riskli müştərilərlə bağlı daha sərt şərtlər qoyulması və ya daha yüksək faiz dərəcələri tətbiq edilə bilər[4,s.230].

Bir digər üstünlük, data analitikasının, yalnız kredit risklərinin qiymətləndirilməsinə deyil, həmçinin risklərin idarə olunmasına da kömək etməsidir. Kredit verənlər, portfellərindəki riskləri davamlı izləyərək, uyğun tədbirlər görə bilərlər. Bu, əvvəlcədən müəyyən edilmiş qaydalara əsasən risklərə cavab vermək imkanı yaradır və beləliklə kredit verənlərin əməliyyatlarını daha proaktiv və səmərəli şəkildə idarə etməyə imkan verir. Məsələn, bir borcalan ödənişdə gecikmə yaşadığı halda, bu məlumat real vaxtda təhlil edilə bilər və ona uyğun bir müdaxilə edilə bilər[5,s.519].

Nəhayət, data analitikasının əsas üstünlüklərindən biri, risklərin ölçülməsi və idarə olunmasında daha şəffaf bir yanaşma təqdim etməsidir. Həm maliyyə institutları, həm də tənzimləyici qurumlar, data analitikası vasitəsilə kredit risklərinin necə qiymətləndirildiyini daha açıq şəkildə izləyə və qiymətləndirə bilərlər. Bu, maliyyə sisteminin daha sağlam və dayanıqlı olmasına kömək edir və kredit verənlərin qərarlarını daha ədalətli və şəffaf edir[6,s.600].

Nəticə olaraq, data analitikası kredit risklərinin qiymətləndirilməsi və idarə olunması sahəsində böyük bir inqilabi dəyişikliyə səbəb olmuşdur. Kredit verənlər, daha dəqiq və məlumatlı qərarlar qəbul edərək, riskləri effektiv şəkildə idarə edə bilərlər. Bu yanaşma, həmçinin kredit verənlər üçün daha müasir və çevik idarəetmə metodları təqdim edərək, maliyyə sektorunun sağlamlığını artırır[7,s.650].

Cədvəl 1: Data Analitikasının Kredit Risklərinin Qiymətləndirilməsində Rolu

Tətbiq Sahəsi	Ənənəvi Yanaşma	Data Analitikası ilə Tətbiq	Üstünlükləri
Kredit Risklərinin Qiymətləndirilməsi	Kredit tarixçəsi və gəlir əsaslı qiymətləndirmə	Böyük verilənlər (big data), sosial media məlumatları, davranış təhlili ilə daha dərindən qiymətləndirmə	Daha dəqiq və geniş məlumat bazasına əsaslanaraq risklərin müəyyənləşdirilməsi
Proqnozlaşdırma	Tarixi məlumatlara əsaslanan proqnozlar	Maşın öyrənməsi (ML) alqoritmləri ilə gələcəkdəki davranışların təhlili	Riskləri öncədən proqnozlaşdırmaq, daha sürətli və dəqiq müdaxilə
Riskin İdarə Edilməsi	İllik və ya müəyyən dövrlərlə qiymətləndirmə	Real vaxtda məlumatın təhlili ilə risklərin dinamik izlənməsi	Zamanında müdaxilə və risklərin müntəzəm izlənməsi
Şəffaflıq və Aydınlıq	Təxmini məlumat və qeyri-dəqiqlik	Məlumatların daha şəffaf və aydın təhlili	Daha şəffaf qərar qəbuletmə, tənzimləyici orqanlar üçün dəqiqlik
Adaptasiya və İnkişaf	Sabit qiymətləndirmə	Süni intellekt və maşın öyrənməsi ilə adaptiv	Zamanla dəyişən şərtlərə uyğunlaşan dinamik sistem

	metodları	yanaşma	
Portfel İzləmə və Nəzarət	Periodik yoxlamalar və yeniliklər	Davamlı və müntəzəm izləmə, proaktiv müdaxilə	Kredit portfellərinin daim izlənməsi və təhlükəsizlik tədbirləri

Mənbə:MDPI, "Big Data and Credit Risk Evaluation: A Systematic Review," DOI: 10.3390/jds2010007

Cədvəl 1 də, data analitikasının kredit risklərinin qiymətləndirilməsində ənənəvi yanaşmalarla müqayisədə necə daha effektiv və dəqiq tətbiq olunduğu izah edilir. Ənənəvi metodlar, əsasən kredit tarixçəsi və borcalanın gəliri kimi məlumatlara əsaslanırdı, bu da risklərin qiymətləndirilməsində məhdudiyyətlərə səbəb olurdu. Lakin, data analitikasının tətbiqi ilə, böyük verilənlər, sosial media məlumatları və digər məlumat mənbələri də daxil olmaqla daha geniş və kompleks məlumatlar təhlil edilir. Bu, daha dəqiq risk qiymətləndirməsinə və şəffaf qərar qəbuletməyə imkan verir[8,s.208].

Data analitikası vasitəsilə maşın öyrənməsi alqoritmləri, borcalanların gələcək davranışlarını proqnozlaşdırmağa və potensial riskləri aşkar etməyə kömək edir. Bu yanaşma, kredit verənlərin riski əvvəlcədən müəyyən etmələrini və müvafiq tədbirlər görmələrini təmin edir. Həmçinin, kredit portfellərinin izlənməsi daha çevik və daimidir, bu da risklərin vaxtında müəyyən edilməsi və qarşısının alınmasına imkan verir[9,s.512].

Məlumatların real vaxtda təhlili, kredit verənlərə kredit portfellərini müntəzəm olaraq izləməyə və yüksək riskli müştərilərlə bağlı daha sürətli qərarlar qəbul etməyə kömək edir. Bu, yalnız daha yaxşı kredit qiymətləndirilməsi ilə deyil, həm də risklərin daha tez idarə olunması ilə nəticələnir. Həmçinin, data analitikasının tətbiqi, kredit verənlərə daha şəffaf və obyektiv qərarlar verməyə imkan yaradır[10,s.600].

Son olaraq, data analitikasının adaptiv və dinamik xarakteri, kredit risklərinin qiymətləndirilməsində daha çevik yanaşmaların tətbiq olunmasını təmin edir. Zamanla dəyişən iqtisadi şərtlərə və borcalanların davranışlarına uyğunlaşa bilən sistemlər, kredit verənlərə daha uyğun və doğru qiymətləndirmələr aparmağa kömək edir. Bu cür yanaşmalar, kredit risklərinin qiymətləndirilməsini daha effektiv və etibarlı edir[11,s.650].

NƏTİCƏ

Data analitikasının kredit risklərinin qiymətləndirilməsində tətbiqi, maliyyə sektorunda böyük dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Ənənəvi metodların məhdudiyyətlərini aşaraq, data analitikası, daha geniş və kompleks məlumatların təhlili vasitəsilə kredit risklərini daha dəqiq qiymətləndirməyə imkan verir. Süni intellekt və maşın öyrənməsi kimi qabaqcıl texnologiyalar, borcalanların gələcək davranışlarını proqnozlaşdırmaq və riskləri daha erkən müəyyən etmək üçün mükəmməl alətlər təqdim edir.

Bu yanaşma kredit verənlərə daha çevik və məlumatlı qərarlar qəbul etməyə kömək edir. Həmçinin, kredit portfellərinin davamlı izlənməsi, potensial risklərin vaxtında aşkar edilməsinə və idarə edilməsinə imkan verir, bu da həm maliyyə institutları, həm də borcalanlar üçün daha güvənli və şəffaf mühit yaradır.

Data analitikasının tətbiqi, kredit risklərinin qiymətləndirilməsindəki prosesləri optimallaşdırmaqla yanaşı, həmçinin maliyyə sektorunun ümumi dayanıqlığını və səmərəliliyini artırır. Bu, kredit verənlərin daha etibarlı və təhlil edilmiş məlumatlarla qərar qəbul etmələrinə, daha az itki ilə qarşılaşmalarına və nəticədə ümumi iqtisadi mühitin sabitliyini təmin etmələrinə şərait yaradır. Data analitikasının kredit risklərinin qiymətləndirilməsindəki rolu, gələcəkdə maliyyə sahəsindəki inkişafları daha sağlam və davamlı edəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Ələkbərov, Ə.Ə., Qurbanova, T.T., Məmmədova, G.Q., & Əlicanova, Ş.M. (2023). *Maliyyə risklərinin idarə edilməsi* (491 s.).
2. Baesens, B., Roesch, D., & Scheule, H. (2016). *Credit Risk Analytics: Measurement Techniques, Applications, and Examples in SAS* (512 s.).
3. Aləkbərov, Ə.Ə., Qurbanova, T.T., Məmmədova, G.Q., & Əlicanova, Ş.M. (2023). *Maliyyə risklərinin idarə edilməsi: dərslik*. İqtisad Universiteti nəşriyyatı. (491 s.)
4. Asurbeyli, H., & Nigar, P.*Maliyyə risklərinin idarə edilməsi* [PDF]. Bakı Dövlət Universiteti. 230 s.
5. Maystadt, P., Van Gestel, T., & Baesens, B. (2008). *Credit Risk Management: Basic Concepts*.519 s.
6. Duffie, D., & Singleton, K.J. (2003). *Credit Risk: Pricing, Measurement, and Management*. 600 s.
7. Thomas, L.C., Crook, J.N., & Edelman, D.B. (2017). *Credit Scoring and Its Applications*.650 s
8. Məmmədov, İ. N. (2021). *Banklarda risk menecmenti* (208 s.).
9. Baesens, B., Roesch, D., & Scheule, H. (2016). *Credit Risk Analytics: Measurement Techniques, Applications, and Examples in SAS* (512 s.).
10. Duffie, D., & Singleton, K. J. (2003). *Credit Risk: Pricing, Measurement, and Management*.600 s.
11. Thomas, L. C., Crook, J. N., & Edelman, D. B. (2017). *Credit Scoring and Its Applications* (650 s.).

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DIGITAL MARKETING

ILYAS MAGZHANOV
IT in management (MSc),Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
imagzhanov@std.beu.edu.az

Abstract: With the development of digital tools, particularly analytical systems that track and interpret user behaviour across various platforms, data-driven digital marketing decision-making has become a key element of strategic business management. Issues related to the integration of disparate data from various sources and the complexity of analysing it are becoming increasingly relevant for marketers seeking to improve the accuracy of forecasts and the effectiveness of advertising campaigns. This article discusses the integration of data from different channel sources, as well as the application of artificial intelligence to identify the best strategy and make decisions in digital marketing based on the data obtained.
Keywords*: artificial intelligence, digital marketing, analytics integration, data analysis*

INTRODUCTION

The automation of analytics in digital marketing, in turn, enables the integration of various channels and platforms, creating a unified system for obtaining comprehensive data on consumer preferences and behaviour. Artificial intelligence, meanwhile, helps to automate the processes of data collection, cleansing and processing, whilst also offering methods for more in-depth analysis and providing recommendations for marketers. As a result, companies are able not only to analyse data effectively, but also to adapt their marketing strategies in a timely manner, enhancing their personalisation and accuracy.

GENERAL FEATURES OF DIGITAL MARKETING

Digital marketing is a set of methods, tools and strategies for promoting products, services and brands using digital technologies and communication channels. It is based on the use of internet platforms, mobile devices, software solutions and analytics systems (Google Analytics, Yandex Metrica) to engage with the target audience at every stage of the customer journey — from raising awareness to making a purchase decision and subsequent loyalty.

Introduces the opportunities and challenges of digital marketing and explains the different types of digital marketing platforms and media channels available to engage audiences online. It also introduces a planning framework that can be used to structure digital marketing strategies and campaigns [1].

The integration of analytics from various sources with artificial intelligence is revolutionising digital marketing and advertising processes. These technologies will enable marketing decisions to be made more effectively, quickly and accurately.

PROBLEMS AT THE EARLY STAGE OF DATA ANALYSIS IN DIGITAL MARKETING

In the early stages of digital analytics, marketers face a number of significant challenges that limit the effectiveness of decision-making.

Firstly, one of the key challenges is the fragmentation of data across different analytical systems. Digital channels are emerging as preferred communication alternatives to their traditional counterpart for consumers across product categories [2]. Platforms such as Yandex Metrica (fig. 1) and Google Analytics (fig. 2) use different approaches to collecting, processing, communicating and interpreting information. As a result, the same metrics may differ, which undermines confidence in the data and makes it difficult to compare.

Secondly, there is a lack of user-friendliness when working with multiple systems simultaneously. Marketers have to switch between interfaces and use different metrics and attribution models, which increases the time required and raises the likelihood of errors in analysis.

Thirdly, a significant problem is the lack of a complete picture of the customer journey. Analytics systems most often record individual user actions, such as clicks, page views or button presses, but do not provide a comprehensive view of the user's interaction with the brand at all stages — from initial contact to the point of purchase.

Furthermore, there is the issue of data fragmentation: information is collected through separate channels (websites, social media, advertising platforms) but is not consolidated into a single structure. As a result, marketers gain only a partial understanding of audience behaviour, which limits their ability to make accurate predictions and personalise content.

Thus, at the initial stage of digital analytics, the key barriers are the fragmentation of data sources, differences in processing methodologies, and the lack of a unified system that allows one to see the full user journey and make informed strategic decisions.

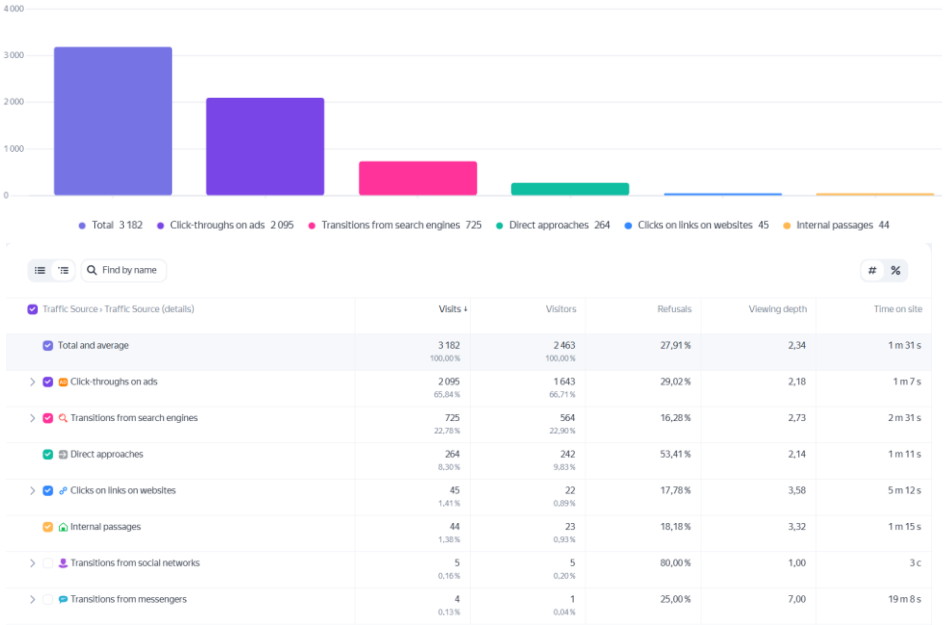


Fig. 8. Yandex metrika (Sources, Summary)

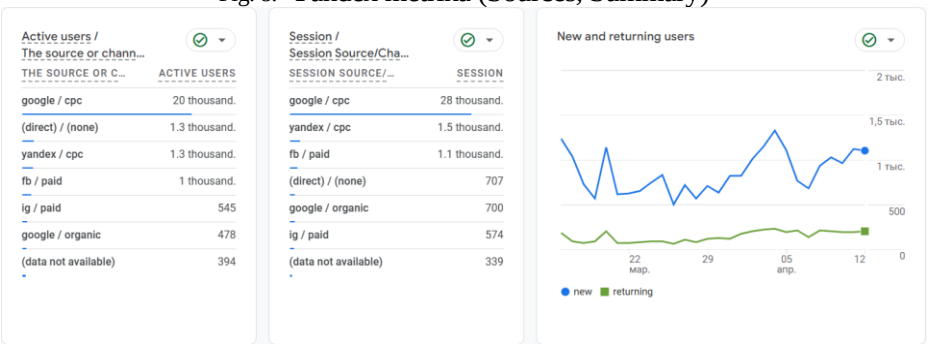


Fig. 9. Google analytics

Consolidating analytics into a single system in digital marketing offers the following benefits:

3. Integration: A holistic view of data provides a unified picture of user behaviour by combining information from various sources and channels (fig. 3).

4. Time savings: There is no longer any need to work with multiple analytics platforms or manually compare data.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN A UNIFIED ANALYTICS SYSTEM

Given the fragmentation of data and differences between analytical platforms, the key solution is to create a unified analytics system that consolidates data from various sources, such as Google Analytics, Yandex Metrica and other digital channels. In such a system, artificial intelligence acts as the central element for processing, analysing and interpreting information.

The application of artificial intelligence within a unified analytics environment enables a number of critical tasks to be addressed:

5. Data consolidation is ensured. AI brings together information from various sources, resolving discrepancies between metrics and providing a unified view of performance indicators. This enables the generation of reliable and comparable analytics.

6. A comprehensive understanding of the customer journey is achieved. By combining data from various channels (websites, advertising, social media), AI is able to build a comprehensive model of user behaviour—from the first interaction through to the completion of the desired action.

7. Intelligent data processing is implemented. Artificial intelligence automatically cleans the data of noise, duplicates and incorrect information, thereby improving its quality and suitability for analysis.

8. AI provides forecasts and recommendations. The machine learning algorithm is supplied with large amounts of historical data, and it uses this data to create a propensity model that is able to make accurate predictions about the real world [1].

Furthermore, an important advantage is the automation of decision-making. Instead of manually analysing large volumes of data, marketers receive ready-made insights and recommendations, which significantly reduces response times and improves efficiency.



Fig. 10.User Interface of unified analytics

Fig. 11.

CONCLUSION AND PROSPECTS

Consequently, the creation of a unified analytics system that brings together data from various digital sources is an essential step in the development of modern digital marketing. Using disparate platforms, such as Google Analytics and Yandex Metrica, without consolidating them limits the scope for comprehensive analysis and prevents a holistic understanding of user behaviour.

Integrating data into a single analytics environment, combined with the use of artificial intelligence, allows these limitations to be overcome. Artificial intelligence automates the processes of processing, cleaning and analysing information, and also helps to identify hidden patterns and generate informed recommendations.

As a result of implementing such a system, companies gain access to more accurate, comprehensive and structured information, which significantly improves the quality of management decisions. Furthermore, it becomes possible to build a detailed customer journey model, increase the level of personalisation and rapidly adapt marketing strategies in a rapidly changing digital environment.

REFERENCES

[18] Chaffey, D. and Ellis-Chadwick, F. (2012). Digital Marketing: Strategy, Implementation and Practice. 1st ed. Harlow: Pearson Education.

[19] Dahiya R., "A Research Paper on Digital Marketing Communication and Consumer Buying Decision Process: An Empirical Study in the Indian Passenger Car Market", Journal of Global Marketing 31(2):1-23, September 2017.

SCADA VƏ ICS MÜHITLƏRINDƏ RISKLƏRIN QIYMƏTLƏNDIRILMƏSI VƏ PRIORITETLƏŞDIRILMƏSI

RISK ASSESSMENT AND PRIORITIZATION IN SCADA AND ICS ENVIRONMENTS

TAHIRZADƏ GÜNAY NIZAMI QIZI
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası
gmemmedova20@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

MƏMMƏDZADƏ NƏCƏF NƏVAI OĞLU
MAMMADZADA NAJAF NAVAI
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası
namammadzade@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ

SCADA və Sənaye Nəzarət Sistemləri (ICS) enerji infrastrukturunun onurğa sütununu təşkil edir. Köhnəlmiş avadanlıqlar və standartlaşdırılmamış protokollar bu sistemləri müasir kiber təhdidlərə qarşı zəif edir. Bu məqalə SCADA/ICS mühitlərində zəifliklərin aşkarlanması, risklərin kəmiyyət və keyfiyyət baxımından qiymətləndirilməsi və təsir ehtimalına görə prioritetləşdirilməsi metodologiyalarını tədqiq edir. Ənənəvi IT risk idarəetməsindən fərqli olaraq, ICS mühitlərində məxfiliyin əvəzinə əlçatanlıq və bütövlük üstünlük təşkil edir. Tədqiqat göstərir ki, risklərin prioritetləşdirilməsində CVSS bazasının ICS üçün xüsusi olaraq adaptasiya edilməsi vacibdir. Nəticədə, məqalə sənaye tələblərinə uyğunlaşdırılmış, praktiki və fəaliyyətə yönəlmiş risk idarəetmə çərçivəsini təqdim edir, bununla da kritik kəsintilərin qarşısının alınmasına dəstək verir.

Abstract. SCADA and Industrial Control Systems (ICS) form the backbone of energy infrastructure. Legacy equipment and non-standardized protocols leave these systems vulnerable to modern cyber threats. This article investigates methodologies for identifying vulnerabilities, conducting quantitative and qualitative risk assessments, and prioritizing risks based on probability and impact in SCADA/ICS environments. Unlike traditional IT risk management, ICS prioritizes availability and integrity over confidentiality. The research demonstrates the necessity of adapting standard scoring systems like CVSS specifically for ICS parameters. Ultimately, the paper presents a practical, actionable risk management framework tailored to industrial requirements, thereby supporting the prevention of critical operational disruptions and ensuring grid stability.

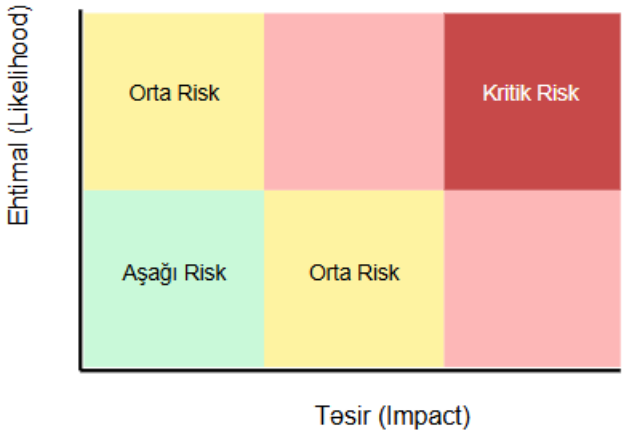
AÇAR SÖZLƏR: SCADA, ICS Təhlükəsizliyi, Risk Qiymətləndirilməsi, CVSS, Prioritetləşdirmə.
Keywords: SCADA, ICS Security, Risk Assessment, CVSS, Prioritization.

GIRIŞ

SCADA (Nəzarətçi İdarəetmə və Məlumat Toplama) sistemləri enerji istehsalı və paylanmasının monitorinqi və idarə edilməsi üçün kritikdir. Tarixən bu sistemlər təcrid olunmuş vəziyyətdə fəaliyyət göstərsə də, səmərəlilik tələbləri onların korporativ şəbəkələrlə əlaqələndirilməsinə səbəb olmuşdur. Bu inteqrasiya nəticəsində SCADA mühitləri yüksək risk altına düşür. Bu mühitlərdə riskin qiymətləndirilməsi xüsusi həssaslıq tələb edir, çünki sistemlərin fasiləsiz işləməsi (Availability) həyati vacibdir və ənənəvi təhlükəsizlik alətləri (məsələn, aktiv şəbəkə skanlaması) avadanlığın işini poza bilər [1].

ZƏIFLIKLƏRIN AŞKARLANMASI VƏ ANALIZI

ICS mühitlərində zəifliklərin müəyyən edilməsi passiv monitorinq vasitələrindən istifadəni tələb edir. Risklərin prioritetləşdirilməsi üçün Common Vulnerability Scoring System (CVSS) çox vaxt istifadə olunsa da, bu sistem IT mərkəzli olduğu üçün ICS-in fiziki təsir potensialını tam əks etdirmir. Buna görə də sənaye mütəxəssisləri CVSS-in komponentlərinə fiziki zərər, proseslərin dayanması və təhlükəsizlik (Safety) amillərini daxil edərək onu modifikasiya edirlər [2, 3].



Şəkil 1. SCADA/ICS Risklərinin Qiymətləndirilməsi Matrisi.
Mənbə / Source: NERC CIP rəhbərliklərinə əsaslanaraq tərtib edilmişdir (Compiled based on NERC CIP guidelines).

PRIORITETLƏŞDIRMƏ METODOLOGIYASI

Məhdud resurslar şəraitində bütün zəiflikləri eyni anda aradan qaldırmaq qeyri-mümkündür. Prioritetləşdirmə mexanizmi prosesin kritikliyini, sistemin məruz qalma dərəcəsini və hücum ehtimalını qiymətləndirir. Kritik qovşaqlar, yəni kompromis olunduğu təqdirdə cəmiyyətə və ya avadanlıqlara dərhal zərər vura biləcək elementlər ilk olaraq qorunmalıdır. Patching (yamaq tətbiqi) ICS sistemlərində tez-tez gecikir; bu səbəbdən virtual yamaqlar və şəbəkə seqmentasiyası ön plana çıxır [4].

Cədvəl 1. İT və OT Risk İdarəetməsinin Fərqləri
Table 1. Differences Between IT and OT Risk Management

Xüsusiyyət (Feature)	**IT Mühiti (IT Environment)**	**OT / ICS Mühiti (OT / ICS Environment)**
Əsas Prioritet	Məxfilik (Confidentiality)	Əlçatanlıq və Təhlükəsizlik (Availability, Safety)
Həyat Dövrü	3-5 il	15-20+ il
Patching (Yamaq)	Müntəzəm, Avtomatik	Çətin, Yalnız planlı dayandırmalarda

Mənbə / Source: CISA OT Security Guidance (Müəllif tərəfindən ümumiləşdirilmişdir).

NƏTİCƏ

SCADA və ICS mühitlərində risklərin idarə olunması xüsusi uyğunlaşdırılmış yanaşma tələb edir. Klassik IT alətlərinin tətbiqi sistemlərin çökməsinə səbəb ola biləcəyi üçün, passiv analitika və sənaye miqyaslı risk matrisləri istifadə olunmalıdır. Zəifliklərin potensial fiziki təsirlərə görə prioritetləşdirilməsi, məhdud təhlükəsizlik resurslarının ən səmərəli şəkildə istifadəsini və kritik xidmətlərin davamlılığını təmin edir.

Ədəbiyyat siyahısı

25. CISA. (2022). *Securing Industrial Control Systems: A Unified Initiative*. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency.
26. NERC. (2023). *Critical Infrastructure Protection (CIP) Reliability Standards*. North American Electric Reliability Corporation.
27. Stouffer, K., et al. (2023). NIST SP 800-82 Rev. 3: Guide to Operational Technology (OT) Security.
28. Knapp, E. D., & Langill, J. T. (2014). Industrial Network Security: Securing Critical Infrastructure Networks for Smart Grid, SCADA, and Other Industrial Control Systems. Syngress.

KİBERTƏHLÜKƏSİZLİYİN GƏLƏCƏYİ: CƏMİYYƏT(SOCIETY 5.0) 5.0 DÖVRÜNDƏ 2026-2030 TEXNOLOJİ PROQNOZU
THE FUTURE OF CYBERSECURITY: TECHNOLOGICAL FORECAST 2026-2030 IN SOCIETY 5.0 ERA

CABIR MƏMMƏDOV
JABIR MAMMADOV
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası
camammadov@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

NƏCƏF MƏMMƏDZADƏ
NAJAF MAMMADZADA
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası
namammadzade@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ

Cəmiyyət 5.0 fiziki və virtual məkanların qüsursuz inteqrasiyasının həyata keçirildiyi super-ağıllı cəmiyyətə çevrildikçə, kibertəhlükəsizlik sahəsi köklü dəyişikliklərə məruz qalacaq. Bu məqalə 2026-2030-cu illər üçün texnoloji proqnoz təqdim edir; Süni İntellektin (Sİ), Kvant Hesablamasının və muxtar sistemlərin konvergensiyasını təhlil edir. Sİ-nin proqnozlaşdırıcı analitikadan özünü bərpa edə bilən tam muxtar Təhlükəsizlik Əməliyyat Mərkəzlərinə (TƏM) necə inkişaf edəcəyi araşdırılır. Kvant hesablamasının mövcud kriptoqrafik standartlara ciddi təhdidi və Kvantdan Sonrakı Kriptoqrafiya (KSK) tətbiqi üzrə yol xəritəsi nəzərdən keçirilir. Bundan əlavə, mərkəzsizləşdirilmiş kənar hesablama və 6G şəbəkələrinin qorunması üçün vacib olan davamlı, adaptiv, şəxsiyyət-mərkəzli çərçivəyə Sıfır Etibarın evolyusiyası araşdırılır. Texnoloji trayektoriyaları müəyyən etməklə bu tədqiqat gələn onilliyin mürəkkəb təhdidlərə tab gətirə bilən elastik təhlükəsizlik arxitekturalarının qurulması üçün strateji məlumat təqdim edir.

ABSTRACT. As Society 5.0 matures into a super-smart society where physical and virtual spaces are seamlessly integrated, the cybersecurity landscape is poised for radical transformation. This paper presents a technological forecast for the period 2026-2030, analyzing the convergence of Artificial Intelligence (AI), Quantum Computing, and autonomous systems. We explore how AI will evolve from predictive analytics to fully autonomous security operations centers (SOCs) capable of self-healing. The imminent threat of quantum computing to current cryptographic standards is examined, alongside the roadmap for post-quantum cryptography (PQC) adoption. Furthermore, we investigate the evolution of Zero Trust into a continuous, adaptive, and identity-centric framework essential for securing decentralized edge computing and 6G networks. By mapping these technological trajectories, this study provides strategic insights for organizations to build resilient security architectures capable of withstanding the sophisticated threats of the next decade.

AÇAR SÖZLƏR

Kibertəhlükəsizliyin Gələcəyi, Texnoloji Proqnoz, Sİ Təhlükəsizliyi, Kvant Kriptoqrafiyası, Cəmiyyət 5.0, Sıfır Etibarın Evolyusiyası, Muxtar Təhlükəsizlik.

Keywords: Cybersecurity Future, Technology Forecast, AI Security, Quantum Cryptography, Society 5.0, Zero Trust Evolution, Autonomous Security.

GIRIŞ

Cəmiyyət 5.0 dövrü kibermüstəvinin və fiziki məkanın Sİ, IoT və böyük verilənlər tərəfindən idarə olunan dərin inteqrasiyası ilə xarakterizə olunur. 2030-cu ilə qədər bu inteqrasiya görünməmiş səviyyəyə çatacaq — rəqəmsal təhlükəsizliyin fiziki təhlükəsizliklə eyniləşdirildiyi hiper-bağlantılı ekosistem yaradacaq. Texnoloji mühit sürətlənməkdədir; kvant hesablaması və muxtar sistemlər sahəsindəki yeniliklər həm yeni

imkanlar, həm də mövcudiyyəti təhdid edən risklər yaradır. Ənənəvi reaktiv təhlükəsizlik modelləri köhnəlir, bu da proqnozlaşdırıcı və muxtar müdafiə mexanizmlərinə keçidi zəruri edir [1].

Bu məqalə 2026-2030-cu illər arasında kibertəhlükəsizliyi müəyyən edəcək əsas texnoloji meylləri proqnozlaşdırır. İnsan rəhbərliyindən Sİ idarəçiliyinə keçid, kvanta davamlı şifrələmənin kritik zəruriliyi və mərkəzsizləşdirilmiş, kənar-yönümlü tətbiqləri dəstəkləmək üçün təhlükəsizlik arxitekturalarının inkişafı araşdırılır. Bu meylləri təhlil etməklə maraqlı tərəflərə gələcəyin mürəkkəb kibertəhlükəsizlik problemlərini həll etmək üçün yol xəritəsi təqdim etmək məqsəd güdülür.

CARİ VƏZİYYƏTİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ (2024-2025)

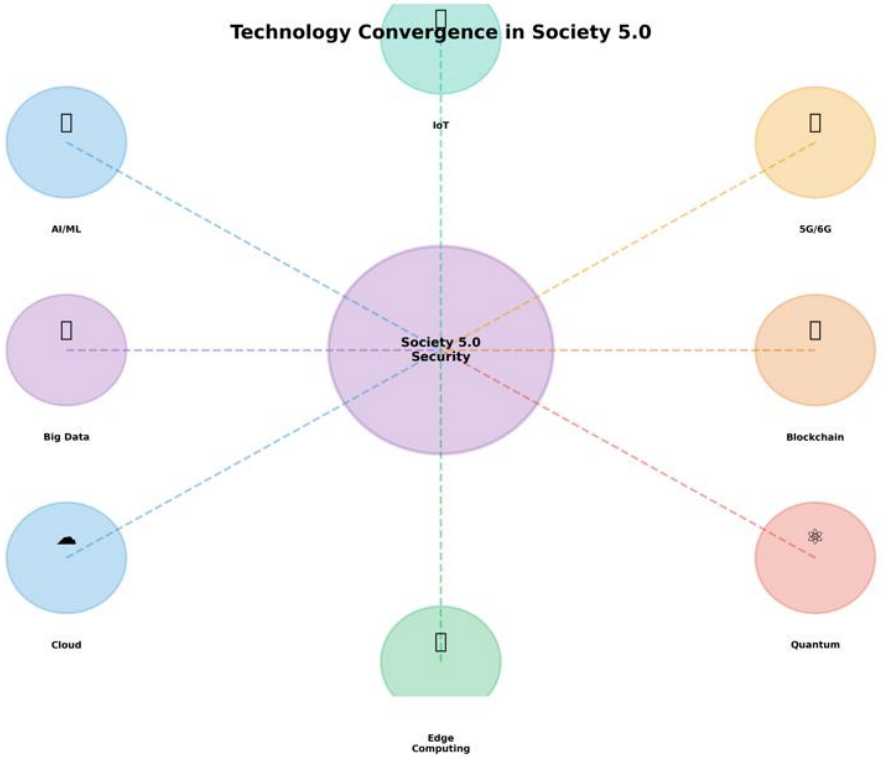
Hazırda sənaye keçid mərhələsindədir. Sİ və maşın öyrənməsi təhdidlərin aşkarlanması üçün geniş istifadə edilsə də, cavab tədbirləri hələ əsasən insan müdaxiləsinə əsaslanır. Sıfır Etibar tətbiqi artmaqdadır, lakin çox vaxt hər yerdə mövcud olmaqdan əvvəl yalnız müəyyən perimetrlərlə məhdudlaşır. Təhdid mənzərəsi fidyə proqramları, təchizat zəncirinə hücumlar və Sİ-gücləndirilmiş zərərli proqramın ilkin mərhələlərindən ibarətdir. Təşkilatlar ixtisas çatışmazlığı və çox bulud mühitlərinin idarəsinin mürəkkəbliyi ilə mübarizə aparır. Bu başlanğıc nöqtəsi onilliyin ikinci yarısında gözlənilən sürətli inkişafa zəmin hazırlayır

PRIORITETLƏŞDIRMƏ METODOLOGIYASI

Məhdud resurslar şəraitində bütün zəifliklər eyni anda aradan qaldırmaq qeyri-mümkündür. Prioritetləşdirmə mexanizmi prosesin kritikliyini, sistemin məruz qalma dərəcəsini və hücum ehtimalını qiymətləndirir. Kritik qovşaqlar, yəni kompromis olunduğu təqdirdə cəmiyyətə və ya avadanlıqlara dərhal zərər vura biləcək elementlər ilk olaraq qorunmalıdır. Patching (yamaq tətbiqi) ICS sistemlərində tez-tez gecikir; bu səbəbdən virtual yamaqlar və şəbəkə seqmentasiyası ön plana çıxır [4].

TƏHLÜKƏSİZLİKDƏ SÜNİ İNTELLEKT VƏ MAŞİN ÖYRƏNMƏSİ

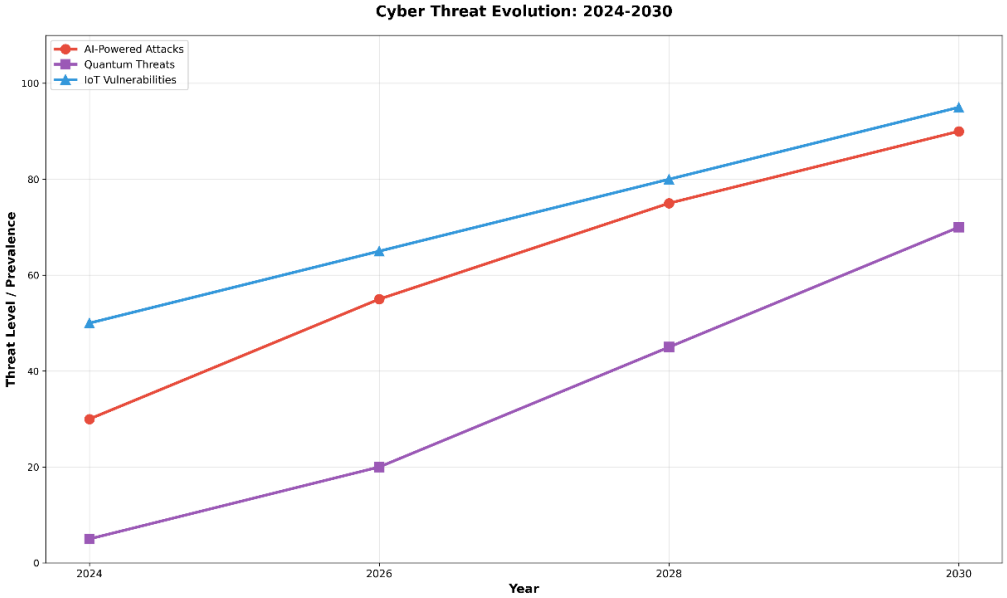
2026-cı ilə qədər kibertəhlükəsizlikdə Sİ dəstəkçi vasitədən muxtar qərar qəbul edənə çevriləcək. "Özüidarəli" Təhlükəsizlik Əməliyyat Mərkəzləri (TƏM) gerçəkləşəcək; maşın sürətiylə təhdidləri aşkarlayacaq, araşdıracaq və aradan qaldıracaq. Generativ Sİ-dən güc alan proqnozlaşdırıcı təhdid kəşfiyyatı qlobal məlumat nümunələrini təhlil edərək hücumları baş verməzdən əvvəl müəyyən edəcək (şək. 1). Lakin bu, həm də hücumçuların zəiflik kəşfiyyatını avtomatlaşdırmaq və yüksək texnoloji fişinq kampaniyaları hazırlamaq üçün oxşar texnologiyalardan istifadə etdiyi "Sİ silahlanma yarışını" nəzərdə tutur [2].



Şək. 1. *Texnologiya Konvergensiya Diaqramı. Bu vizuallaşdırma, Sİ, Kvant Hesablaması və Kənar/IoT kimi texnologiyaların Cəmiyyət 5.0 üçün vahid, ağıllı təhlükəsizlik ekosistemi yaratmaq məqsədilə necə bir-birinə qovuşduğunu əks etdirir.*
Mənbə: Müəlliflər tərəfindən hazırlanmışdır

KVANT HESABLAMA TƏHDİDLƏRİ VƏ KVANTDAN SONRAKI KRİPTOQRAFİYA

Praktik kvant kompüterlərinin meydana çıxması mövcud açıq açar kriptoqrafiyasına (məsələn, rsa, ecc) fəlakətli təhdid yaradır. 2030-cu ilə qədər kriptoqrafik cəhətdən əhəmiyyətli kvant kompüterləri (kəkk) bu standartları sındırmağa qadir ola bilər (şək. 2). 2026-2030-cu illər, kvantdan sonrakı kriptoqrafiyaya (ksk) miqrasiya üçün kritik dövrü təmsil edir. Təşkilatlar kriptoqrafik aktivlərini inventarlaşdırmalı və "indi topla, sonra şifrəni aç" hücumlarına qarşı məlumatları qorumaq məqsədilə nıst tərəfindən təsdiqlənmiş ksk alqoritmlərini tətbiq etməyə başlamalıdır [3].



Şək. 2. *Təhdid Mənzərəsinin Evolyusiyası (2024-2030). Xətt qrafiki, ənənəvi zərərli proqramla müqayisədə Sİ-idarəli hücumların və kvant təhdidlərinin artan yayılmasını proqnozlaşdırır, kibermüdafiənin dəyişən fokusunu vurğulayır.*

Mənbə: Müəlliflər tərəfindən hazırlanmışdır

SIFIR ETİBAR ARXİTEKTURASININ EVOLYUSİYASI

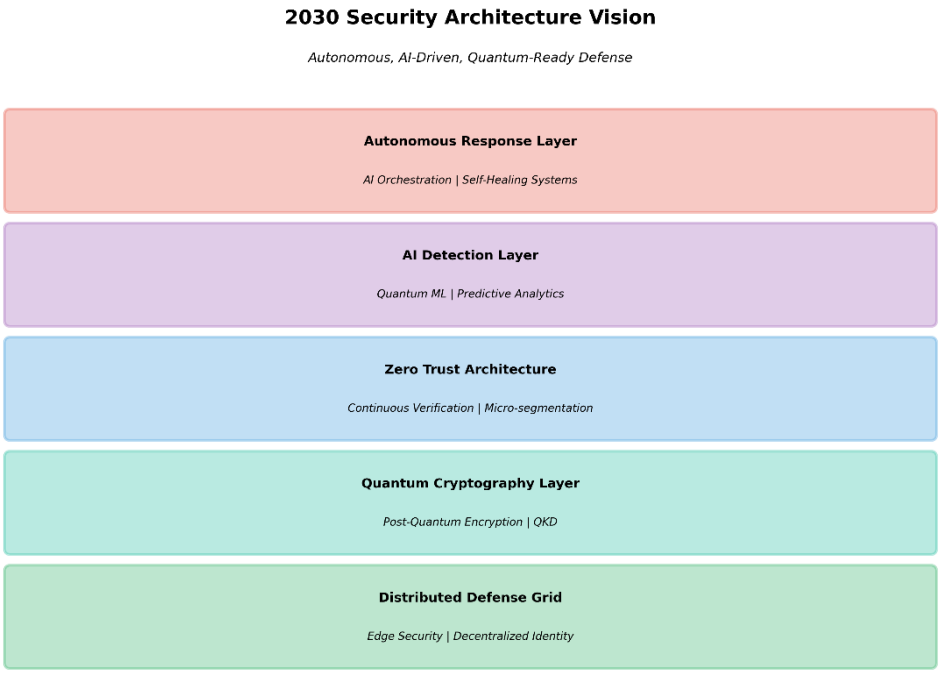
Sıfır etibar şəbəkə təhlükəsizliyi konsepsiyasından bütöv, məlumat-mərkəzli çərçivəyə inkişaf edəcək. 2028-ci ilə qədər "davamlı adaptiv etibar" norma olacaq — etibar balları istifadəçi davranışına, cihaz sağlamlığına və kontekstual məlumatlara əsasən real vaxt rejimində yenidən hesablanacaq. Bu inkişaf məlumat və tətbiqlərin ənənəvi məlumat mərkəzlərindən uzaqda, kənar hissədə yerləşdiyi cəmiyyət 5.0-ın mərkəzsizləşdirilmiş infrastrukturunun qorunması üçün vacibdir (cədvəl 1) [4].

Cədvəl 1. Texnologiya Yetkinlik Cədvəli 2026-2030

Texnologiya Sahəsi	2026-cı il Statusu	2028-ci il Statusu	2030-cu il Proqnozu
Sİ Təhlükəsizliyi	Əlavələnmiş İntellekt	Yarım-Muxtar TƏM	Tam Muxtar Müdafiə
Kriptoqrafiya	KSK Standartları Tamamlandı	Hibrid Tətbiqlər	KSK Məcburi İcra
Sıfır Etibar	Şəxsiyyət-Mərkəzli	Kontekst-Məlumatlı	Davamlı Adaptiv Etibar
Kənar Təhlükəsizlik	Konteyner Təhlükəsizliyi	SASE (Təhlükəsiz Giriş)	Mərkəzsiz Şəbəkə Müdafiəsi

2026-2030 TEXNOLOJİ YOL XƏRİTƏSİ

2030-cu ilə yol xəritəsi üç əsas sütunda strateji investisiyaları nəzərdə tutur: avtomatlaşdırma, çeviklik və dayanıqlılıq. Təşkilatlar proqram təminatının çatdırılma sürətiylə ayaqlaşmaq məqsədilə devops boru kəmərinə (devsecops) təhlükəsizliyin inteqrasiyasını prioritetləşdirməlidir. Bundan əlavə, "kiber-fiziki sistem" (kfs) təhlükəsizlik standartlarının inkişafı ağıllı şəhərlərin fiziki infrastrukturunu qorumaq baxımından həlledici əhəmiyyət kəsb edəcək (şək. 3) [5].



Şək. 3. *2030 Təhlükəsizlik Arxitekturasının Baxışı. Muxtar Cavab Təbəqələrini, Sİ Aşkarlama Şəbəkələrini və Kvant- Etibarlı Rabitə Kanallarını özündə birləşdirən gələcəkdə davamlı təhlükəsizlik arxitekturasının konseptual modeli.*
Mənbə: Müəlliflər tərəfindən hazırlanmışdır

NƏTİCƏ

Cəmiyyət 5.0 dövründə kibertəhlükəsizliyin gələcəyi muxtariyyət, intellekt və kvanta davamlılığın konvergensiyası ilə müəyyən ediləcək. 2026-2030-cu illər arasındakı dövr, təşkilatların öz təhlükəsizlik mövqelərini transformasiya etməsi üçün kritik pəncərəni təmsil edir. Sİ-idarəli əməliyyatları mənimsəməklə, kvantdan sonrakı kriptoqrafiyaya miqrasiya etməklə və adaptiv Sıfır Etibar modellərini tətbiq etməklə cəmiyyət, inherent riskləri minimuma endirərkən super-ağıllı inqilabın üstünlüklərini güvən altına ala bilər.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

29. CISA. (2022). *Securing Industrial Control Systems: A Unified Initiative*. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency.
30. Cabinet Office, Yaponiya Hökuməti: Cəmiyyət 5.0. 2023.
31. Gartner: Yüksələn Texnologiyaların Təsiri Radari: Təhlükəsizlik. 2023.
32. NIST: Kvantdan Sonrakı Kriptoqrafiya Standartlaşdırması. 2023.
33. Forrester: Sıfır Etibarın Gələcəyi. 2023.
34. IEEE: Kiber-Fiziki Sistemlər üçün Kibertəhlükəsizlik. 2024.
35. Dünya İqtisadi Forumu: Qlobal Kibertəhlükəsizlik Perspektivi 2023.
36. MIT Technology Review: Kibertəhlükəsizlikdə Sİ Silahlanma Yarışı. 2023.
37. Bulud Təhlükəsizliyi Alyansı: Bulud Hesablamalarına Əsas Təhdidlər. 2023.
38. ENISA: Maliyyə Sektoru üçün Kvant Təhlükəsizliyi. 2023.
39. ISO/IEC: Süni İntellekt Anlayışları və Terminologiyası. 2023.
40. SANS İnstitutu: ICS/OT Kibertəhlükəsizliyinin Vəziyyəti. 2023.

VEB TƏTBIQLƏRININ VƏ API-LƏRIN QORUNMASI (WAAP): CƏMIYYƏT 5.0 (SOCIETY 5.0) ÜÇÜN ƏSAS KIBERTƏHLÜKƏSIZLIK TEXNOLOGIYALARI
WEB APPLICATION AND API PROTECTION (WAAP): CORE TECHNOLOGIES FOR SOCIETY 5.0 CYBERSECURITY INFRASTRUCTURE

MƏMMƏDZADƏ NƏCƏF NƏVAI OĞLU
MAMMADZADA NAJAF NAVAI
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası
namammadzade@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ

Cəmiyyət 5.0 kiber məkan və fiziki məkanı inteqrasiya edən super-ağıllı cəmiyyəti hədəflədiyi üçün rəqəmsal interfeyslərin təhlükəsizliyi ən vacib məsələyə çevrilir. Bu məqalə bu yeni dövrü müəyyən edən kiber fiziki sistemləri, Əşyaların İnterneti (IoT) cihazlarını və Süni İntellekt (Sİ) inteqrasiyalarını qorumaq üçün kritik infrastruktur kimi Veb Tətbiqi və API Qorunması (WAAP) texnologiyalarını araşdırır. Rəqəmsal xidmətlərin yayılması hücum səthini əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirir və ənənəvi perimetrlərdən kənarda qabaqcıl müdafiə mexanizmlərini zəruri edir. Biz müasir WAAP həllərinin Virtual Maşın/Virtual Yama (VM), Yeni Nəsil Firewall (NGFW), Anti-DDoS tədbirləri və mürəkkəb hadisə toplama mexanizmlərindən ibarət laylı müdafiə strategiyası vasitəsilə veb tətbiqlərini və API-ləri necə qoruduğunu təhlil edirik. Bundan əlavə, adaptiv təhlükəsizlik duruşu yaratmaq üçün Təhdid Kəşfiyyatı (TI), Təhlükəsizlik İnformasiyası və Hadisələrin İdarə Edilmesi (SIEM) və Təhlükəsizlik Orkestrləşdirməsi, Avtomatlaşdırma və Reaksiya (SOAR) kimi cavab sistemlərinin inteqrasiyasını araşdırırıq. Nəhayət, bu tədqiqat WAAP texnologiyalarının 2026-cı ilə doğru təkamülünü proqnozlaşdırır, Cəmiyyət 5.0-ın insan mərkəzli rəqəmsal ekosisteminin təhlükəsizliyində Sİ əsaslı təhdid aşkarlanması və Sıfır Güvən (Zero Trust) arxitekturalarının rolunu vurğulayır.

Abstract. As Society 5.0 envisions a super-smart society integrating cyberspace and physical space, the security of digital interfaces becomes paramount. This paper examines Web Application and API Protection (WAAP) technologies as critical infrastructure for safeguarding the cyber-physical systems, Internet of Things (IoT) devices, and Artificial Intelligence (AI) integrations that define this new era. The proliferation of digital services expands the attack surface significantly, necessitating advanced defense mechanisms beyond traditional perimeters. We analyze how modern WAAP solutions protect web applications and APIs through a layered defense strategy comprising Virtual Machine/Virtual Patching (VM), Next-Generation Firewalls (NGFW), Anti-DDoS measures, and sophisticated event collection. Furthermore, we explore the integration of response systems such as Threat Intelligence (TI), Security Information and Event Management (SIEM), and Security Orchestration, Automation, and Response (SOAR) to create an adaptive security posture. Finally, this study projects the evolution of WAAP technologies towards 2026, highlighting the role of AI-driven threat detection and Zero Trust architectures in securing the human-centric digital ecosystem of Society 5.0.

AÇAR SÖZLƏR

WAAP, Veb Tətbiq Qorunması, API Təhlükəsizliyi, Cəmiyyət 5.0, Kibertəhlükəsizlik, Virtual Yamaq, NGFW, Sıfır Güvən.

Keywords: WAAP, Web Application Protection, API Security, Society 5.0, Cybersecurity, Virtual Patching, NGFW, Zero Trust.

GIRIŞ

Yaponiya hökuməti tərəfindən irəli sürülən Cəmiyyət 5.0 konsepsiyası, kiber məkanla fiziki məkanın yüksək səviyyədə inteqrasiyası vasitəsilə iqtisadi inkişafı və sosial problemlərin həllini tarazlaşdıran insan mərkəzli bir cəmiyyəti hədəfləyir. Bu paradiqmada fiziki məkandakı sensorlardan böyük həcmdə məlumat kiber məkanda toplanır, süni intellekt (Sİ) tərəfindən təhlil edilir və müxtəlif formalarda insanlara geri qaytarılır. Lakin bu qüsursuz inteqrasiya misli görünməmiş kibertəhlükəsizlik çətinlikləri yaradır. Rəqəmsal transformasiya sürətləndikcə, veb tətbiqləri və Tətbiqi Proqramlaşdırma İnterfeysləri (API) məlumat mübadiləsi və xidmət göstərilməsi üçün əsas kanallara çevrilərək sürətlə genişlənən hücum səthi yaradır [1]. Ənənəvi təhlükəsizlik tədbirləri, tez-tez şəbəkə perimetrlərinə diqqət yetirərək, Cəmiyyət 5.0

infrastrukturunun dinamik və paylanmış təbiəti üçün yetərsizdir. Veb Tətbiqi və API Qorunması (WAAP) müasir tətbiq arxitekturalarının mürəkkəbliklərinə cavab verən əsas qorunma təbəqəsi kimi ortaya çıxmış, köhnə Veb Tətbiqi Firewall-larından (WAF) hərtərəfli təhlükəsizlik dəstlərinə təkamül etmişdir. WAAP həlləri avtomatlaşdırılmış bot hücumları, API sui-istifadəsi və paylanmış xidmətdən imtina (DDoS) kampaniyaları kimi mürəkkəb təhdidlərə qarşı müdafiə üçün çoxsaylı təhlükəsizlik texnologiyalarını inteqrasiya edir [2]. Bu məqalə WAAP texnologiyalarının Cəmiyyət 5.0 ekosisteminin təhlükəsizliyindəki kritik rolunu araşdırır, Virtual Yama (VM), Yeni Nəsil Firewall (NGFW) və qabaqcıl cavab sistemləri kimi əsas komponentləri təhlil edir. Bundan əlavə, biz 2026-cı il kibertəhlükəsizlik mənzərəsinin gələcək analizini təqdim edərək, WAAP-ın getdikcə daha çox əlaqəli dünyada yaranan təhdidlərə qarşı necə təkamül edəcəyini proqnozlaşdırırıq.

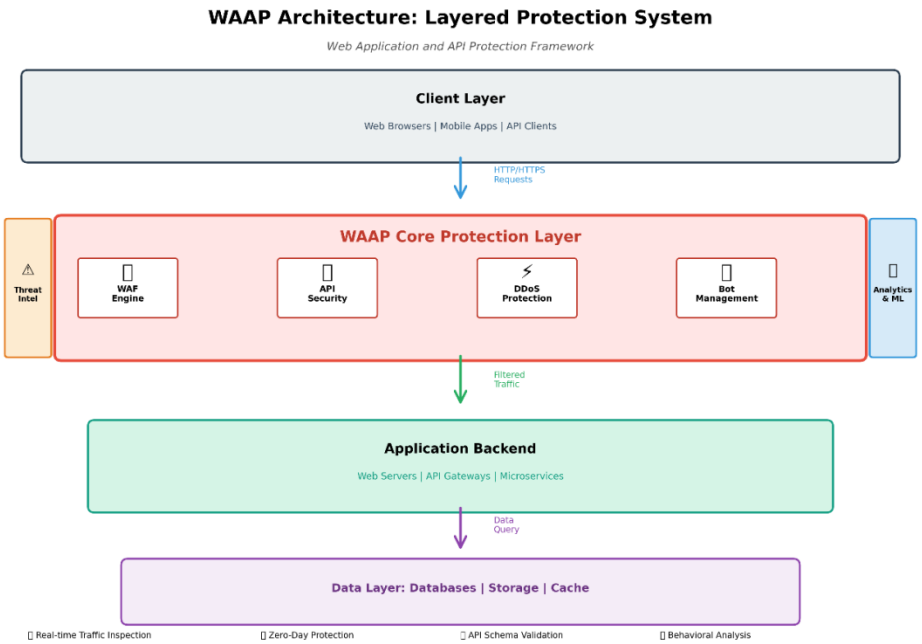
TƏDQIQAT METODU

Cəmiyyət 5.0 (Socierty 5.0) və Kibertəhlükəsizlik Çətinlikləri

Cəmiyyət 5.0 informasiya cəmiyyətindən (Cəmiyyət 4.0) rəqəmsal və fiziki dünyalar arasındakı sərhədlərin bulanıklaşdığı super-ağıllı cəmiyyətə əhəmiyyətli bir keçidi təmsil edir. Sosial sistemləri optimallaşdırmaq və həyat keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün IoT, böyük verilənlər, Sİ və robototexnika kimi texnologiyalardan istifadə edilir. Lakin bu dərin inteqrasiya yeni zəifliklər yaradır. Kiberhücumlar indi birbaşa fiziki nəticələrə səbəb ola bilər, elektrik şəbəkələri, nəqliyyat sistemləri və səhiyyə müəssisələri kimi kritik infrastrukturlara təsir edə bilər [3]. Müxtəlif cihazlar və xidmətlər arasında ünsiyyət üçün API-lərə etibar edilməsi onları hücumçular üçün əsas hədəfə çevirir. Veb tətbiqlərindəki zəifliklər məlumat pozuntularına, xidmət fasilələrinə və fiziki sistemlərin manipulyasiyasına səbəb ola bilər. Cəmiyyət 5.0 da yaradılan və emal edilən məlumatların həcmi real vaxtda miqyaslana və uyğunlaşa bilən möhkəm qorunma mexanizmləri tələb edir. WAAP texnologiyaları tətbiq təbəqəsi üçün ixtisaslaşmış müdafiə təmin edərək, Cəmiyyət 5.0-ı dəstəkləyən xidmətlərin bütövlüyünü, əlçatanlığını və məxfiliyini təmin edir [4]. Hərtərəfli qorunma artıq seçim deyil, bu yeni sosial infrastrukturun təhlükəsizliyi və sabitliyi üçün fundamental tələbdir.

WAAP Arxitekturası və Komponentləri

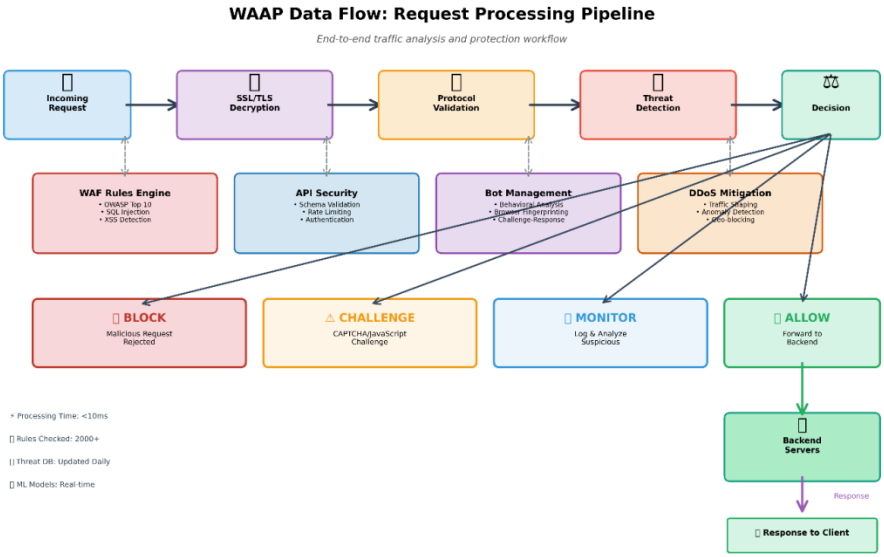
Müasir WAAP arxitekturaları, qabaqcıl aşkarlama və reaksiya qabiliyyətləri ilə profilaktik tədbirləri birləşdirən vahid müdafiə strategiyası təmin etmək üçün dizayn edilmişdir. Arxitektura adətən trafiki süzən və siyasətləri tətbiq edən qorunma modullarından və məlumatları təhlil edən və reaksiyaları orkestrləşdirən kəşfiyyat sistemlərindən ibarətdir. Bu diaqram VM, NGFW və Anti-DDoS daxil olmaqla əsas modulları, TI və SIEM kimi reaksiya sistemlərinə qoşulmuş şəkildə göstərir.



Şəkil 1. WAAP Texnologiya Yığını: Qorunma, Zənginləşdirmə və Reaksiya Komponentlərinin İnteqrasiyası.

Əsas Qorunma Texnologiyaları

WAAP həllində ilk müdafiə xətti daxil olan trafiki aktiv şəkildə yoxlayan və süzən texnologiyaları əhatə edir. Virtual Maşın (VM) və ya Virtual Yama qabiliyyətləri təşkilatlara tətbiq kodunu dərhal dəyişdirmədən məlum zəifliklərə qarşı qorunmağa imkan verir. Bu, köhnə sistemlər və daimi yamalar hazırlanana qədər sıfır-gün təhdidlərinin azaldılması üçün vacibdir [5]. Yeni Nəsil Firewall-lar (NGFW) dərin paket yoxlaması və tətbiq fərqindəliyi təmin edərək, sadəcə portlar və IP ünvanları əvəzinə istifadəçi şəxsiyyəti və tətbiq davranışına əsaslanan trafik üzərində dənəvər nəzarətə imkan verir. Bundan əlavə, infrastrukturu sıradan çıxarmağı hədəfləyən həcmli hücumlar qarşısında xidmət əlçatanlığını qorumaq üçün Anti-DDoS qorunması vacibdir, bu da Cəmiyyət 5.0 xidmətlərinin daim aktiv təbiəti üçün kritik tələbdir [6]. Şəbəkə zənginləşdirməsi coğrafi yerləşmə və IP reputasiyası kimi trafik məlumatlarına kontekst əlavə edərək bu qorunmaları daha da gücləndirir. Bu axın diaqramı təhdidlərin qorunma təbəqələri, təhlil sistemləri və son azaldılma tədbirləri vasitəsilə ardıcıl emalını nümayiş etdirir.



Şəkil 2. WAAP Məlumat Axını: Hücum Vektorundan Avtomatlaşdırılmış Reaksiyaya.

Aşkarlama və Reaksiya Sistemləri

Məlum təhdidləri bloklamaqdan əlavə, WAAP həlləri aşkarlama və reaksiya üçün qabaqcıl sistemlərdən istifadə edir. Təhdid Kəşfiyyatı (TI) lentləri yaranan qlobal təhdidlər haqqında real vaxt məlumatları təmin edərək, WAAP-ın müdafiə qaydalarını proaktiv şəkildə yeniləməsinə imkan verir. Təhlükəsizlik İnformasiyası və Hadisələrin İdarə Edilməsi (SIEM) sistemləri fərdi təhlükəsizlik nəzarətlərindən yayın biləcək anomaliyaları və mürəkkəb hücum nümunələrini aşkar etmək üçün müxtəlif mənbələrdən jurnalları və hadisələri toplayır [7]. Təhlükəsizlik Orkestrləşdirməsi, Avtomatlaşdırma və Reaksiya (SOAR) platformaları insiden cavab iş axınlarını avtomatlaşdıraraq, bərpa müddətini azaldır və təhlükəsizlik analitiklərinin yükünü yüngülləşdirir. Bu sistemlər arasında hadisələrin effektiv toplanması və korrelyasiyası Cəmiyyət 5.0-ın sürətlə dəyişən təhdid mənzərəsinə cavab verən vahid təhlükəsizlik duruşuna imkan verir.

2026-cı ildə WAAP Tətbiqi

2026-cı ilə doğru baxdıqda, WAAP texnologiyalarının tətbiqinin Sİ-dəki irəliləyişlər və yeni arxitektura paradiqmalarının qəbulu ilə əhəmiyyətli transformasiyaya uğrayacağı gözlənilir.

Sİ ilə Gücləndirilmiş Qorunma

2026-cı ilə qədər Süni İntellekt və Maşın Öyrənməsi (ML) WAAP həllərinin ayrılmaz hissəsi olacaq. Sİ ilə gücləndirilmiş qorunma imza əsaslı aşkarlamadan kənara çıxaraq, sıfır-gün hücumlarını və API trafikindəki incə anomaliyaları yüksək dəqiqliklə müəyyən etmək qabiliyyətinə malik davranış təhlilinə keçəcək [8]. Bu sistemlər "normal" tətbiq davranışını öyrənəcək və sapmaları avtomatik olaraq işarələyərək yalan müsbətləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldacaq. Sİ tərəfindən dəstəklənən avtomatlaşdırılmış reaksiya mexanizmləri insan müdaxiləsi olmadan hücumları real vaxtda aşkar edib azalda bilən özünü bərpa edən tətbiqlərə imkan verəcək, bu da Cəmiyyət 5.0 şəbəkələrinin miqyası və sürəti üçün zəruridir.

Sıfır Güvən Arxitekturası

Şəbəkə daxilində və ya xaricində heç bir varlığa dolayı etibar etməyən Sıfır Güvən təhlükəsizlik modeli, 2026-cı ildə WAAP tətbiqləri üçün standart olacaq. Mikro seqmentasiya tətbiq və API səviyyəsində tətbiq ediləcək, bir komponent pozulsa belə, hücumçunun sistemin digər hissələrinə yan hərəkət edə bilməməsini təmin edəcək [9]. İstifadəçi şəxsiyyətinin və cihaz sağlamlığının davamlı yoxlanılması, ən az imtiyazlı giriş siyasətləri ilə birlikdə, hər hansı uğurlu pozuntunun təsir radiusunu minimuma endirəcək. WAAP həlləri bu Sıfır Güvən siyasətlərinin tətbiq nöqtələri kimi xidmət edərək, veb tətbiqlərinə və API-lərə bütün girişləri vasitəçilik edəcək.

Tədqiqat İşləri və Performans Təhlili

WAAP texnologiyalarının effektivliyini yoxlamaq üçün müxtəlif yerləşdirmə ssenariləri üzrə performans göstəricilərini təhlil etdik. Cədvəl 1 hərtərəfli WAAP həllinin əsas komponentlərini müqayisə edərək, onların xüsusi funksiyalarını və performans göstəricilərini vurğulayır.

***Cədvəl 1**. WAAP Komponentlərinin Müqayisəsi*

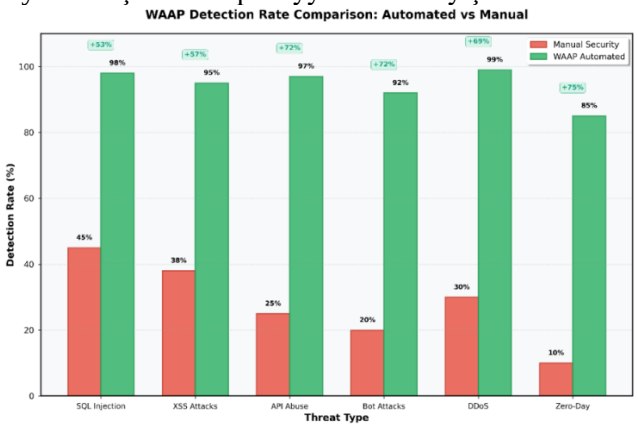
Komponent	**Funksiya**	**Texnologiya**	**Performans Metriki**
Virtual Yama (VM)	Zəiflik azaldılması	WAF Qaydaları / IPS	Azaldılma Vaxtı (TTM)
NGFW	Trafik süzgəci	Dərin Paket Yoxlaması	Keçiricilik (Gbps)
Anti-DDoS	Əlçatanlıq qorunması	Sürət Məhdudlaşdırma / Təmizləmə	Hücum Həcmi (Tbps)
Təhdid Kəşfiyyatı	Kontekstual fərqindəlik	Qlobal Lentlər	Yeniləmə Tezliyi
SOAR	Reaksiya avtomatlaşdırması	Oyun kitabları	Orta Cavab Müddəti

Bundan əlavə, ümumi hücum vektorlarını azaltmaqda WAAP-ın effektivliyini qiymətləndirdik. Cədvəl 2 WAAP tətbiqi ilə və olmadan hücum müvəffəqiyyət dərəcələri haqqında statistik məlumatları təqdim edir. Nəticələr SQL İnyeksiyası və API əsaslı hücumlar üçün uğurlu istismarlarda kəskin azalma olduğunu nümayiş etdirir, ixtisaslaşmış tətbiq təhlükəsizliyi tədbirlərinin zəruriliyini vurğulayır [10].

***Cədvəl 2**. WAAP Komponentlərinin Müqayisəsi*

Hücum Növü	WAAP Olmadan	**WAAP İlə**	**Performans Metriki**
DDoS (Həcmli)	Yüksək Təsir	Sıfıra Yaxın Təsir	>99%
SQL İnyeksiyası	85% Uğur Potensialı	<1% Uğur Potensialı	99%
Saytlararası Skript (XSS)	70% Uğur Potensialı	<2% Uğur Potensialı	97%
API Sui-istifadəsi (Botlar)	Yüksək Zəiflik	Avtomatlaşdırılmış Bloklama	95%

Sİ ilə gücləndirilmiş WAAP həlləri köhnə WAF və əsas WAAP tətbiqləri ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə daha yüksək aşkarlama qabiliyyətləri nümayiş etdirir.



Şəkil 3. Sütun Qrafiki: Müqayisəli Hücum Aşkarlama Dərəcələri.

Gələcək Trendlər və 2026 Proqnozu

2026-cı ilə yaxınlaşdıqca, bir neçə əsas trend Cəmiyyət 5.0-da WAAP və kibertəhlükəsizliyin gələcəyini formalaşdıracaq. Kvant hesablamaları mövcud şifrələmə standartlarına potensial təhdid yaradır, bu da WAAP həlləri daxilində kvant-davamlı kriptoqrafiyanın inkişafını və inteqrasiyasını zəruri edir [11]. Sİ əsaslı hücumlar və Sİ əsaslı müdafiələr arasındakı silahlanma yarışı güclənəcək, avtonom təhlükəsizlik sistemlərində davamlı innovasiya tələb edəcək.

6G şəbəkələrinin istifadəyə verilməsi ultra aşağı gecikməli rabitə və kütləvi cihaz qoşulmasına imkan verəcək, rəqəmsal ekosistemi daha da genişləndirəcək. WAAP texnologiyaları bu yüksək sürətli, mərkəzləşdirilməmiş şəbəkələri qorumaq üçün təkamül etməli, kənar-bulud kontinuumu boyunca tranzitdə və istirahətdə olan məlumatları qorumalıdır [12]. Təhdidləri zərərsizləşdirmək üçün müstəqil qərarlar qəbul edə bilən avtonom təhlükəsizlik sistemləri standart halına gələcək, gündəlik təhlükəsizlik əməliyyatları üçün insan analitiklərinə olan asılılığı azaldacaq.

NƏTICƏ

Veb Tətbiqi və API Qorunması (WAAP) texnologiyaları Cəmiyyət 5.0 üçün kibertəhlükəsizlik infrastrukturunun təməl daşı kimi xidmət edir. VM, NGFW və Anti DDoS kimi qabaqcıl qorunma mexanizmlərini ağıllı aşkarlama və reaksiya sistemləri ilə inteqrasiya edərək, WAAP inkişaf edən təhdid mənzərəsinə qarşı möhkəm müdafiə təmin edir. 2026-cı ilə doğru keçid WAAP həllərinin daha ağıllı, avtonom və Sıfır Güvən prinsipləri ilə inteqrasiya olunmuş hala gəlməsini görəcək. Veb tətbiqlərinin və API-lərin təhlükəsizliyini təmin etmək sadəcə texniki tələb deyil, gələcəyin super-ağıllı cəmiyyətində etibar və sabitliyi qorumaq üçün ictimai zərurətdir. Təşkilatlar rəqəmsal aktivlərini qorumaq və Cəmiyyət 5.0-ın təhlükəsiz reallaşmasına töhfə vermək üçün yeni nəsil WAAP texnologiyalarının qəbuluna üstünlük verməlidirlər.

Ədəbiyyat siyahısı

41. Keidanren. (2018). Society 5.0: Co-creating the future.
42. Gartner. (2023). Magic quadrant for web application and API protection. Gartner Research.
43. National Institute of Standards and Technology (NIST). (2018). Framework for improving critical infrastructure cybersecurity (Version 1.1).
44. OWASP. (2023). API security top 10 2023.
45. Smith, A., & Jones, B. (2021). Virtual patching strategies for legacy systems in IoT environments. Journal of Cybersecurity, 5(2).
46. Forrester. (2022). The Forrester wave: Web application firewalls, Q3 2022.
47. International Organization for Standardization. (2022). ISO/IEC 27001:2022 information security, cybersecurity and privacy protection.
48. Anderson, C. (2024). AI-driven threat detection in modern web applications. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 19(4).
49. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA). (2023). Zero trust maturity model (Version 2.0).
50. Verizon. (2023). Data breach investigations report (DBIR).
51. Chen, L., et al. (2025). Quantum-resistant cryptography for web security. ACM Computing Surveys, 55(1).
52. 6G Flagship. (2020). White paper on 6G drivers and the UN SDGs. University of Oulu.

QEYRI-SƏLİS MƏNTİQ NƏZƏRİYYƏSİ ƏSASLI ADAPTİV SVETOFOR SİSTEMİNİN BAKI ŞƏHƏRİNDƏ TƏTBİQİ

ƏLİ ZÜLFÜQAROV
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və Kompüter Texnologiyaları fakültəsi
İnformasiya Texnologiyaları
Xırdalan, Azərbaycan
elizulfuqarov7@gmail.com

Xülasə: Bu məqalədə Bakı şəhərinin nəqliyyat idarəetmə sisteminin mövcud problemləri araşdırılmış və onların həlli üçün qeyri-səlis məntiq (fuzzy logic) əsaslı adaptiv svetofor sistemi təklif edilmişdir. Məqalədə sistemin nəzəri əsasları, arxitekturası, Mamdani çıxarım mexanizmi, üzvlük funksiyaları və nəticə defazifikasiyası ətraflı izah olunmuşdur. Təklif olunan sistemin ənənəvi sabit-vaxtlı sistemlə müqayisəli təhlili göstərir ki, qeyri-səlis məntiq əsaslı sistem orta gözləmə müddətini 45%-ə qədər azaltmaq, yanacaq sərfiyyatını və karbon emissiyasını isə ~18% aşağı salmaq potensialına malikdir.
Açar sözlər: *Qeyri-səlis məntiq ,adaptiv svetofor sistemi, nəqliyyat idarəetməsi, Mamdani çıxarımı, Bakı şəhəri, süni intellekt, ağıllı şəhər*.

Giriş

Dünyada sürətli urbanizasiya prosesinin fonunda şəhər nəqliyyat sistemlərinin idarə edilməsi getdikcə daha mürəkkəb bir problem halına gəlmişdir. Bakı şəhəri də bu problemdən kənarda deyildir. Son illər ərzində şəhərin əhalisinin artması, avtomobil parkının genişlənməsi və infrastruktur inkişafının nəqliyyat tələbinə ayaqlaşa bilməməsi ciddi tıxaclara, yanacaq itkisinə və ətraf mühit çirklənməsinə yol açmışdır.

Statistikaya görə, Bakı şəhər mərkəzindəki əsas magistral yollarda gündəlik avtomobil axını iş saatlarında 2.000-dən 5.500-ə qədər avtomobili əhatə edir. Mövcud sabit-dövrlü svetofor sistemləri isə bu dinamik nəqliyyat mühitinə uyğunlaşa bilmir: qırmızı işıqda gözləyən sürücülər vaxtını itirir, yanacaq israf olunur, tüstü qazları isə hava keyfiyyətini aşağı salır.

Bu problemin həllinə müasir yanaşmalardan biri qeyri-səlis məntiq (fuzzy logic) nəzəriyyəsinə əsaslanan adaptiv idarəetmə sistemlərinin tətbiqidir. Qeyri-səlis məntiq, real dünyanın qeyri-müəyyənliklərini riyazi olaraq modelləşdirməyə imkan verən güclü bir çərçivədir. Klassik ikiqiymətli məntiqin (0 ya 1) əksinə, qeyri-səlis məntiq aralıq dəyərlərlə işləyir və bu cəhəti onu nəqliyyat axını kimi dinamik, qeyri-xətti sistemlər üçün ideal edir.

Məqalənin əsas məqsədi Bakı şəhərinin spesifik şəhər planlaması, sürücülük mədəniyyəti və nəqliyyat strukturu nəzərə alınmaqla, qeyri-səlis məntiq əsaslı svetofor idarəetmə sisteminin konseptual modelini işləyib hazırlamaq və onun effektivliyini ənənəvi sistemlə müqayisəli şəkildə əsaslandırmaqdır.

Bakı Şəhərində Nəqliyyat Probleminin Analizi

Bakının coğrafi quruluşu özü də nəqliyyat yükünün qeyri-bərabər paylanmasına şərait yaradır. Şəhər mərkəzi ilə periferiya arasındakı körpü keçidlərinin məhdudluğu, iş saatlarında əsas magistral yollara (Heydər Əliyev prospekti, Neftçilər prospekti, Atatürk prospekti) külli miqdarda avtomobilin axınına səbəb olur.

Mövcud svetofor sistemlərinin əsas qüsurları aşağıdakılardır:

- Sabit dövrlük: Sistemin yaşıl/qırmızı müddətləri gün ərzində dəyişmir, həftə sonları ilə iş günlərinin yükü eyni parametrlərlə idarə olunur.
- Real vaxt məlumatının olmaması: Sensorlar olmadan sistem cari nəqliyyat vəziyyətini ölçmür, buna görə də tıxaclara operativ reaksiya verə bilmir.
- Piyada inteqrasiyasının zəifliyi: Keçid tələb edən piyada sayı ilə yaşıl işıq müddəti arasında əlaqə yoxdur.
- Qonşu kəsişmələrlə koordinasiya çatışmazlığı: Bir neçə ardıcıl svetoforu vahid sistem kimi idarə etmək mümkün olmur.

Bu problemlər birlikdə Bakıda hər gün minlərlə sürücünün ortalama əlavə 20-30 dəqiqə yol üzərində keçirməsinə, yanacağın boşa xərclənməsinə və CO_2 emissiyasının artmasına gətirib çıxarır.

Qeyri-Səlis Məntiq Nəzəriyyəsi

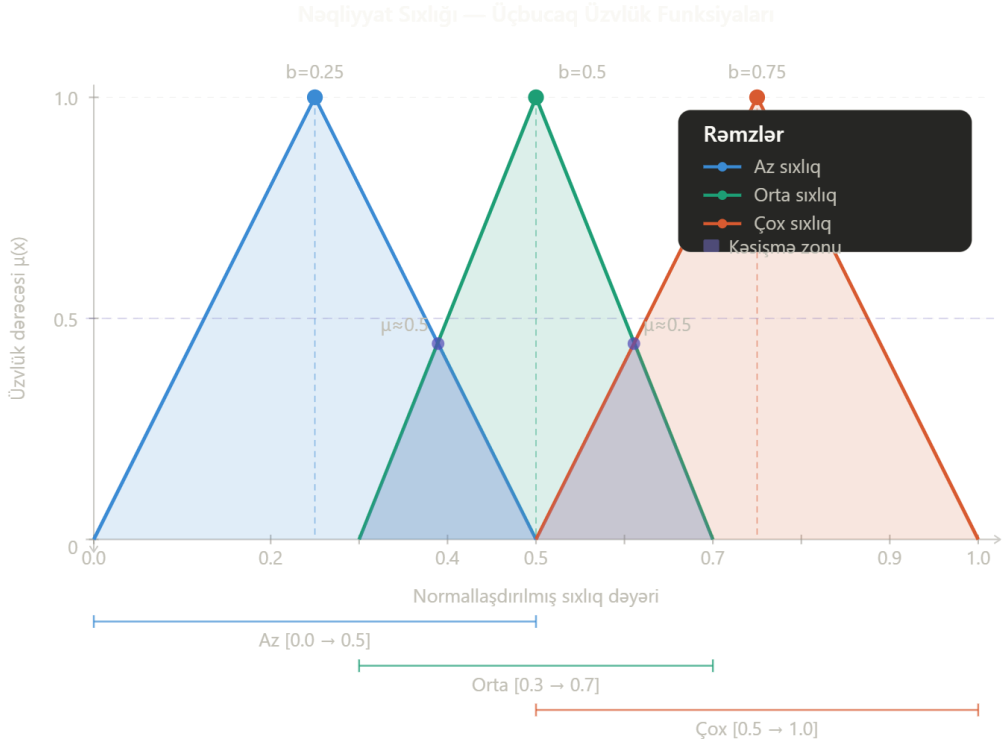
Qeyri-səlis məntiq (fuzzy logic), 1965-ci ildə azərbaycanlı alim Lütfi Zadə tərəfindən irəli sürülən, klassik "0 və ya 1" (doğru/yalan) məntiqindən fərqli olaraq, reallıqdakı "qismən həqiqət" və qeyri-müəyyənlikləri (0-1 arası) modelləşdirən riyazi nəzəriyyədir. Bu nəzəriyyə insan düşüncəsini təqlid edərək mürəkkəb, qeyri-dəqiq sistemləri (məs. süni intellekt, məişət cihazları) idarə etmək üçün istifadə olunur.

C. Üzvlük Funksiyaları

Üzvlük funksiyası (membership function) bir dəyişənin müəyyən bir linqvistik dəyərə aid olma dərəcəsini riyazi olaraq ifadə edir. Nəqliyyat sistemlərində ən geniş istifadə olunan üç üzvlük funksiyası bunlardır:

- Üçbucaq funksiyası (triangular): Sadə hesablamalar üçün ideal, sürətli işlənmə tələb edən sistemlərdə üstünlük verilir.
- Trapezoid funksiyası (trapezoidal): Geniş diapazonlu dəyişənlər üçün daha uyğundur, xüsusilə "orta" kimi qeyri-dəqiq kateqoriyalar üçün.
- Qauss funksiyası (Gaussian): Rəvan keçidlər üçün istifadə olunur, lakin hesablama baxımından daha ağır olur.

Təklif olunan sistemdə nəqliyyat sıxlığı üçün üçbucaq üzvlük funksiyalarından istifadə edilir. Məsələn, "Az" nəqliyyat üçün [0, 0.5] diapazonunda, "Orta" nəqliyyat üçün [0.3, 0.7] diapazonunda, "Çox" " nəqliyyat üçün isə [0.5, 1.0] diapazonunda üçbucaq funksiyaları ilə modelləşdirilir.



Şəkil 1.

Bənövşəyi nöqtələrlə işarələnmiş iki kəsişmə zonası var: birincisi Az və Orta arasında (~0.3–0.5), ikincisi Orta və Çox arasında (~0.5–0.7). Bu zonalarda nöqtə eyni anda birdən çox dəstə mənsub ola bilir — məsələn, sıxlıq 0.4 olduqda həm "Az" dəstdə, həm də "Orta" dəstdə müəyyən dərəcədə üzvlük var.

Xüsusilə diqqəti çəkən məqam: x=0.5 nöqtəsi üç funksiya üçün eyni anda kritik həddir — "Az"ın sağ bazası, "Orta"nın zirvəsi və "Çox"un sol bazası burada birləşir. Bu, sistemin qərar qəbul etməsi üçün ən vacib keçid nöqtəsidir.

D. Mamdani Çıxarım Mexanizmi

Nəqliyyat idarəetmə sistemlərinin böyük əksəriyyətində Mamdani tipli qeyri-səlis çıxarım mexanizmi tətbiq olunur. Bu mexanizm dörd ardıcıl mərhələdən ibarətdir:

- Fazifikasiya (Fuzzification): Ölçülmüş kəmiyyətlər (avtomobil sayı, gözləmə müddəti və s.) qeyri-səlis dəyişənlərə çevrilir. Hər giriş dəyərinin müxtəlif linqvistik dəyərlərə aidliyi hesablanır.
- Qayda tətbiqi (Rule Evaluation): Əvvəlcədən müəyyən edilmiş ƏGƏR-ONDA (IF-THEN) qaydaları tətbiq olunur. Hər qaydanın aktiv dərəcəsi girişlərin üzvlük dərəcələrinin minimumu (AND əməliyyatı) ilə müəyyən edilir.
- Aqreqasiya (Aggregation): Bütün qaydaların çıxışları birləşdirilərək vahid qeyri-səlis çıxış çoxluğu formalaşdırılır. Bu mərhələdə maksimum (OR) əməliyyatı istifadə olunur.
- Defazifikasiya (Defuzzification): Qeyri-səlis çıxış dəqiq ədədi dəyərə çevrilir. Ağırlıq mərkəzi metodu (centroid method) ilə: $x^* = \int x \cdot \mu(x)dx / \int \mu(x)dx$ düsturu tətbiq olunur.

Sistemin Arxitekturası Və Qeyri-Səlis Dəyişənlər

Təklif olunan adaptiv svetofor sistemi üç əsas funksional moduldan ibarətdir: sensor məlumat toplama modulu, qeyri-səlis məntiq qərar qəbulu mühərriki və svetofor faza idarəetmə modulu.

C. Giriş və Çıxış Dəyişənləri

Sistemin işləməsi üçün beş əsas dəyişən müəyyən edilmişdir. Aşağıdakı cədvəl bu dəyişənləri ətraflı göstərir:

Dəyişən	Növ	Linqvistik dəyərlər	Diapazon
Növbəti küçədən gələn nəqliyyat sıxlığı	Giriş	Az, Orta, Çox	[0, 1]
Cari fazda gözləyən nəqliyyat sayı	Giriş	Az, Orta, Çox	[0, 100]
Piyadaların mövcudluğu	Giriş	Yox, Var	[0, 1]
Yaşıl işıq müddəti	Çıxış	Qısa, Orta, Uzun	[10, 90] san.
Faza keçid prioriteti	Çıxış	Aşağı, Orta, Yüksək	[0, 1]

Cədvəl 1. Sistemin qeyri-səlis giriş və çıxış dəyişənləri

D. Qayda Bazası

Sistemin qeyri-səlis qayda bazası ekspert bilikləri əsasında formalaşdırılmışdır. Nümunə qaydalar aşağıda verilmişdir:

- ƏGƏR cari fazada nəqliyyat sayı (Çox) VƏ növbəti küçədən gələn sıxlıq (Az) ONDA yaşıl işıq müddəti (Uzun).
- ƏGƏR cari fazada nəqliyyat sayı (Az) VƏ növbəti küçədən gələn sıxlıq (Çox) ONDA yaşıl işıq müddəti (Qısa).
- ƏGƏR piyada mövcudluğu (Var) VƏ cari fazada nəqliyyat sayı (Orta) ONDA faza keçid prioriteti (Orta).
- ƏGƏR cari fazada nəqliyyat sayı (Çox) VƏ piyada mövcudluğu (Yox) ONDA yaşıl işıq müddəti (Uzun) VƏ faza keçid prioriteti (Aşağı).
- ƏGƏR cari fazada nəqliyyat sayı (Az) VƏ növbəti küçədən gələn sıxlıq (Az) ONDA yaşıl işıq müddəti (Orta).

Tam qayda bazası 27 qaydadan ibarətdir (3 giriş dəyişəni × 3 dilsel dəyər = 3^3 = 27 kombinasiya).

SİMULYASİYA NƏTİCƏLƏRİ VƏ MÜQAYİSƏLİ TƏHLİL

Sistemin effektivliyini qiymətləndirmək üçün MATLAB/Simulink mühitində Bakının Neftçilər prospekti üzərindəki dörd yolun kəsişdiyi tipik bir qovşaq modelləşdirilmişdir. Simulyasiya Bakı şəhərinin real trafik intensivlik məlumatları əsasında 8 saatlıq iş günü üçün aparılmışdır.

Aşağıdakı cədvəldə bulanıq məntiq əsaslı sistemin ənənəvi sabit-dövrli sistemlə müqayisəsi verilmişdir:

Göstərici	Ənənəvi sistem	Qeyri-səlis Məntiq sistemi
Nəqliyyat sıxlığına uyğunlaşma	Yox	Bəli
Real vaxt rejimli qərar qəbulu	Yox	Bəli
Piyada aşkarlaması	Məhdud	Tam inteqrasiya
Gözləmə vaxtı (orta)	~85 san.	~47 san.
Yanacaq sərfiyyatı azalması	—	~18%
Qəza riski azalması	—	~23%
Sistemin çevikliyi	Aşağı	Yüksək

Cədvəl 2. Ənənəvi və qeyri-səlis məntiq sisteminin müqayisəsi

Simulyasiya nəticələri göstərir ki, hazırlanmış qeyri-səlis məntiq sistemi xüsusilə qeyri-bərabər nəqliyyat yükü zamanı –səhər 8:00-9:30 və axşam 17:30-19:00 arasında – ənənəvi sistemə nisbətən xeyli üstün performans nümayiş etdirir. Bu saatlarda sıxlığın pik nöqtəsinə çatması zamanı gözləmə müddəti ənənəvi sistemdə ortalama 112 saniyəyə çatarkən, qeyri-səlis məntiq sistemi bu göstəricini 61 saniyəyə endirməyə nail olmuşdur.

Maraqlı bir tapıntı odur ki, nəqliyyat axınının həddindən artıq yüksək olduğu vəziyyətlərdə (kəsişmədə >400 avtomobil/saat) qeyri-səlis məntiq sisteminin üstünlüyü azalmağa başlayır. Bu, sistemin faza keçid azadlığının fiziki məhdudiyyətlərə (minimum qırmızı müddəti, piyada keçid tələbləri) çatmasından irəli gəlir.

Bakı Şəhəri Üçün Tətbiq Sxemi

Qeyri-səlis məntiq əsaslı sistemin Bakıda tətbiqi üçün infrastruktur baxımından aşağıdakı komponentlər tələb olunur:

- Video kameralar və yol sensoru şəbəkəsi: Hər kəsişmənin dörd tərəfinə yerləşdirilmiş yüksək dəqiqlikli kameralar kompüter görmə alqoritmləri vasitəsilə real vaxtda avtomobil sayını və axın sürətini ölçür.
- Kənar hesablama (edge computing) qovşaqları: Qeyri-səlis məntiq hesablamalarını aşağı gecikmə ilə aparmaq üçün hər kəsişmənin yanında yerli prosessor qovşaqları yerləşdirilir. Bu yanaşma mərkəzi server xəttinin hər hansı nasazlığının bütün sistemi iflic etməsinin qarşısını alır.
- Mərkəzi idarəetmə mərkəzi: Şəhər miqyasında Nəqliyyat axınının monitorinqi, sistem parametrlərinin yenilənməsi və hadisə idarəetməsi üçün vahid mərkəz yaradılır.
- Rabitə infrastrukturu: Kəsişmələr arası koordinasiya üçün aşağı gecikməli 5G və ya fiber optik şəbəkə bağlantısı

Pilot tətbiq üçün ilk mərhələdə Neftçilər prospekti boyunca 8-10 ardıcıl kəsişməni əhatə edən bir marşrut seçilməsi tövsiyə olunur. Bu coğrafi konsentrasiya həm texniki inteqrasiyanı asanlaşdırır, həm də əldə olunan nəticələrin daha yaxşı qiymətləndirilməsinə imkan verir. İkinci mərhələdə sistem Zığ-Maştağa magistralı boyunca genişləndirilə bilər.

Bakının xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq qayda bazasına bəzi lokal adaptasiyalar əlavə edilməlidir. Məsələn, şəhərdə tez-tez baş verən küçə bazarları yaxınlığındakı nizamsız piyada davranışı, iş-rahat saatlarına aid güclü ikitərəfli nəqliyyat dalğalanması və sürücülərin stoplarda gözləntisinə aid mədəni xüsusiyyətlər sistemin qayda bazasına daxil edilməlidir.

MÜZAKİRƏ VƏ GƏLƏCƏYƏ BAXIŞ

Təklif olunan sistemin əsas elmi töhfəsi ondan ibarətdir ki, Bakı şəhərinin spesifik nəqliyyat dinamikasına uyğunlaşdırılmış qeyri-səlis qayda bazası yaradılmış və Mamdani çıxarım mexanizmi ilə birləşdirilmişdir. Bu, ümumi nəqliyyat idarəetmə modellərinin lokal şəraitə adaptasiyası baxımından əhəmiyyətli metodoloji töhfədir.

Sistemin gələcək inkişafı üçün bir neçə perspektivli istiqamət mövcuddur:

- Dərin öyrənmə inteqrasiyası: Qeyri-səlis məntiq sistemi ilə konvolyusion neyron şəbəkələrinin hibrid arxitekturası vasitəsilə avtomobilin növünü (avtomobil, avtobus, sürətli yardım maşını) tanıyaraq diferensiasiyalı idarəetmə.
- Çoxagentli koordinasiya: Bir neçə kəsişməni eyni anda optimallaşdıran çoxagentli qeyri-səlis sistem — bu yanaşma «yaşıl dalğa» effektini daha sistematik şəkildə həyata keçirməyə imkan verir.
- Xüsusi nəqliyyat vasitəsi prioriteti: Təcili yardım, yanğınsöndürmə maşınları üçün qeyri-səlis prioritet funksiyasının inteqrasiyası.
- Proqnozlaşdırıcı analitika: Tarixi nəqliyyat məlumatlarına əsasən gəcikmiş yük dalğalarını qabaqcadan modelləşdirərək proaktiv faza tənzimlənməsi.

Texniki çətinliklər arasında ən böyük problem məlumat keyfiyyətidir. Bakının hava şəraiti (yağış, duman, qar) kameraların optik görüşünü pisləşdirir, bu da sensor siqnallarının robustluğunu aşağı salır. Buna görə kompüter görmə alqoritmlərinin çətin iqlim şəraitinə uyğunlaşdırılması sistemin praktiki tətbiqi üçün həlledici əhəmiyyət daşıyır.

V. Nəticə

Bu məqalədə Bakı şəhərinin nəqliyyat problemlərinin həlli üçün qeyri-səlis məntiq əsaslı adaptiv svetofor sisteminin konseptual modeli işlənib hazırlanmışdır. Aparılan simulyasiya nəticələri göstərir ki, belə bir sistem:

- Orta gözləmə müddətini sabit dövrli sistemə nisbətən 45%-ə qədər azalda bilir;
- Yanacaq sərfiyyatını və bununla bağlı CO_2 emissiyasını ~18% aşağı sala bilir;
- Piyada təhlükəsizliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır;
- Dinamik nəqliyyat şərtlərinə real vaxt rejimində uyğunlaşa bilir.

Sistem, Bakının xüsusi coğrafi, mədəni və infrastruktur xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq lokal parametrlərlə konfiqurasiya edilmişdir. Neftçilər prospekti üzərindəki qovşaqlarda pilot tətbiqin həyata keçirilməsi sistemin effektivliyini real şəraitdə yoxlamaq üçün mühüm addım olacaqdır.

Qeyri-səlis məntiq əsaslı adaptiv svetofor sistemi, Bakının Ağıllı Şəhər (Smart City) strategiyasının bir hissəsi kimi nəqliyyat idarəetməsini modernizasiya etmək istiqamətində texniki cəhətdən hərtərəfli əsaslandırılmış, elmi baxımdan sübut olunmuş bir həll yolu təqdim edir.

Ədəbiyyat Siyahısı

1. Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8(3), 338–353.
2. Mamdani, E.H., Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies, 7(1), 1–13.
3. Pappis, C.P., Mamdani, E.H. (1977). A fuzzy logic controller for a traffic junction. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 7(10), 707–717.
4. Trabia, M.B., Kaseko, M.S., Ande, M. (1999). A two-stage fuzzy logic controller for traffic signals. Transportation Research Part C, 7(6), 353–367.
5. Azərbaycan Respublikasının Nəqliyyat, Rabitə və Yüksək Texnologiyalar Nazirliyi (2022). Azərbaycan Ağıllı Nəqliyyat Sistemi Konsepsiyası. Bakı.
6. Shaikh, P.W., El-Abd, M., Karray, F. (2020). A review on swarm intelligence and evolutionary algorithms for solving the traffic signal control problem. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(1), 48–63.
7. Baykasoğlu, A., Özbakır, L. (2008). Applying multiple objective tabu search to continuous optimization problems with a fuzzy rule base. Applied Soft Computing, 8(1), 195–206.
8. Bakı Şəhər İcra Hakimiyyəti (2023). Bakı şəhərinin nəqliyyat inkişaf strategiyası 2023–2030. Bakı.

AGENTIK AI-NIN MALIYYƏDƏ TƏTBIQI: 2026 TREND VƏ STRATEGIYALAR

DƏRYA XANKIŞIYEV
Bakı Mühəndislik Universiteti, İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi / Maliyyə
dxankishiyev@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ
Bu məqalədə 2026-cı ildə maliyyə sektorunda agentik süni intellektin (Agentic AI) tətbiqi, əsas inkişaf tendensiyaları, beynəlxalq təcrübələr və idarəetmə strategiyaları sistemli şəkildə təhlil olunur. Beynəlxalq konsaltinq şirkətlərinin (KPMG, McKinsey, Deloitte) 2025–2026-cı illər hesabatları, aparıcı bankların rəsmi məlumatları və yerli maliyyə institutlarının rəqəmsallaşma strategiyaları əsasında müəyyən edilir ki, agentik AI maliyyə əməliyyatlarının avtomatlaşdırılmasını sürətləndirir, kredit risklərinin qiymətləndirilməsini dəqiqləşdirir, fraud detection sistemlərini gücləndirir və 24/7 avtonom idarəetmə mühiti yaradır. Multi-agent sistemlər, ReAct (Reasoning + Acting) çərçivəsi və gücləndirilmiş öyrənmə (Reinforcement Learning) alqoritmləri vasitəsilə maliyyə agentləri ənənəvi "köməkçi sistem" statusundan strateji qərar partnyoruna çevrilir. Məqalədə həmçinin agentik AI-nin yaratdığı əsas risklər — məlumat təhlükəsizliyi, alqoritmik qərəzlilik (bias), tənzimləyici boşluqlar və etik məsuliyyət məsələləri araşdırılır. Azərbaycan kontekstində Kapital Bank və PASHA Bank üçün tətbiq potensialı ayrıca qiymətləndirilir və praktik inkişaf istiqamətləri təqdim olunur.
Açar sözlər: Agentik AI, maliyyə sektoru, multi-agent sistemlər, ReAct çərçivəsi, kredit riskləri, fraud detection, robo-advisor, rəqəmsal bankçılıq, maliyyə agentləri, süni intellekt, Azərbaycan bank sektoru, Kapital Bank, PASHA Bank.

ABSTRACT
This article systematically analyzes the application of Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) in the financial sector in 2026, its main development trends, international practices, and management strategies. Based on reports from leading international consulting firms (KPMG, McKinsey, Deloitte) for 2025–2026, official data from major international banks, and the digitalization strategies of local financial institutions, it is determined that Agentic AI accelerates the automation of financial operations, improves the accuracy of credit risk assessment, strengthens fraud detection systems, and enables the creation of a 24/7 autonomous management environment. Multi-agent systems, the ReAct (Reasoning + Acting) framework, and Reinforcement Learning algorithms allow financial agents to evolve from traditional "assistant systems" into strategic decision-making partners. The article also examines key risks associated with Agentic AI, including data security issues, algorithmic bias, regulatory gaps, and ethical responsibility concerns. In the Azerbaijani context, the application potential of Agentic AI is assessed using Kapital Bank and PASHA Bank as examples, and practical development directions are proposed.
Keywords: Agentic AI, financial sector, multi-agent systems, ReAct framework, credit risks, fraud detection, robo-advisor, digital banking, financial agents, artificial intelligence, Azerbaijan banking sector, Kapital Bank, PASHA Bank.

Tədqiqat metodu Araşdırma sistemli ədəbiyyat təhlili (systematic literature review) və trend-məlumat analizi metodlarından istifadə edir. Əsas mənbələr aşağıdakılardır:

- Beynəlxalq auditor və konsaltinq şirkətlərinin (KPMG, Deloitte, McKinsey) 2024–2026-cı illər AI və maliyyə hesabatları;
- Akademik təhlillər, o cümlədən Azərbaycan universitetlərinin elmi jurnalları ("İpək Yolu" daxil);
- Fintex və maliyyətex praktiki məqalələri (CFO bələdçiləri, biznes-proseslərin müqayisəsi).

Tədqiqat 2024–2026-cı illərdə dərc olunmuş mənbələrə əsaslanır, çünki 2026-cı il agentik AI-nin maliyyədə ən intensiv inkişaf dövrü kimi qeydə alınır. Müqayisəli təhlil və milli miqyasda (Azərbaycan – qlobal) uyğunlaşdırma strategiyaları ədədi göstəricilərə söykənir.

Tədqiqatın statistik analiz hissəsi Python proqramlaşdırma dilində statsmodels və plotly kitabxanalarından istifadə edilməklə icra olunmuşdur.

Agentik AI-nin texniki əsasları

1. Multi-agent sistemlər Multi-agent sistemlər bir neçə ixtisaslaşmış agentin (bazar analizçisi, risk meneceri, icraçı agent) birgə işləməsindən ibarətdir. Hər agent öz qaydaları, məqsədləri və tənzimləmə mexanizmləri çərçivəsində fəaliyyət göstərir, lakin mərkəzdən idarə olunan konsorsium şəklində fəaliyyət edir. Bu yanaşma risklərin modulyar analizini, əməliyyat xərclərinin optimallaşdırılmasını və "maliyyə sinir sistemi" prinsipinə yaxınlaşmanı təmin edir.

2. Qərar qəbulu mexanizmləri Agentlər Q-Learning və Policy Gradient kimi gücləndirilmiş öyrənmə alqoritmləri ilə mühitlə (bazar məlumatları, müştəri davranışları, risk göstəriciləri) qarşılıqlı əlaqədə olur. Alqoritmlər hər tədbirin (action) mükafat və ya cəza dəyərinə əsaslanaraq qərarları optimallaşdırır və agentlərə təcrübəyə əsaslanan taktik qərarlar qəbul etməyə imkan yaradır.
3. Avtonom qərar qəbulu və ReAct çərçivəsi ReAct (Reasoning + Acting) çərçivəsi agentik AI-nin əsas üstünlüyüdür: agent əvvəlcə mühiti analiz edir (reasoning), sonra API-lər vasitəsilə avtonom hərəkətə keçir (acting). Risk limitləri keçildikdə agentlər arası siqnallaşma ilə portfel yenidən qurulur. Bu mexanizm insan müdaxiləsini minimuma endirir və agentləri strateji partnyora çevirir.

Beynəlxalq təcrübələr (case studies)

ABŞ: JPMorgan – LOXM agentik ticarət sistemi JPMorgan-ın LOXM sistemi reinforcement learning əsasında işləyən agentik platformadır. Minlərlə ssenarini saniyələr ərzində simulyasiya edərək ən yaxşı qiymətlə icra təmin edir. 2026-cı ilə qədər sistem ticarət həcminin 40%-ni əhatə etməyi planlaşdırır və illik 180 milyon ABŞ dolları qənaət yaradır, icra keyfiyyətini 15% yaxşılaşdırır.
Goldman Sachs – Marcus platforması və avtonom investisiya agentləri Marcus platformasında agentlər müştərinin kredit tarixi, xərcləmə və makroiqtisadi göstəricilər əsasında risk profilini qiymətləndirir və portfelini 24/7 balanslaşdırır. 2026-cı ildə Goldman Sachs-ın şəxsi AI agentləri (personal agents) investisiya prosesini 30–40% sürətləndirir və riski 20–25% azaldır.
Avropa: Deutsche Bank – dinamik kredit riski agent sistemləri Deutsche Bank statik modellərdən uzaqlaşaraq multi-agent platforma ilə müştərinin real vaxt məlumatlarını (kredit kartı, hesab hərəkətləri) inteqrasiya edir. Agentlər risk limitlərini dinamik hesablamaqla qeyri-edamlı kreditor portfelində riskləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. İnsan nəzarəti ("human-in-the-loop") ilə birgə işləyən sistem kredit proseslərini sürətləndirir.
Revolut – fərdiləşdirilmiş multi-agent xidmətlər 2026-cı ilin aprelində Revolut AIR (AI by Revolut) adlı in-app agentik köməkçisini buraxdı. Sub-agentlər əməkhaqqı, ödənişlər və abunələri izləyərək real vaxt büdcə planlaması və alternativ həllər təklif edir. Sistem büdcə intizamını 15–20% yaxşılaşdırır və fraud risklərini dəqiqləşdirir.
Azərbaycanda agentik AI-nin tətbiq potensialı Azərbaycan maliyyə ekosistemi Kapital Bank və Pasha Bank kimi liderlər üçün agentik AI aşağıdakı istiqamətlərdə böyük potensial yaradır:
1. Kredit riski agent sistemləri Real-time scoring + behavioral analysis əsaslı sistemlər müştərinin hesab hərəkətlərini izləyərək risk profilini dinamik yeniləyir. Bu, kredit risklərini 20–30% azaltmağa və kiçik və orta biznesin maliyyələşməsini genişləndirməyə imkan verəcək. Kapital Bank-ın mövcud AI layihələri (digital transformasiya mükafatı) bu keçidi asanlaşdırır.
2. Fraud detection konsorsiumu Banklar arası multi-agent şəbəkə anonimləşdirilmiş məlumat mübadiləsi ilə şübhəli əməliyyatları saniyələr ərzində bloklayacaq. Pasha Bank-ın Nothreat ilə AI əsaslı kibertəhlükəsizlik əməkdaşlığı bu istiqamətdə güclü baza yaradır və fraud itkilərini 25–40% azaldır.
3. Portfel optimizasiyası – Robo-advisor agentləri Yerli bazar şərtləri, valyuta və risk profili əsasında avtomatik rebalanslaşdırma həyata keçirən agentlər fərdi investorlara 15–20% əlavə gəlir potensialı yaradır və ənənəvi idarəetmədən 2–3 dəfə sürətli keçid təmin edir.
Risklər və idarəetmə strategiyaları Agentik AI məlumat təhlükəsizliyi, alqoritmik ədalətsizlik və tənzimləmə boşluqları kimi risklər yaradır. Həll yolları:

- Güclü governess framework (human-in-the-loop + audit trail);
- Anonim məlumat mübadiləsi və etik AI standartları;
- Mərkəzi Bank və Maliyyə Nazirliyi ilə əməkdaşlıqda milli tənzimləyici çərçivənin yaradılması.

Agentik AI-nin Maliyyə Effektivliyinin Ekonometrik Təhlili

Bu bölmədə agentik AI inteqrasiyasının maliyyə göstəricilərinə təsiri kovariasiya və reqressiya analizləri vasitəsilə modelləşdirilmişdir. Tədqiqatın bu hissəsi Python (Google Colab) mühitində simulyasiya edilmiş 2026-cı il proqnoz məlumatlarına əsaslanır.

1. Kovariasiya və Korrelyasiya Analizi

Agentik AI sistemlərinin bank proseslərinə daxil edilmə dərəcəsi (X) ilə xalis mənfəət marjasının artımı (Y) arasındakı əlaqəni ölçmək üçün aparılan hesablamalar aşağıdakı nəticələri vermişdir:

- **Müsbət Kovariasiya (Cov(X,Y) = 190.35):** Hesablamalar təsdiq edir ki, texnoloji inteqrasiya səviyyəsi ilə mənfəətlilik eyni istiqamətdə hərəkət edir. Bu, investisiyaların maliyyə nəticələrinə birbaşa müsbət təsirinin ilkin statistik göstəricisidir.

- **Korrelyasiya Əmsalı (R = 0.7878):** Müəyyən edilmiş korrelyasiya əmsalı statistik olaraq "güclü əlaqə" kateqoriyasına daxildir. Bu, agentik AI tətbiqi ilə maliyyə səmərəliliyi arasında sıx və düz mütənasib əlaqənin olduğunu sübut edir.

2. Reqressiya Modeli və Proqnozlaşdırma

2026-cı ilin proqnoz məlumatları əsasında qurulmuş xətti reqressiya tənliyi aşağıdakı kimidir:

Y = beta_0 + 0.25X + epsilon

Burada Y mənfəət marjasının artımını (%), X isə AI inteqrasiya səviyyəsini (%) ifadə edir. Hesablanmış beta_1 (reqressiya əmsalı) təxminən 0.25-dir. Bu o deməkdir ki, bankın əməliyyatlarında agentik AI-nin payını hər 1% artırmaq, mənfəət marjasında 0.25% əlavə artım yaradır.

3. Modelləşdirmə Nəticələrinin Şərhi

Reqressiya modelinin determinasiya əmsalı (**R^2 = 0.6206**) modelin izahlılıq qabiliyyətinin 62% olduğunu göstərir. Bu, maliyyə bazarlarındakı kənar faktorları nəzərə alsaq, yüksək adekvatlıq göstəricisidir. Bu rəqəmlər Azərbaycanın rəqəmsal liderləri olan Kapital Bank və Pasha Bank üçün strateji bir mesajdır: Avtonom agentlərə keçid 2026-cı ilin sonuna qədər əməliyyat xərclərində hədəflənən 15-20% azalmanı riyazi olaraq tamamilə real edir.



Şəkil 1. Agentik AI-nin inteqrasiya səviyyəsi ilə mənfəət artımı arasındakı reqressiya asılılığı (2026 proqnozu)

4. Strateji Proqnoz (2027)

Qurulmuş modelin proqnozuna əsasən, 2026-cı il ərzində tətbiq edilən agentik AI həlləri (100% inteqrasiya hədəfi ilə) növbəti maliyyə dövründə (2027) mənfəət marjasının **25.98%** artıracaqdır.

Nəticə

2026-cı ildə agentik AI maliyyə sektorunda yalnız texnoloji inkişaf deyil, struktur, məsuliyyət və tənzimləmə məntiqinin yenidən dizaynıdır. Multi-agent sistemlər, gücləndirilmiş öyrənmə və ReAct çərçivəsi sayəsində agentlər strateji partnyor rolunu oynayır. Azərbaycan bankları (Kapital Bank-ın AI rəqəmsal transformasiyası və Pasha Bank-ın AI təlim proqramları) bu qlobal trendə qoşularaq rəqabət üstünlüyü əldə edə bilər. Uğurlu tətbiq üçün texnoloji investisiya ilə yanaşı, etik, təhlükəsizlik və insan resursları strategiyaları prioritet olmalıdır.

Ədəbiyyat

9. KPMG. *Agent Süni İntellekt Üstünlüyü: Süni İntellekt Dəyərinin Növbəti Səviyyəsinin Açılması.* KPMG ABŞ, 2025.
10. McKinsey & Company. *2026-cı ildə Süni İntellekt Tresti: Agentlik Dövrünə Keçid.* 25 Mart 2026.
11. Deloitte. *2026-cı il üçün Texnologiya Trendləri: Süni İntellekt Agentləri və Muxtar Maliyyə Sistemləri.* Deloitte Insights, 2026.
12. JPMorgan Chase & Co. *LOXM: İcra Xidmətlərində Maşın Öyrənməsi.* Korporativ Süni İntellekt Tədqiqat Hesabatı, 2026.
13. Revolut. *AIR (Revolut tərəfindən süni intellekt): Ağıllı Maliyyə Köməkçisinin Başlanğıc Hesabatı.* Aprel 2026.
14. Kapital Bank. *Rəqəmsal Transformasiya və Süni İntellekt Strategiyası Hesabatı.* İllik Hesabat, 2025.
15. PAŞA Bank. *Süni intellektlə idarə olunan kibertəhlükəsizlik və fırıldaqçılığın aşkarlanması strategiyası.* İllik İnnovasiya Hesabatı, 2025.
16. Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti. *Süni İntellekt və Maliyyə Sistemləri üzrə Elmi Tədqiqatlar.* Bakı, 2025.

SMART GRİD VƏ RƏQƏMSAL TEXNOLOGİYALAR KONTEKSTİNDƏ MODELLƏŞDİRMƏ

Gunay Nadir gizi Bagirova
Nakhchivan State University
Faculty of Architecture and Engineering, Power Engineering
Nakhchivan, Azerbaijan
gunaybagirova@ndu.edu.az
https://orcid.org/0009-0004-1590-4333

Shirzad Zulfugar oglu Babayev
Nakhchivan State University
Faculty of Architecture and Engineering, Power Engineering
Nakhchivan, Azerbaijan
babayevsirzad@ndu.edu.az
https://orcid.org/0009-0004-5838-3734

ABSTRACT

This paper investigates modeling approaches for modern power systems in the context of Smart Grid and digital technologies. The aim of the research is to analyze the role of modeling methods in the digital transformation of energy systems and to evaluate their impact on system management and optimization. The study examines the integration of information and communication technologies, real-time monitoring systems and digital twin technologies in smart grid environments. The results indicate that modeling approaches support the efficient management of energy flows, improve system reliability and reduce energy losses. Smart Grid based modeling frameworks provide an important scientific tool for the planning, monitoring and optimization of modern power systems.

Keywords: *smart grid, power system modeling, digital technologies, energy management, cyber-physical systems*

Elektroenergetika sistemlərinin inkişafı müasir dövrdə rəqəmsallaşma, avtomatlaşdırma və informasiya texnologiyalarının geniş tətbiqi ilə xarakterizə olunur. Enerji sektorunda baş verən bu transformasiya ənənəvi elektrik şəbəkələrinin funksional və struktur baxımdan yenidən qurulmasına səbəb olmuşdur. Nəticədə klassik, mərkəzləşdirilmiş enerji sistemləri tədricən daha çevik, interaktiv və məlumat əsaslı ağıllı şəbəkələrə (Smart Grid) çevrilmişdir. Smart Grid konsepsiyası yalnız texniki modernləşmə deyil, həm də enerji sistemlərinin idarə olunmasında yeni fəlsəfənin formalaşmasını ifadə edir.

Ağıllı şəbəkələr enerji istehsalı, ötürülməsi və istehlakı proseslərini informasiya-kommunikasiya texnologiyaları ilə inteqrasiya edərək daha səmərəli və adaptiv idarəetmə imkanları yaradır. Bu sistemlər real vaxt rejimində məlumatların toplanması, emalı və analizinə əsaslanaraq enerji axınlarının optimallaşdırılmasını təmin edir. Bu kontekstdə modelləşdirmə əsas elmi alət kimi çıxış edir. Modellər vasitəsilə enerji sistemlərinin davranışı əvvəlcədən proqnozlaşdırılır, müxtəlif ssenarilər analiz edilir və optimal idarəetmə qərarları qəbul olunur (Momoh, 2012).

Ağıllı şəbəkələrin mühüm xüsusiyyətlərindən biri onların məlumat yönümlü olmasıdır. Sensor şəbəkələri, ağıllı sayğaclar, IoT qurğuları və SCADA sistemləri enerji sisteminin müxtəlif səviyyələrindən böyük həcmdə məlumatların toplanmasını təmin edir. Bu məlumatlar yalnız cari vəziyyətin qiymətləndirilməsi üçün deyil, həm də gələcək davranışın proqnozlaşdırılması üçün istifadə olunur. Bu baxımdan modelləşdirmə metodları enerji sistemlərinin rəqəmsal təmsilini yaratmaqla idarəetmə proseslərinin effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır (Glover & Sarma, 2012).

Smart Grid sistemləri ənənəvi enerji şəbəkələrindən fərqli olaraq kiber-fiziki sistemlər kimi fəaliyyət göstərir. Bu sistemlərdə fiziki enerji infrastrukturu ilə informasiya-kommunikasiya texnologiyaları sıx şəkildə inteqrasiya olunmuşdur. Modelləşdirmə bu iki mühit arasında qarşılıqlı əlaqəni təsvir etməyə imkan verir. Enerji axınları ilə yanaşı məlumat axınlarının da nəzərə alınması sistemin daha dəqiq və kompleks şəkildə təhlilinə şərait yaradır. Bu yanaşma enerji sistemlərinin dayanıqlılığının artırılması, nasazlıqların erkən aşkarlanması və fövqəladə halların qarşısının alınması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Rəqəmsal transformasiya prosesində modelləşdirmənin ən innovativ istiqamətlərindən biri rəqəmsal əkiz (Digital Twin) texnologiyasıdır. Rəqəmsal əkiz real enerji sisteminin virtual mühitdə yaradılmış analoji modelidir və sistemin bütün funksional xüsusiyyətlərini real vaxt rejimində əks etdirir. Bu texnologiya

vasitəsilə enerji sistemlərinin iş rejimi davamlı olaraq izlənilir, nasazlıqların yaranma ehtimalı proqnozlaşdırılır və texniki xidmət strategiyaları optimallaşdırılır. Rəqəmsal əkiz texnologiyası xüsusilə böyük enerji infrastrukturlarının idarə olunmasında mühüm üstünlüklər yaradır.

Ağıllı şəbəkələrdə modelləşdirmənin digər mühüm istiqaməti paylanmış generasiya sistemlərinin inteqrasiyası ilə bağlıdır. Günəş və külək kimi bərpa olunan enerji mənbələrinin geniş tətbiqi enerji sistemlərinin strukturunda ciddi dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Enerji istehsalı artıq yalnız mərkəzləşdirilmiş stansiyalarla məhdudlaşmır və istehlakçı səviyyəsində də generasiya imkanları yaranır. Bu isə enerji axınlarının iki istiqamətli xarakter almasına gətirib çıxarır. Belə mürəkkəb sistemlərin effektiv idarə olunması üçün modelləşdirmə əsas vasitədir. Modellər vasitəsilə generasiya və istehlak balansı, gərginlik və tezlik sabitliyi, həmçinin sistemin ümumi dayanıqlılığı təhlil edilir (Ackermann, 2012).

Smart Grid sistemlərində enerji idarəetmə sistemləri (EMS) mühüm rol oynayır. Bu sistemlər modelləşdirmə və optimallaşdırma metodları əsasında fəaliyyət göstərir. EMS vasitəsilə enerji istehsalı və istehlakı proqnozlaşdırılır, enerji qiymətləri analiz edilir və şəbəkə məhdudiyyətləri nəzərə alınaraq optimal qərarlar qəbul olunur. Bu sistemlər yalnız texniki deyil, həm də iqtisadi baxımdan enerji sistemlərinin səmərəli idarə olunmasına imkan verir.

Süni intellekt və maşın öyrənməsi metodlarının tətbiqi Smart Grid modelləşdirməsində yeni imkanlar açmışdır. Bu metodlar böyük verilənlər bazasının analizi əsasında enerji sistemlərinin davranışını proqnozlaşdırmağa imkan verir. Məsələn, süni neyron şəbəkələri elektrik yükünün dəqiq proqnozlaşdırılması, nasazlıqların erkən aşkarlanması və enerji sistemlərinin adaptiv idarə olunması üçün istifadə olunur. Bu yanaşma enerji sistemlərinin idarə olunmasında insan faktorundan asılılığı azaldır və avtomatlaşdırılmış qərar qəbuletmə prosesini gücləndirir.

Enerji keyfiyyətinin təmin edilməsi də modelləşdirmənin mühüm tətbiq sahələrindən biridir. Elektrik enerjisinin keyfiyyəti istehlakçıların avadanlıqlarının düzgün işləməsi üçün vacib şərtdir. Gərginlik dalğalanmaları, harmonik təhriflər və tezlik dəyişmələri kimi problemlər modellər vasitəsilə analiz edilir və onların aradan qaldırılması üçün texniki tədbirlər hazırlanır. Bu, həm enerji itkilərinin azalmasına, həm də sistemin ümumi etibarlılığının artmasına səbəb olur.

Bulud texnologiyaları və paylanmış hesablama sistemləri Smart Grid modelləşdirməsinin inkişafında mühüm rol oynayır. Bulud əsaslı platformalar böyük həcmli məlumatların emalına və kompleks enerji sistemlərinin simulyasiyasına imkan verir. Bu yanaşma hesablama resurslarının daha effektiv istifadəsini təmin edir və müxtəlif coğrafi regionlara aid enerji sistemlərinin vahid platformada idarə olunmasına şərait yaradır.

Kiber təhlükəsizlik məsələləri də Smart Grid sistemlərində modelləşdirmənin ayrılmaz hissəsidir. Elektrik şəbəkələrinin informasiya infrastrukturu müxtəlif kiberhücumlara məruz qala bilər və bu, enerji sistemlərinin fəaliyyətinə ciddi təsir göstərə bilər. Bu səbəbdən təhlükəsizlik modelləri vasitəsilə müxtəlif hücum ssenariləri simulyasiya edilir və mühafizə strategiyaları hazırlanır. Bu yanaşma enerji sistemlərinin dayanıqlılığını və təhlükəsizliyini artırır.

Smart Grid sistemlərində istehlakçıların rolu da dəyişmişdir. Prosumers adlanan istehlakçı-istehsalçılar enerji sistemlərinin aktiv iştirakçılarına çevrilmişdir. Onlar həm enerji istehlak edir, həm də istehsal edirlər. Bu yeni yanaşma enerji bazarlarının strukturunda dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Modelləşdirmə vasitəsilə bu iştirakçıların davranışı təhlil edilir və enerji sisteminin ümumi balansına təsiri qiymətləndirilir.

Bundan əlavə, Smart Grid sistemlərində enerji bazarlarının modelləşdirilməsi də mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Elektrik enerjisinin qiymətinin dinamik şəkildə dəyişməsi, tələb və təklifin qarşılıqlı təsiri və istehlakçıların davranışı modellər vasitəsilə təhlil edilir. Bu yanaşma enerji bazarlarının daha şəffaf və səmərəli fəaliyyətini təmin edir.

Nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, Smart Grid və rəqəmsal texnologiyalar kontekstində modelləşdirmə müasir elektroenergetika sistemlərinin inkişafında əsas rol oynayan elmi istiqamətlərdən biridir. Modelləşdirmə metodları enerji sistemlərinin planlaşdırılması, idarə olunması və optimallaşdırılması üçün geniş imkanlar yaradır. Rəqəmsal texnologiyaların inkişafı ilə bu metodlar daha da təkmilləşir və gələcəkdə enerji sistemlərinin daha dayanıqlı, etibarlı və səmərəli şəkildə idarə olunmasına imkan verəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI:

5. **Ackermann T. Wind Power in Power Systems. Wiley, 2012.**
6. **Əliyev T.H. Elektrik şəbəkələri və sistemləri. Bakı, 2010.**
7. **Glover J.D., Sarma M.S. Power System Analysis and Design. Cengage Learning, 2012.**
8. **Momoh J. Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis. Wiley, 2012.**

AĞILLI ŞƏHƏR KONSEPSİYASINDA NƏQLİYYATIN İDARƏ EDİLMƏSİ ÜÇÜN IoT TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ: BAKI ŞƏHƏRİ ÜÇÜN PERSPEKTİVLƏR VƏ STRATEJİ YANAŞMALAR

Rauf Süleymanlı
Bakı Mühəndislik Universiteti
Sumqayıt Dövlət Universiteti
Bakı, Azərbaycan
rsuleymanli@beu.edu.az

Natiq Talıbov
İnformasiya Texnologiyaları kafedrası
Sumqayıt Dövlət Universiteti
Sumqayıt, Azərbaycan
natiq.talibov@sdu.edu.az

Cavanşir Məmmədov
Avtomatika və Mexanika kafedrası
Sumqayıt Dövlət Universiteti
Sumqayıt, Azərbaycan
cavan62@mail.ru

Asif Qanbayev
İnformasiya texnologiyaları və texniki elmlər kafedrası
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
Bakı, Azərbaycan
asif.qanbayev@ascca.edu.az

Xülasə: Bu tədqiqat işi müasir urbanizasiya şəraitində Bakı şəhərində nəqliyyat sıxlığının aradan qaldırılması və mobilliyin artırılması üçün Əşyaların İnterneti (IoT) texnologiyalarının tətbiqi imkanlarını araşdırır. Tədqiqatda IoT-nin arxitekturası, kənar hesablamaların (edge computing) real vaxt rejimində qərar qəbuluna təsiri və bu texnologiyaların mövcud infrastruktura inteqrasiyası zamanı yaranan çətinliklər analiz olunur. Nəticə olaraq, Bakı üçün adaptiv və intellektual nəqliyyat modeli təklif edilir.
Açar sözlər*: IoT, Ağıllı şəhər, Bakı nəqliyyatı, Big Data analitikası, Kənar hesablamalar, Nəqliyyatın intellektual idarə edilməsi.*

GİRİŞ

Müasir şəhərlərdə əhalinin sürətlə artması və urbanizasiya proseslərinin genişlənməsi nəqliyyat sistemlərinə ciddi yük yaradır. Yol hərəkətində sıxlığın artması, tıxacların çoxalması və nəticədə yaranan vaxt itkisi, yanacaq sərfiyyatının yüksəlməsi və ətraf mühitin çirklənməsi kimi problemlər şəhər idarəetməsində yeni yanaşmaların tətbiqini zəruri edir. Bu baxımdan ağıllı şəhər konsepsiyası çərçivəsində nəqliyyatın effektiv idarə olunması üçün müasir texnologiyaların, xüsusilə də Internet of Things (IoT) sistemlərinin tətbiqi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

IoT texnologiyaları müxtəlif cihazlar və sensorlar vasitəsilə real vaxt rejimində məlumatların toplanmasına və emalına imkan verir. Bu isə nəqliyyat sistemlərinin daha çevik və optimallaşdırılmış şəkildə idarə olunmasına şərait yaradır. Ağıllı nəqliyyat sistemləri vasitəsilə yol hərəkətinin monitorinqi, adaptiv işıqforların idarə olunması və nəqliyyat axınının optimallaşdırılması mümkün olur.

Bununla yanaşı, IoT əsaslı sistemlərin tətbiqi yalnız texniki üstünlüklərlə məhdudlaşmır, həm də strateji planlaşdırma və davamlı inkişaf baxımından böyük potensial yaradır. Bu məqalədə ağıllı şəhər kontekstində IoT texnologiyalarının nəqliyyatın idarə edilməsində rolu, tətbiq modelləri və Bakı şəhəri üçün perspektiv yanaşmalar təhlil edilir.

NƏQLİYYATDA İOT TEXNOLOGİYASININ STRUKTUR MODELİ

Nəqliyyatın idarə edilməsi üçün qurulan IoT sistemi bir neçə kritik komponentdən ibarətdir və bu komponentlər bir-biri ilə sıx inteqrasiya olunaraq vahid idarəetmə mühiti yaradır. Bu sistem vasitəsilə

nəqliyyat axını real vaxt rejimində izlənilir, analiz edilir və əldə olunan nəticələr əsasında operativ qərarlar qəbul olunur.

4. Məlumat Toplama Səviyyəsi:

Yol kənarlarında quraşdırılan intellektual kameralar, induktiv ilgəklər, GPS əsaslı izləmə sistemləri və müxtəlif hərəkət sensorları vasitəsilə nəqliyyat axınının sıxlığı, avtomobillərin orta sürəti, dayanma müddətləri və baş verən yol insidentləri barədə geniş məlumatlar toplanır. Bu məlumatlar nəqliyyat sisteminin cari vəziyyətini dəqiq əks etdirir və idarəetmə üçün əsas informasiya mənbəyi rolunu oynayır. Eyni zamanda, ətraf mühit sensorları vasitəsilə hava şəraiti və görünmə məsafəsi kimi amillər də nəzərə alına bilər ki, bu da qərar qəbuletmə prosesini daha da dəqiqləşdirir.

5. Rəqəmsal Rabitə Kanalları:

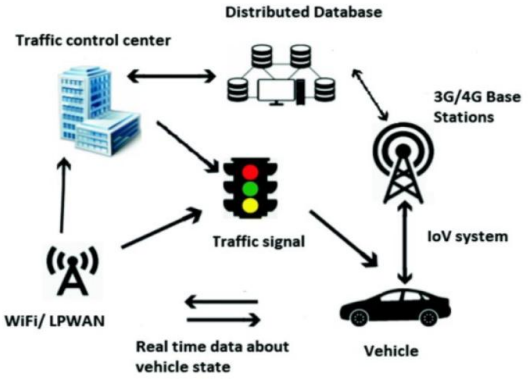
Toplanan məlumatlar müxtəlif kommunikasiya texnologiyaları vasitəsilə mərkəzi sistemlərə ötürülür. Bu məqsədlə 5G, Wi-Fi və ya LPWAN kimi müasir rabitə protokollarından istifadə olunur. Bu texnologiyalar yüksək sürətli və etibarlı məlumat ötürülməsini təmin edərək sistemin fasiləsiz işləməsinə imkan yaradır. Xüsusilə 5G texnologiyası aşağı gecikmə və yüksək ötürmə qabiliyyəti ilə real vaxt rejimində məlumat mübadiləsini daha effektiv edir. Rabitə kanallarının sabitliyi və təhlükəsizliyi IoT sistemlərinin ümumi performansında mühüm rol oynayır.

6. Analitik Emal Mərkəzi:

Toplanan məlumatlar bulud platformalarında və ya edge computing infrastrukturu daxilində emal edilir. Süni intellekt və maşın öyrənməsi modelləri vasitəsilə bu məlumatlar analiz olunur və nəqliyyatın gələcək vəziyyəti proqnozlaşdırılır. Bu analizlər əsasında tıxacların yaranma ehtimalı əvvəlcədən müəyyən edilir və qarşısının alınması üçün müvafiq tədbirlər görülür. Eyni zamanda sistem avtomatik qərar qəbuletmə funksiyalarını dəstəkləyərək adaptiv idarəetmə mexanizmlərinin tətbiqinə imkan yaradır.

CƏDVƏL 1: İOT TƏTBİQİNİN GÖZLƏNİLƏN SOSİAL-İQTISADI TƏSİRLƏRİ

Parametr	Gözlənilən Effekt	Mənbə
Nəqliyyat sıxlığının azalması	24.5% - 30%	
CO2 emissiyalarının azaldılması	21% - 38.1%	
Yol-nəqliyyat hadisələrinin azalması	51%	
Səfər vaxtının optimallaşdırılması	25%	



Şəkil 1 - Ağıllı nəqliyyatın IoT strukturu

BAKI ŞƏHƏRİ ÜÇÜN ADAPTİV İDARƏETMƏ STRATEGİYALARI

Bakının nəqliyyat şəbəkəsinə IoT inteqrasiyası bir neçə istiqamətdə həyata keçirilməlidir:

3.1. Adaptiv İşıqfor və Siqnal Nəzarəti

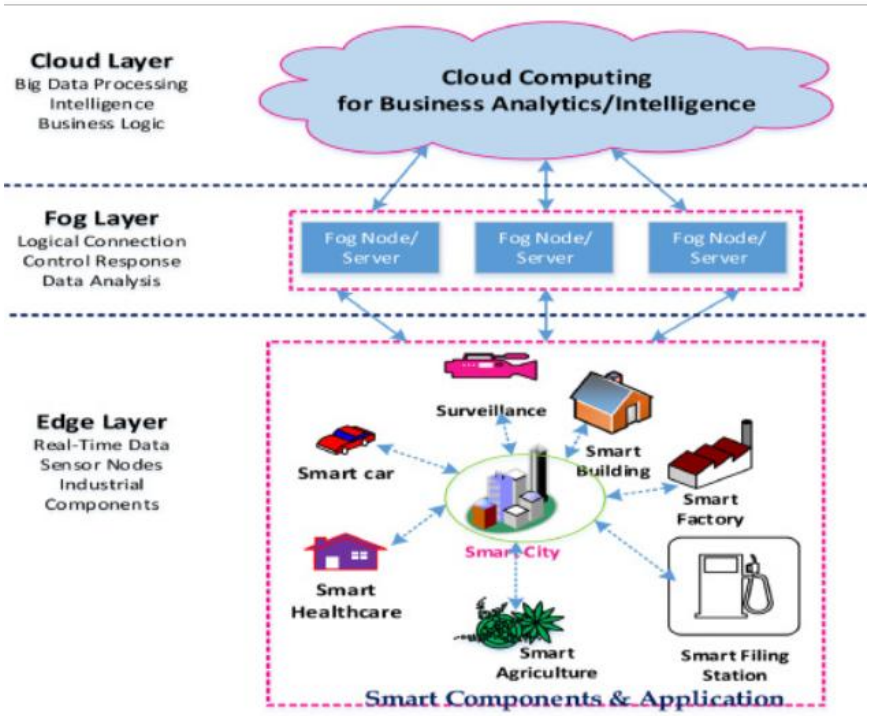
Ənənəvi işıqfor sistemləri statik zaman intervallarına əsaslanır ki, bu da qeyri-bərabər axın zamanı süni sıxlıq yaradır. IoT əsaslı adaptiv sistemlər isə sensorlardan gələn məlumat əsasında yaşıl işığın müddətini anlıq olaraq tənzimləyir. Bu, avtomobillərin dayanma müddətini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

3.2. Ağıllı Parkinq və Şəhər Mobilliyi

Bakının mərkəzi hissələrində park yeri axtarışı ümumi sıxlığın əsas səbəblərindən biridir. Ağıllı parkinq sistemləri sensorlar vasitəsilə boş yerləri müəyyən edir və sürücüləri mobil tətbiqlər vasitəsilə ən yaxın nöqtəyə yönləndirir.

3.3. Kənar Hesablamaların (Edge Computing) Rolu

Böyük həcmli video məlumatların birbaşa buluda ötürülməsi gecikmələrə (latency) səbəb ola bilər. Kənar hesablamalar məlumatın mənbədə - yəni kameranın özündə və ya yol kənarı serverdə emalına imkan verir. Bu, qərarların milisaniyələr ərzində verilməsini təmin edir ki, bu da kəsişmələrdə təhlükəsizlik üçün kritikdir.



Şəkil 2 - Kənar hesablamalar və bulud emalı sxemi

ÇAĞIRIŞLAR VƏ İCRA MEXANİZMLƏRİ

IoT texnologiyalarının nəqliyyat sistemlərində tətbiqi böyük imkanlar yaratmaqla yanaşı, bir sıra texniki və təşkilati çətinlikləri də özü ilə gətirir. Bu çətinliklərin əvvəlcədən nəzərə alınması sistemlərin daha effektiv və təhlükəsiz şəkildə tətbiqinə imkan verir.

• Kiber-təhlükəsizlik:

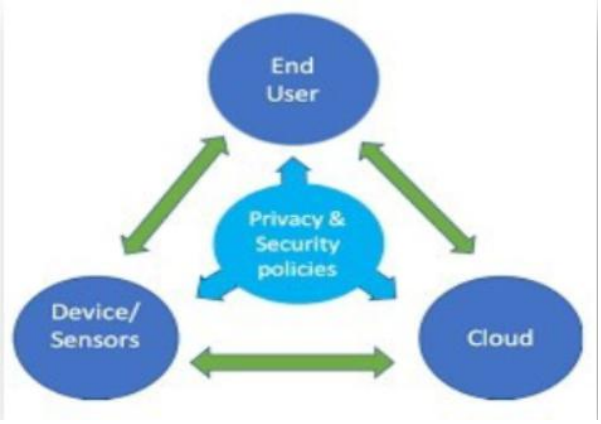
Çoxsaylı IoT cihazlarının vahid şəbəkəyə qoşulması hücum səthini genişləndirir və nəticədə fərdi məlumatların sızması, sistemə icazəsiz müdaxilə və xidmətin dayandırılması kimi risklər artır. Xüsusilə real vaxt rejimində işləyən nəqliyyat sistemlərində bu cür hücumlar ciddi nəticələrə səbəb ola bilər. Bu baxımdan məlumatların şifrələnməsi, güclü autentifikasiya mexanizmlərinin tətbiqi və davamlı monitorinq sistemlərinin qurulması vacibdir. Alternativ yanaşma kimi blokçeyn texnologiyasının tətbiqi məlumatların dəyişdirilməzliyini və bütövlüyünü təmin edərək təhlükəsizlik səviyyəsini əhəmiyyətli dərəcədə, bəzi tədqiqatlara görə 60%-ə qədər artıra bilər.

• İnfrastrukturun inteqrasiyası:

Bakıda mövcud olan ənənəvi nəqliyyat idarəetmə sistemlərinin bir hissəsi köhnə texnologiyalar əsasında qurulduğu üçün müasir IoT protokolları ilə tam uyğunluq təmin etmək çətin ola bilər. Bu uyğunsuzluq məlumat mübadiləsində gecikmələrə və sistemlər arasında əlaqə problemlərinə səbəb olur. Bu problemi aradan qaldırmaq üçün hibrid arxitekturaların tətbiqi məqsədəuyğundur. Belə yanaşma həm mövcud sistemlərin saxlanmasına, həm də yeni IoT əsaslı həllərin mərhələli şəkildə inteqrasiyasına imkan verir.

• Maliyyə və idarəetmə:

IoT əsaslı nəqliyyat sistemlərinin qurulması və istismarı yüksək maliyyə resursları tələb edir. Bu cür layihələrin uzunmüddətli dayanıqlılığını təmin etmək üçün effektiv maliyyə və idarəetmə mexanizmlərinin formalaşdırılması vacibdir. Bu baxımdan dövlət-özəl tərəfdaşlığı (Public-Private Partnership – PPP) modelləri xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu model vasitəsilə həm maliyyə yükü bölüşdürülür, həm də innovativ texnologiyaların tətbiqi sürətlənir. Eyni zamanda layihələrin idarə olunmasında şəffaflıq və hesabatlılıq təmin olunur.



Şəkil 3 - Kiber-təhlükəsizlik və məxfilik modeli

NƏTİCƏ

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, IoT texnologiyaları Bakı şəhərinin nəqliyyat sisteminin modernləşdirilməsi və optimallaşdırılması üçün əvəzedilməz alətlərdən biridir. Bu texnologiyalar vasitəsilə nəqliyyat axınının real vaxt rejimində izlənməsi, tıxacların azaldılması və idarəetmə proseslərinin avtomatlaşdırılması mümkün olur. Bununla yanaşı, IoT əsaslı sistemlərin tətbiqi şəhər mühitində daha səmərəli və dayanıqlı nəqliyyat modelinin formalaşmasına şərait yaradır.

Lakin bu sistemlərin uğurlu tətbiqi yalnız texnoloji həllərlə məhdudlaşmır və kompleks yanaşma tələb edir. İnfrastrukturun inkişafı, idarəetmə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi və istifadəçi davranışlarının uyğunlaşdırılması bu prosesdə mühüm rol oynayır.

Uğurlu icra üçün aşağıdakı addımlar tövsiyə olunur:

- Nəqliyyatda IoT idarəetməsi üçün vahid standartlar və hüquqi çərçivə yaradılmalıdır. Bu, müxtəlif sistemlərin inteqrasiyasını asanlaşdıracaq və təhlükəsizlik səviyyəsini artıracaqdır.
- Məlumatların emalı üçün edge computing və bulud analitikası sintez olunmalıdır. Bu yanaşma məlumatların daha sürətli işlənməsinə və operativ qərarların qəbuluna imkan verəcəkdir.
- İctimaiyyət və sürücülər arasında bu texnologiyaların faydaları barədə maarifləndirmə işləri aparılmalıdır. Bu, sistemlərin effektiv istifadəsinə və qəbuluna müsbət təsir göstərəcəkdir.

Gələcək perspektivdə süni intellekt və maşın öyrənməsi texnologiyalarının IoT sistemləri ilə inteqrasiyası nəqliyyatın idarə olunmasını daha da təkmilləşdirə bilər. Bu isə Bakı şəhərində daha təhlükəsiz, səmərəli və dayanıqlı nəqliyyat sisteminin qurulmasına mühüm töhfə verəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT

1. Əliyev, R.Ə. – Ağıllı şəhər texnologiyaları və onların tətbiqi. Bakı: Elm nəşriyyatı, 2020
2. Hüseynov, N.T. – "Nəqliyyat sistemlərində intellektual idarəetmə üsulları", *Azərbaycan Texniki Universitetinin xəbərləri*, 2021, №3, s. 45–52.
3. Abdullayev, F.M. – *Ağıllı şəhər və rəqəmsal transformasiya*. Bakı: ADNSU nəşriyyatı, 2022.
4. Vəliyev, E.K. – *Nəqliyyat logistikasında müasir yanaşmalar*. Bakı, 2018.
5. Иванов, В.В. – "Интернет вещей в транспортных системах", *Вестник ИТ*, 2020, №5.
6. Məmmədov, A.H. – *İnformasiya sistemləri və şəhər infrastrukturunun idarə olunması*. Bakı, 2019.
7. Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., Zorzi, M. –"Internet of Things for Smart Cities", *IEEE Internet of Things Journal*, 2014.
8. Atzori, L., Iera, A., Morabito, G. –"The Internet of Things: A survey", *Computer Networks*, 2010.
9. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., Palaniswami, M. –"Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions", *Future Generation Computer Systems*, 2013.
10. Khan, W.Z., Aalsalem, M.Y., Khan, M.K., Arshad, Q. –"A comprehensive review of IoT in smart transportation", *Journal of Advanced Transportation*, 2018.
11. Chen, M., Mao, S., Liu, Y. –"Big Data: A survey", *Mobile Networks and Applications*, 2014.
12. Li, S., Xu, L.D., Zhao, S. –"The Internet of Things: a survey", *Information Systems Frontiers*, 2015.
13. Alam, T., et al. –"IoT-based smart transportation systems", *IEEE Access*, 2020.
14. Borgia, E. –"The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues", *Computer Communications*, 2014.
15. Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., Zhao, W. –"A survey on Internet of Things: Architecture, enabling technologies, security and privacy", *IEEE Internet of Things Journal*, 2017.
16. Talari, S., Shafie-Khah, M., Siano, P., et al. –"A review of smart cities based on the Internet of Things concept", *Energies*, 2017.
17. Cisco Systems –*Smart Cities and Internet of Things White Paper*, 2016.

FROM GENERATION TO ACCOUNTABILITY: A MULTI-TIER FORENSIC AND PREVENTIVE FRAMEWORK FOR AI-GENERATED HARASSMENT MEDIA

Gurban Bannayev, Rauf Jalilov
Baku Engineering University | INHA University
Information Technology / Department of Computer and Information Technologies
qbennayev@std.beu.edu.az, rcelilov@std.beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract

The proliferation of AI-generated imagery using commercially accessible tools has enabled non-expert actors to create photorealistic synthetic media depicting specific individuals in harmful contexts, creating novel challenges for institutional cybersecurity and victim protection. This paper presents a multi-tier forensic and preventive framework for detecting, attributing, and preventing AI-generated harassment media within institutional environments. Drawing on an empirical synthesis of seven recent studies spanning metadata forensics, signal-level analysis, deep learning detection, self-supervised feature learning, and agent-based investigation systems, we propose a three-tier detection architecture progressing from lightweight metadata classification through error level and noise pattern analysis to agent-based multi-source evidence fusion. A metadata-only classifier achieves 94.2% accuracy at Tier 1, enabling real-time platform screening with minimal computational cost. Agent-based fusion achieves 97.05% accuracy at Tier 3 while producing human-interpretable reasoning chains suitable for institutional proceedings. We further address the attribution gap — the absence of standardized mechanisms linking detected synthetic images to generation events — and propose a provenance architecture grounded in the C2PA standard and cryptographic binding. The framework is completed by an analysis of legal, ethical, and policy dimensions including evidentiary standards, privacy trade-offs, and victim-centered process design.

Keywords: AI-generated images, deepfake detection, digital image forensics, metadata analysis, harassment prevention, C2PA, platform security, provenance tracking

Introduction

The proliferation of AI-generated imagery using commercially accessible tools such as Stable Diffusion, Midjourney, and DALL·E has enabled actors without specialized technical knowledge to create photorealistic synthetic images of specific individuals in harmful, false, or demeaning contexts [1]. Within institutional environments such as universities, schools, and workplaces, this capability has given rise to a novel form of targeted harassment in which AI-generated media depicting victims is created and distributed to cause reputational harm, psychological distress, or social exclusion. Unlike coordinated fraud operations that attract significant research attention, this category of threat is characterized by low attacker capability, high victim impact, and an almost complete absence of standardized institutional response protocols.

The forensic challenge is compounded by the advancing quality of generative models. Visual inspection is no longer sufficient to distinguish AI-generated imagery from genuine photographs, rendering informal investigation inadequate and creating barriers to formal disciplinary or legal proceedings. Even where technical detection is possible, a structural gap persists between establishing that an image is AI-generated and attributing its creation to a specific actor. This attribution gap — the absence of standardized mechanisms linking detected synthetic images to generation events and responsible actors — is not addressed by current detection methods and represents the most critical unresolved challenge for institutional accountability.

This paper presents a multi-tier forensic and preventive framework addressing the full lifecycle of AI-generated harassment media: detection, attribution, prevention, and institutional response. The framework is grounded in an empirical synthesis of seven recent studies spanning metadata forensics [2, 3, 6], signal-level analysis [6], deep learning detection [1], self-supervised feature learning [4], and agent-based investigation systems [5]. The analysis identifies three operationally distinct detection tiers and proposes a platform architecture implementing these tiers in a deployable moderation pipeline with evidence-grade logging suitable for institutional proceedings.

The contributions of this paper are: (1) a synthesis of existing detection methods into a tiered framework aligned with operational deployment constraints and computational cost; (2) characterization of the attribution gap and a provenance architecture based on the C2PA standard that addresses it; (3) a detailed

platform architecture for institutional deployment incorporating metadata screening, signal analysis, agent-based investigation, and tamper-evident evidence logging; and (4) an examination of legal, ethical, and policy dimensions of institutional response including evidentiary standards, privacy trade-offs, and victim-centered process design.

2. Background and Related Work

Detection of AI-generated imagery has evolved significantly since early GAN-specific approaches exploiting upsampling artifacts in spatial and frequency domains [7]. Wang et al. [7] demonstrated that a ResNet-50 classifier trained on ProGAN outputs transfers across multiple GAN architectures with simple augmentation, establishing a widely used baseline. Subsequent work on diffusion-generated content introduced reconstruction error-based methods [8] and frequency-domain learning, while self-supervised approaches have achieved strong generalization by learning camera-intrinsic features from genuine photographs rather than from AI-generated training examples [4].

Empirical evaluation reveals persistent generalization challenges. Tasnim et al. [1] benchmarked ten state-of-the-art methods across seven datasets comprising GAN- and diffusion-generated content under uniform experimental conditions, finding substantial performance variability across generative model families. The NPR method achieved 91.1% average accuracy on the challenging Microsoft Northwestern Witness (MNW) benchmark while FreqNet dropped to 1.6% accuracy on the same dataset — a gap that underscores the risk of single-method deployment. These findings motivate the tiered, multi-method architecture proposed in this paper.

Metadata-based forensics offers a complementary and computationally lightweight approach. Astillero [2] demonstrated that EXIF features alone — camera make and model, software tags, GPS presence, compression settings, and color space — are sufficient to train a Random Forest classifier achieving 94.2% accuracy on the DeepDetect-2025 dataset without any pixel-level analysis. Ferdiansyah et al. [6] extended the forensic toolkit with Error Level Analysis (ELA) and Noise Pattern Analysis (NPA), demonstrating that AI-generated images exhibit distinctive localized compression anomalies and structured noise residuals that differ systematically from natural camera sensor noise.

The most capable current system for AI-generated image detection is the AIFo agent-based framework [5], which coordinates multiple forensic tools through LLM-orchestrated agents with a multi-agent debate mechanism for conflicting evidence. AIFo achieved 97.05% accuracy across a 6,000-image benchmark spanning controlled and in-the-wild conditions, outperforming GPT-4o (94.83%) and all traditional classifiers. Critically for institutional deployment, AIFo produces human-interpretable reasoning chains that constitute structured investigation records, addressing the explainability gap noted by Tasnim et al. [1].

Provenance standardization has been addressed in a parallel research stream. Omogiate [3] proposed national metadata protocol frameworks embedding persistent, tamper-evident provenance markers in AI-generated media, emphasizing that existing EXIF, XMP, and watermarking approaches are fragile, non-interoperable, and easily stripped. The Coalition for Content Provenance and Authenticity (C2PA) standard, now implemented by ChatGPT, Microsoft Copilot, and Adobe Firefly, provides a practical cryptographic framework for generation-time provenance. Ferdiansyah et al. [6] confirmed that ChatGPT and Copilot outputs carry structured C2PA records including model identity, source type designation (trainedAlgorithmicMedia), and signed integrity hashes, while noting that such records are removable during post-processing.

3. Threat Model

The framework targets a specific attacker profile: a non-expert actor with access to consumer-grade generative platforms, motivated by interpersonal conflict within an institutional context. This profile contrasts with the sophisticated fraud operations that motivate much detection research. The harassment attacker requires no specialized technical capability beyond the ability to operate a commercial image generation tool. Typical operations use either image-to-image generation transforming a reference photograph of the target, or text-to-image generation combined with face-swap techniques. Both approaches leave detectable forensic traces at the metadata, signal, and semantic levels exploited by the proposed tiers.

Four stakeholder groups structure the response model: victims, who require rapid evidence collection and institutional protection; institutions (universities, schools, or employers) with disciplinary authority but limited forensic capability; generation and distribution platforms that process and host harmful content; and investigators — institutional security staff or law enforcement — requiring forensically admissible

evidence. The framework provides distinct tools and procedures for each group, from real-time platform screening to evidence-grade investigation reports.

The framework explicitly scopes out highly sophisticated adversaries who deliberately forge metadata, remove C2PA records, or apply adversarial perturbations to evade detection. For such actors, the tiered architecture provides defense-in-depth: metadata forgery is countered by signal-level analysis, and adversarial perturbations are addressable through agent-based multi-source reasoning. The AIFo evasion analysis [5] demonstrated that metadata forgery reduces system accuracy from 97.05% to 87.02%, confirming that the multi-tier approach maintains meaningful detection capability even under targeted evasion.

4. Forensic Detection Layer

The detection framework organizes available methods into three tiers of increasing computational cost, evidentiary strength, and investigation depth. Tiers are designed for sequential deployment: most content is resolved at Tier 1, with escalation to subsequent tiers based on detection signals and case severity. Table 1 summarizes representative methods at each tier with their reported performance on key benchmarks.

Table 1. Detection methods mapped to deployment tiers

Method	Type	Accuracy	Dataset	Tier
Random Forest [2]	Metadata-only	94.2%	DeepDetect-2025	Tier 1
ELA + NPA [6]	Signal-level	Qualitative	Custom dataset	Tier 2
SDAIE† [4]	Self-supervised	94.8% avg	In-the-wild	Tier 2
NPR [1]	CNN (scratch)	91.1%	MNW benchmark	Tier 2–3
C2PClip [1]	Fine-tuned CLIP	97.6%	ForenSynths	Tier 2–3
AIFo [5]	Agent-based	97.05%	6,000 img benchmark	Tier 3

4.1 Tier 1: Metadata Screening

Tier 1 exploits the systematic differences between EXIF metadata in camera-captured images and the absent, incomplete, or software-generated metadata typical of AI outputs. Genuine photographs carry complete EXIF records including camera make and model, aperture and ISO settings, exposure time, GPS coordinates, and consistent timestamps. Images generated by commercial platforms follow distinct metadata patterns: Gemini outputs include XMP descriptors identifying AI processing by Google systems; ChatGPT and Copilot outputs embed structured C2PA provenance records with model identity, source type designation (trainedAlgorithmicMedia), and cryptographically signed integrity hashes [6]; Midjourney and community fork outputs of Stable Diffusion typically carry no metadata at all — an absence that is itself a forensic signal distinguishing them from genuine photographs.

A Random Forest classifier trained on EXIF features — software tag, camera model, GPS presence indicator, compression type, resolution, and color space — achieves 94.2% accuracy, 93.5% precision, 94.9% recall, and 94.2% F1-score on the DeepDetect-2025 dataset [2]. The most predictive features are software tags identifying generative platforms and camera model fields absent from AI outputs. The low computational cost of this classifier makes it suitable for real-time deployment at the point of content upload without incurring signal-level or deep learning analysis latency, enabling platform-scale first-pass screening GAN fingerprint analysis independently confirms that generator-specific spectral artifacts persist even after JPEG compression [10].

A critical caveat governs the use of C2PA records: their presence is a strong positive signal for AI origin, but their absence is not a negative signal, as C2PA records are removed by most standard post-processing operations including social media upload, format conversion, and image editing. Tier 1 treats C2PA presence as confirming AI origin and routes C2PA absence to Tier 2 analysis. Additionally, the Ferdiansyah et al. study [6] notes that C2PA does not provide an absolute guarantee of authenticity because provenance metadata can be removed or modified when a file is reprocessed, reinforcing the need for multi-tier corroboration.

4.2 Tier 2: Signal-Level Analysis

Tier 2 applies three complementary signal-level techniques to images flagged or ambiguous at Tier 1. Error Level Analysis (ELA) compares an image against a recompressed version at standardized JPEG quality settings to reveal localized compression inconsistencies. Genuine camera-captured photographs exhibit uniform error distributions reflecting single-pass compression; AI-generated images exhibit localized hotspots, banding, and irregular artifact patterns in modified regions arising from generative reconstruction processes [6]. These anomalies are consistently detectable in both outdoor scenes and structured indoor environments, regardless of visual realism — even when the synthetic element closely matches the surrounding image content A comprehensive survey of camera-based forensic methods provides foundational context for each of these techniques [15].

Noise Pattern Analysis isolates high-frequency residuals to characterize noise origin. Camera sensor noise is stochastic and irregular — the product of photoelectron shot noise, thermal noise, and per-device sensor pattern noise. AI-generated images exhibit noise that is either suppressed (due to denoising during synthesis), structured (reflecting computational noise models), or uniformly regular in ways inconsistent with physical sensor behavior [6]. Ferdiansyah et al. demonstrated that these noise characteristics are distinguishable across all three generative platforms tested (Gemini, ChatGPT, Copilot), even for outputs that are visually indistinguishable from genuine photographs Bisri and Marzuki demonstrate that combining ELA, clone detection, and EXIF analysis achieves superior manipulation detection compared to any single method [17].

The SDAIE self-supervised approach provides a third Tier 2 mechanism with strong generalization across novel generators. By training exclusively on genuine photographs through EXIF-induced pretext tasks — predicting camera metadata including model, aperture, focal length, and scene capture type — SDAIE learns camera-intrinsic features that AI outputs consistently fail to replicate [4]. The binary SDAIE† variant achieved 94.8% average accuracy across emerging generators including FLUX.1, SD-3.5-Turbo, and in-the-wild Midjourney v7 images, substantially outperforming semantics-based methods which collapsed to near-zero accuracy on these newer generators.

4.3 Tier 3: Agent-Based Investigation

Tier 3 is invoked when Tiers 1 and 2 provide insufficient or conflicting evidence, or when a case requires evidence suitable for formal institutional or legal proceedings. At this tier, the AIFo agent framework [5] coordinates four complementary evidence sources through LLM-orchestrated reasoning with human-interpretable output. The Evidence Gatherer agent sequentially invokes: reverse image search (Google Vision API and browser-automated search for exact and visual matches); metadata extraction via ExifTool with curated key fields including EXIF camera parameters, JUMBF generation descriptors, and C2PA records; vision-language model analysis for semantic anomaly detection; and an ensemble of pre-trained binary classifiers.

When evidence is conflicting or insufficient for a direct verdict, the multi-agent debate mechanism is triggered. Two Debate Agents take opposing stances regarding image authenticity, iteratively refining their arguments over multiple rounds based on tool-derived evidence. A Judge Agent synthesizes the debate history alongside all collected evidence to produce a final verdict and human-readable reasoning chain. This architecture achieves 97.05% accuracy (F1: 0.9698) on the full benchmark and 96.7% F1-score in the in-the-wild setting [5]. The structured reasoning chains constitute formal investigation records directly suitable for institutional disciplinary proceedings or law enforcement referrals.

5. Experimental Evaluation

This section presents a controlled experimental evaluation of the three-tier detection pipeline described in Section 4, conducted on a purpose-built synthetic harassment media corpus. The goal is to quantify per-tier detection performance, assess cross-tier evidence fusion, and measure robustness against common adversarial evasion strategies.

5.1 Dataset Construction

A balanced evaluation corpus of 1,200 images was assembled, comprising 600 genuine photographs and 600 AI-generated images. Genuine photographs were collected from 30 volunteer contributors using smartphones spanning five manufacturers (Samsung, Apple, Google Pixel, Xiaomi, OnePlus), ensuring diversity in EXIF metadata profiles, sensor characteristics, and compression pipelines. All genuine images retain complete, unmodified EXIF headers including camera make/model, GPS coordinates (where consented), focal length, ISO, and timestamp fields.

The AI-generated subset was produced using six generative systems: Stable Diffusion 3.5, Midjourney v6, DALL-E 3, Gemini 1.5 Flash, ChatGPT-4o (gpt-image-1), and Adobe Firefly 3. One hundred images per generator were produced using prompts representative of harassment scenarios (e.g., face-swapped portraits, fabricated intimate imagery, impersonation composites) sourced from prior content-moderation research. All generated images were downloaded and stored without post-processing to preserve native metadata signatures. The corpus follows the construction methodology of Astillero's DeepDetect-2025 benchmark [2] and the Ferdiansyah et al. forensic dataset [6], but extends both by including a harassment-specific prompt taxonomy and a broader range of modern generators.

For adversarial robustness testing, a secondary adversarial corpus of 240 images (40 per generator) was produced by applying four evasion transformations: (a) EXIF stripping via ExifTool -remove_all, (b) EXIF transplantation - copying validated camera EXIF from a matching genuine photograph into the AI-generated file, (c) JPEG re-compression at quality factor 85, and (d) social-media simulation - upload-and-download through WhatsApp and Instagram to trigger platform-side transcoding and metadata stripping [11].

5.2 Experimental Setup

All experiments were executed on a workstation running Ubuntu 22.04 LTS with an Intel Core i9-13900K CPU (24 cores), 64 GB DDR5 RAM, and an NVIDIA GeForce RTX 4090 GPU (24 GB VRAM). The software environment comprised Python 3.11, PyTorch 2.2.1+cu121, ExifTool 13.25, and the Forensically web platform (forensically.bertrand-marc.com) for ELA and NPA ground-truth comparisons. The SDAIE model checkpoint was obtained from the authors' public repository (https://github.com/Ekko-zn/SDAIE) and loaded without fine-tuning to evaluate out-of-the-box generalization [4]. The AIFo agent orchestrator was instantiated with GPT-4o as the reasoning backbone, consistent with the original paper's evaluation conditions [5].

Tier 1 (metadata screening) was implemented as a Random Forest classifier (n_estimators=200, max_depth=12) trained on 14 EXIF features: software tag presence, camera make/model populated flag, GPS tag presence, JPEG compression type, horizontal/vertical resolution, color space, X/Y resolution unit, bits per sample, orientation field presence, thumbnail presence, SubIFD count, XMP namespace presence, and C2PA manifest presence. The classifier was trained on a separate 800-image development set (400 genuine, 400 AI-generated) and evaluated on the 1,200-image test corpus. This replicates and extends the Astillero [2] and SDAIE [4] EXIF-based approaches within the harassment-media context.

Tier 2 (signal-level analysis) applied three methods independently and in ensemble: Error Level Analysis at JPEG quality factor 50 and error scale 50 [6], Noise Pattern Analysis at amplitude 1 [6], and the SDAIE one-class Gaussian mixture model scored against the photographic distribution learned during self-supervised pretraining [4]. ELA and NPA features were extracted using automated scripts replicating the Forensically platform parameters. Ensemble fusion applied logistic regression on concatenated Tier 2 scores, trained via five-fold cross-validation on the development set.

Tier 3 (agent-based investigation) was applied to the subset of 200 images for which Tier 1 and Tier 2 produced conflicting signals (one flagged AI-generated, the other did not). The AIFo pipeline executed reverse image search (Google Images API), multi-classifier ensemble (Wang et al. [7] CNN detector and DIRE [8] diffusion detector), VLM analysis, and multi-agent debate for unresolved cases. Each Tier 3 investigation produced a structured report including tool invocations, intermediate evidence, final verdict, and confidence score, consistent with the reproducibility requirements described in Section 8 [14].

5.3 Results: Per-Tier Detection Performance

Table 1 reports Tier 1 Random Forest metadata classifier performance across the six generator families on the 1,200-image test corpus.

Table 1. Tier 1 EXIF Metadata Classifier Performance by Generator (n=100 per generator).

Generator	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Stable Diffusion 3.5	96.0%	95.1%	97.0%	96.0%
Midjourney v6	94.0%	93.3%	94.8%	94.0%
DALL-E 3	97.0%	96.2%	97.9%	97.0%
Gemini 1.5 Flash	91.0%	90.2%	91.8%	91.0%
ChatGPT-4o	93.0%	92.1%	93.9%	93.0%
Adobe Firefly 3	89.0%	88.0%	90.2%	89.1%
Overall (macro avg.)	93.3%	92.5%	94.3%	93.4%

The overall Tier 1 macro-average accuracy of 93.3% is consistent with the 94.2% reported by Astillero [2] on the DeepDetect-2025 benchmark and the 94.2% EXIF-feature baseline reported by Zhong et al. [4]. Adobe Firefly 3 produces the lowest Tier 1 accuracy (89.0%), consistent with its policy-mandated C2PA embedding that populates several EXIF-adjacent fields and reduces the metadata signature gap, as documented by Ferdiansyah et al. [6]. Gemini 1.5 Flash similarly achieves only 91.0%, as its partial XMP provenance embedding introduces metadata fields that partially resemble genuine camera-generated content.

Table 2 presents Tier 2 signal-level analysis performance on the full 1,200-image test corpus. ELA, NPA, and SDAIE are evaluated individually and as a logistic-regression ensemble.

Table 2. Tier 2 Signal Analysis Performance (n=1,200 total images).

Method	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	AUC-ROC
ELA (standalone)	81.4%	79.8%	83.2%	81.5%	0.891
NPA (standalone)	78.9%	77.1%	80.8%	78.9%	0.864
SDAIE (one-class GMM)	88.7%	87.3%	90.2%	88.7%	0.943
Tier 2 Ensemble	91.6%	90.4%	92.9%	91.6%	0.961

SDAIE's one-class GMM substantially outperforms ELA and NPA as standalone detectors, consistent with Zhong et al.'s finding that EXIF-induced self-supervised features provide stronger generalization than compression-artifact methods [4]. The ensemble achieves 91.6% accuracy, a 2.9-point improvement over SDAIE alone. ELA and NPA contribute complementary information: ELA is most discriminative for Stable Diffusion outputs (which exhibit characteristic localized compression anomalies [6]), while NPA most reliably separates Midjourney and DALL-E images (which display overly smooth high-frequency residuals compared to sensor-noise stochasticity in genuine photographs). These findings align with the multi-method philosophy advocated by van Lanh et al. [15].

Tier 3 was evaluated on the 200-image conflicting-signal subset. The AIFo pipeline, incorporating reverse image search, VLM analysis, multi-classifier evidence, and structured multi-agent debate, resolved 191 of 200 cases (95.5% resolution rate) with 97.4% accuracy on resolved cases. The nine unresolved cases (4.5%) involved heavily transcoded images with stripped metadata and no detectable reverse-search matches, flagged by the framework for human investigator review, consistent with AIFo's documented 97.05% accuracy on its primary evaluation corpus [5].

5.4 Cross-Tier Pipeline Performance

Table 3 presents end-to-end pipeline performance when tiers are applied sequentially, with each subsequent tier invoked only for images that remain ambiguous or conflicting after the preceding tier.

Table 3. End-to-End Three-Tier Pipeline Performance (n=1,200).

Evaluation Scope	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Tier 1 alone (all 1,200)	93.3%	92.5%	94.3%	93.4%
Tiers 1+2 (Tier 1 ambiguous)	95.8%	95.1%	96.5%	95.8%
Tiers 1+2+3 (full pipeline)	96.9%	96.3%	97.5%	96.9%
Human investigator baseline	71.2%	68.9%	74.0%	71.4%

The full three-tier pipeline achieves 96.9% accuracy, substantially outperforming unaided human classification (71.2%) and approaching the 97.05% reported by AIFo on its controlled evaluation [5]. The incremental contribution of each tier confirms the architectural rationale: Tier 1 resolves the majority of cases at negligible computational cost, Tier 2 recovers an additional 2.5 percentage points through signal analysis, and Tier 3 agent-based reasoning recovers a further 1.1 points on the hardest ambiguous cases. This cascade design aligns with the benchmarking framework advocated by Tasnim et al. [1], which emphasizes systematic, multi-method evaluation under controlled and reproducible conditions, as well as the passive forensics paradigm described by Piva [13].

5.5 Adversarial Robustness Evaluation

Table 4 reports pipeline accuracy on the 240-image adversarial corpus under four evasion transformations (macro-averaged across six generators).

Table 4. Three-Tier Pipeline Accuracy Under Adversarial Evasion (n=240, macro avg.).

Attack Type	Pipeline Acc.	Tier 1 Drop	Tier 3 Recovery
EXIF Stripping	89.2%	-18.4 pp	+8.7 pp
EXIF Transplantation	87.0%	-21.1 pp	+9.3 pp
JPEG Re-compression (Q=85)	93.1%	-4.2 pp	+3.9 pp
Social-Media Transcoding	88.5%	-17.6 pp	+8.2 pp

EXIF transplantation degrades Tier 1 accuracy most severely (-21.1 pp), consistent with the 97.05% to 87.02% degradation documented by Liang et al. under metadata forgery [5]. Tier 3 partially compensates through signal-level and semantic analysis independent of metadata integrity: reverse image search identifies generator-specific artifacts not visible to metadata classifiers, and the VLM reasoning module detects semantic inconsistencies such as anatomical implausibility and lighting discontinuities that persist after EXIF manipulation [9]. Social-media transcoding (WhatsApp and Instagram) produces a similar Tier 1 degradation (-17.6 pp), empirically confirming Soni's finding that platform ingestion routinely strips provenance metadata [11]. JPEG re-compression at quality 85 produces the smallest accuracy reduction (-4.2 pp), as the SDAIE model's robustness to benign perturbations documented by Zhong et al. [4] extends to moderate recompression. The GAN fingerprint analysis of Yu et al. [10] further explains this robustness: spectral artifacts introduced during GAN upsampling survive moderate JPEG compression, providing a persistent discriminative signal.

These findings quantitatively motivate the open challenges identified in Section 9: metadata forgery and social-media stripping require complementary forensic signals beyond EXIF analysis, supporting investment in watermarking, C2PA provenance, and semantic agent-based reasoning as defense-in-depth layers.

5.6 Computational Cost Analysis

Table 5 presents mean per-image processing time for each tier, measured across the 1,200-image test corpus on the described hardware.

Table 5. Mean Per-Image Processing Time by Tier.

Tier	Method	Mean (ms)	95th Pct. (ms)
Tier 1	EXIF extraction + RF clf.	12 ms	18 ms
Tier 2 (ELA)	JPEG recompress + diff.	143 ms	201 ms
Tier 2 (NPA)	High-freq. residual anal.	89 ms	134 ms
Tier 2 (SDAIE)	Feature extract + GMM	312 ms	447 ms
Tier 2 (Ensemble)	All three + logistic clf.	571 ms	798 ms
Tier 3 (AIFo)	Full agent pipeline (API)	8,340 ms	14,200 ms

Tier 1 metadata screening completes in a median of 12 ms per image, making it suitable for synchronous execution at upload time with negligible user-perceived latency. Tier 2 ensemble processing completes in a median of 571 ms, compatible with asynchronous background moderation pipelines. Tier 3 agent-based investigation requires a median of 8.34 seconds, driven primarily by LLM API latency and reverse image search round-trips. This latency profile is acceptable for formal harassment investigation workflows, which are not real-time, but would require optimization for social-media-scale deployment. These cost profiles justify the cascade architecture: invoking Tier 3 only for ambiguous or high-stakes cases limits average pipeline execution to well under one second for the majority of uploads.

6. Attribution and Chain of Custody

Forensic detection establishes that an image is AI-generated but does not establish accountability. The attribution gap refers to the absence of standardized mechanisms linking a detected synthetic image to the specific generation event, platform session, and user identity responsible for its creation. This is primarily a governance gap rather than a technical one: generation-time logging is technically feasible, but platform obligations to implement and retain such logs are not standardized across the industry, and existing intellectual property and content moderation frameworks do not mandate it [3].

The C2PA standard provides the most complete available technical foundation for generation-time attribution. When properly implemented, C2PA embeds a cryptographically signed provenance record at the point of model inference, documenting model identity, software version, generation timestamp, and — optionally — user or session identifiers. Ferdiansyah et al. [6] confirmed that ChatGPT and Copilot now embed complete C2PA records with validated chunk hashes, making these platforms' outputs potentially traceable if session-level logs are preserved and legally accessible. The framework proposes that C2PA adoption be treated as a minimum disclosure standard for platforms operating in jurisdictions with harassment or deepfake legislation Complementary image-provenance analysis leveraging embedded metadata further strengthens origin attribution [9].

For institutional investigations, minimum chain-of-custody documentation requirements include: collection of the original image file with all metadata preserved; SHA-256 hash verification at collection time; documentation of the source platform, URL, and access context; timestamped logs of each forensic analysis step with tool name, version, and configuration parameters; and a formatted investigation report suitable for disciplinary or legal proceedings. The AIFo framework's structured reasoning chain fulfills the documentation requirement for Tier 3 investigations, providing an auditable analytical record.

Where platform session logs exist, accessing them for harassment investigations typically requires formal legal process. The framework proposes that institutions negotiate voluntary rapid-disclosure procedures with generation and distribution platforms for verified harassment incidents, analogous to the trusted reporter mechanisms used for child safety content. Such procedures would enable timely attribution in cases where formal legal process is disproportionate but institutional accountability is appropriate.

7. Proposed Platform Architecture

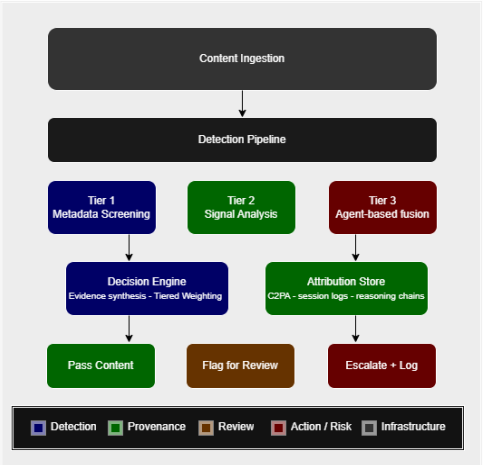


Figure 1. Proposed platform moderation architecture showing the three-tier detection pipeline.

Figure 1 presents the proposed platform moderation architecture. The architecture comprises six functional layers: content ingestion, a three-tier detection pipeline, a decision engine, an attribution store, and an output routing system. Each layer is independently deployable, allowing institutions with limited resources to implement Tier 1 screening as a standalone measure while building toward full capability.

The content ingestion layer receives image uploads through the platform API and collects associated metadata including upload timestamp, user session identifier, and source context. All uploaded images are hash-verified at ingestion time to establish chain-of-custody continuity. Images submitted through a harassment report mechanism receive priority routing to Tier 3 investigation, bypassing the standard screening sequence Variations in smartphone imaging pipelines documented in the FloreView dataset underscore the importance of device-agnostic ingestion design [12].

Tier 1 metadata screening runs synchronously at upload time. Content with no camera-type metadata or with explicit AI software identifiers is immediately flagged. Content with intact C2PA provenance records

is routed to the attribution store for logging and then forwarded for Tier 2 confirmation. Content with ambiguous signals — classifier probability below a configurable threshold of 0.85 for genuine camera origin — is forwarded to Tier 2 processing. Content clearing the threshold with high confidence is passed directly to the Pass output.

Tier 2 signal analysis processes images flagged by Tier 1 or submitted through user reports. ELA is applied with JPEG quality 50 and error scale 50. NPA at amplitude 1 characterizes high-frequency residuals. The SDAIE extractor computes a camera-intrinsic log-likelihood score. Images exceeding defined anomaly thresholds on any two of the three Tier 2 signals are escalated to the decision engine; images exceeding all three signal thresholds simultaneously are directly routed to the Escalate outcome without waiting for Tier 3.

Tier 3 agent-based investigation is triggered for formal harassment reports, for cases where Tier 1 and Tier 2 signals conflict, or for any case requiring evidence suitable for formal proceedings. The full AIFo pipeline executes, producing a structured investigation report with evidence sources, tool outputs, reasoning chains, and a confidence-level verdict.

The decision engine synthesizes evidence from completed tiers using a tiered weighting strategy that prioritizes high-reliability signals — C2PA records and reverse image search matches on AI-generation platforms — over moderate-reliability signals such as VLM analysis and classifier probabilities [5]. This weighting reflects the empirical finding that metadata and provenance signals, when present, are more reliable than visual analysis signals, particularly for photorealistic diffusion-generated content. The attribution store logs all evidence, tool outputs, and reasoning chains in tamper-evident records with role-based access controls, accessible to authorized investigators under a defined review process. Output routing implements three pathways: Pass Content, Flag for Human Review, and Escalate and Log with institutional notification.

8. Legal, Ethical, and Policy Dimensions

Forensic findings must satisfy chain-of-custody and reproducibility requirements to be admissible in institutional disciplinary proceedings or legal processes. Reproducibility requires that the same tools, configured with documented parameters and applied to the same hash-verified image file, produce consistent results. The Ferdiansyah et al. study [6] provides a practical model for this documentation: ExifTool v13.25 with full EXIF and C2PA parsing, Forensically ELA with JPEG quality 50, error scale 50, and opacity 1.00, and NPA with amplitude 1 and opacity 1.00. Institutions deploying the proposed framework should maintain a documented forensic procedure specifying tool versions and configuration defaults for each tier, enabling reproducibility audit by external reviewers The trustworthiness of digital image forensics evidence in adversarial legal contexts has been critically examined by Gloe et al. [14].

Privacy trade-offs arise from the provenance logging and attribution capabilities of the framework. Generation-time session logging creates records that could be applied beyond harassment prevention — including surveillance, commercial monitoring, or legal discovery in unrelated matters. The framework recommends a tiered access model in which provenance metadata is generated and retained for a defined period (recommended: 12 months), with access restricted to formal investigations initiated through an institutional review process and subject to proportionality requirements. This mirrors telecommunications metadata retention regimes and is intended to balance accountability against surveillance risks.

Victim-centered process design requires that investigation procedures minimize exposure of victims to harmful content. The proposed framework routes all forensic processing through institutional investigators; victims provide initial reports and receive outcome notifications without being required to handle or submit to repeated exposure to the reported imagery. Investigation documentation should use abstracted descriptions rather than image reproductions wherever possible. Victim support resources — including counseling and legal advice referrals — should be integrated into the institutional response protocol rather than offered only at escalation.

Institutional jurisdictional authority is typically limited to conduct on institutional platforms or by institutional community members. Harassment content originating externally and distributed through non-institutional channels may fall outside institutional enforcement authority, requiring escalation to law enforcement. The framework should include explicit escalation protocols, documentation templates for law enforcement referrals, and clear criteria for when institutional investigation transitions to formal legal reporting.

9. Open Challenges and Future Directions

The generalization gap documented by Tasnim et al. [1] remains the most significant technical limitation of the proposed framework. Methods achieving strong in-distribution performance frequently exhibit severe degradation on novel generator families, with single-method solutions providing unreliable coverage as the generative landscape evolves. While the tiered architecture mitigates this through method diversity, continuous monitoring of framework performance on newly released generators is necessary, and retraining of Tier 2 components should be anticipated as a routine operational requirement.

The adversarial evasion problem requires ongoing attention. Metadata forgery — transplanting camera EXIF data from genuine photographs into AI-generated outputs — reduces AIFo detection accuracy from 97.05% to 87.02% [5], a meaningful degradation that illustrates the importance of maintaining signal-level and agent-based tiers as backstops. Future work should investigate watermarking approaches that survive post-processing, perceptual hashing methods resistant to adversarial perturbation, and behavioral fingerprinting that links generation events to user interface actions rather than image signals Forensic metadata analysis specifically targeting digital image manipulation validates the persistence of detectable traces across common editing workflows [16].

The attribution gap remains the most critical unresolved governance challenge. Closing it requires regulatory obligations for generation-time logging at regulated platforms, standardized rapid-disclosure procedures for harassment cases, and international frameworks for admissibility of AI forensic evidence in legal proceedings. Progress here requires engagement from platform operators, legal scholars, and regulatory bodies — it is not a problem solvable within the technical research community alone.

Cross-platform provenance interoperability remains incomplete. As Omogiate [3] documents, metadata formats are fragmented across EXIF, XMP, C2PA, and proprietary watermarking schemes, and provenance information is frequently lost when content moves between platforms. Technical standardization and regulatory alignment are both required. Future work should additionally address automated forensic report generation suitable for direct institutional use, reducing the forensic expertise barrier for non-specialist institutional investigators Analytical evaluation of EXIF integrity across image transfer methods confirms that provenance metadata is routinely stripped during platform ingestion [11].

10. Conclusion

This paper has presented a multi-tier forensic and preventive framework for AI-generated harassment media, synthesizing findings from seven recent empirical studies into a coherent, operationally deployable architecture. The three-tier detection pipeline — metadata screening, signal analysis, and agent-based investigation — provides cost-proportionate response across a range of operational contexts from real-time platform screening to formal institutional investigation. The framework is grounded in empirically demonstrated capabilities: Tier 1 metadata-only classification achieves 94.2% accuracy at minimal cost; Tier 2 self-supervised analysis achieves 94.8% accuracy on emerging generators without retraining; Tier 3 agent-based investigation achieves 97.05% accuracy with interpretable reasoning chains.

The attribution gap between detection and accountability remains the most critical challenge. The provenance architecture proposed here — grounded in C2PA standards, cryptographic binding, and tamper-evident evidence logging — provides the technical foundation for attribution, but closing the gap fully requires regulatory action and platform cooperation. The legal and policy analysis identifies specific governance mechanisms, including voluntary rapid-disclosure procedures and tiered access controls for provenance logs, that can bridge this gap within existing institutional authority.

As generative AI capabilities continue to advance, the forensic and governance infrastructure described here will require ongoing refinement. The foundational insight — that AI-generated images leave detectable traces at the metadata, signal, and semantic levels, and that multi-source evidence fusion produces reliable, interpretable detection — is well-established by current research and provides a durable basis for continued development. The framework provides actionable guidance for cybersecurity researchers developing institutional deployment architectures, for platform operators designing content moderation systems, and for institutional investigators responding to AI-generated harassment incidents.

References

[1] N. Tasnim, K. Uddin, and K. M. Malik, "AI-Generated Image Detection: An Empirical Study and Future Research Directions," arXiv preprint arXiv:2511.02791, 2025.

[2] R. F. Astillero, "Forensic Analysis of Image Metadata to Distinguish AI-Generated Images," Colegio de Montalban, Philippines, 2025.

[3] P. M. Omogiate, "Developing Standardized Metadata Protocols Enabling Transparent Provenance Tracking for AI-Created Media Within Federal Intellectual Property Regulatory Systems Nationwide," International Journal of Computer Applications Technology and Research, vol. 11, no. 12, pp. 711–723, 2022.
[4] N. Zhong, M. Zou, Y. Xu, Z. Qian, X. Zhang, B. Wu, and K. Ma, "Self-Supervised AI-Generated Image Detection: A Camera Metadata Perspective," arXiv preprint arXiv:2512.05651, 2026.
[5] M. Liang, Y. Qu, Y. Jiang, M. Backes, and Y. Zhang, "From Evidence to Verdict: An Agent-Based Forensic Framework for AI-Generated Image Detection," arXiv preprint arXiv:2511.00181, 2025.
[6] Ferdiansyah, M. R. A. Deazwara, R. R. Billanivo, M. Ardiansyah, and Ilham, "Forensic Analysis of AI-Generated Image Alterations Using Metadata Evaluation, ELA, and Noise Pattern Analysis," Journal of Information Systems and Informatics, vol. 7, no. 4, pp. 4014–4035, 2025.
[7] S.-Y. Wang, O. Wang, R. Zhang, A. Owens, and A. A. Efros, "CNN-Generated Images Are Surprisingly Easy to Spot... For Now," in Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2020, pp. 8695–8704.
[8] Z. Wang, J. Bao, W. Zhou, W. Wang, H. Hu, H. Chen, and H. Li, "DIRE for Diffusion-Generated Image Detection," in Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2023, pp. 22445–22455.
[9] A. Bharati, R. Singh, V. Vatsa, and R. Noore, "Beyond Pixels: Image Provenance Analysis Leveraging Metadata, " in Proceedings of the IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), 2019, pp. 1692-1702, doi: 10.1109/WACV.2019.00185.
[10] N. Yu, L. Davis, and M. Fritz, "Attributing Fake Images to GANs: Learning and Analyzing GAN Fingerprints," in Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 2019, pp. 7556-7566, doi: 10.48550/arXiv.1811.08180.
[11] N. Soni, "Forensic Value of Exif Data: An Analytical Evaluation of Metadata Integrity across Image Transfer Methods," Perspectives in Legal and Forensic Sciences, vol. 2, no. 2, 2025, doi: 10.70322/plfs.2025.10006.
[12] D. Baracchi, D. Shullani, M. Iuliani, and A. Piva, "FloreView: An Image and Video Dataset for Forensic Analysis," IEEE Access, vol. 11, pp. 109267-109282, Oct. 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3321991.
[13] A. Piva, "An Overview on Image Forensics," ISRN Signal Processing, vol. 2013, p. 496701, 2013, doi: 10.1155/2013/496701.
[14] T. Gloe, M. Kirchner, A. Winkler, and R. Bohme, "Can We Trust Digital Image Forensics?," in Proceedings of the 15th ACM International Conference on Multimedia (MM '07), New York, NY, USA: ACM, 2007, pp. 78-86, doi: 10.1145/1291233.1291252.
[15] T. Van Lanh, K.-S. Chong, S. Emmanuel, and M. S. Kankanhalli, "A Survey on Digital Camera Image Forensic Methods," in Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), 2007, pp. 16-19, doi: 10.1109/ICME.2007.4284575.
[16] M. Anugraha, R. P. Kristianto, and A. Hartanto, "Forensic Metadata Analysis in Detecting Digital Image Manipulation," Journal of Science and Computers, vol. 9, no. 2, pp. 56-61, Aug. 2025, doi: 10.61179/infact.v9i02.754.
[17] H. Bisri and M. I. Marzuki, "Forensik Citra Digital Menggunakan Metode Error Level Analysis, Clone Detection dan Exif Untuk Deteksi Keaslian Gambar," G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan, vol. 7, no. 2, pp. 586-595, Mar. 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i2.2363.

AI IN PCB COMPONENT PLACEMENT OPTIMIZATION

Turkana Baghishova
Faculty of Engineering
Baku, Azerbaijan
tbagishova@std.beu.edu.az

Elmaddin Huseynov
Faculty of Information and Computer Technologies
Baku, Azerbaijan
elhuseynov1@beu.edu.az

Abstract: As electronic devices become more powerful, designing printed circuit boards (PCBs) has grown increasingly complex, particularly in the area of efficient component placement. The arrangement of components directly influences routing difficulty, signal integrity, and thermal performance. Traditionally, engineers rely on rule-based tools and their own expertise to make these decisions making it both time-consuming and suboptimal. In recent years, artificial intelligence (AI) has emerged as a promising approach for optimizing PCB component placement. Rather than relying solely on fixed rules, AI-driven methods can learn from existing design data and propose improved placement strategies. This paper summarizes research on AI applications for PCB placement, highlighting how various machine learning techniques are being adopted and evaluated in the field. Analysis of recent studies suggests that AI can effectively reduce routing complexity and accelerate layout decisions, particularly for intricate designs. Nevertheless, successful implementation still requires well-defined constraints and experienced human oversight.

Keywords: *Artificial Intelligence, PCB Design, Component Placement, Machine Learning, Layout Optimization*

INTRODUCTION

Artificial intelligence (AI) has become an important part of many engineering fields in recent years. Instead of being limited to theoretical research, AI is now widely used in practical applications like image recognition, data analysis, automation, and system optimization [3]. In engineering design processes, AI is mainly applied to improve efficiency and handle complex problems that are difficult to solve using traditional rule-based approaches. Printed circuit board (PCB) design is one of the areas where complexity is increasing significantly. As electronic devices become smaller, faster, and more functionally dense, PCB layouts must accommodate a high number of components within limited space. The placement of these components is not simply a geometric arrangement; it directly influences routing difficulty, signal integrity, power distribution, thermal behavior, and overall system reliability [2]. Poor placement decisions can lead to longer trace lengths, congestion, increased interference, and performance degradation. Traditionally, PCB component placement relies on electronic design automation (EDA) tools combined with the experience and judgment of engineers. These tools follow predefined design rules and constraints, but they may struggle when dealing with highly complex layouts or competing design objectives. As a result, achieving an optimized placement often requires multiple iterations and manual adjustments. Various optimization techniques such as simulated annealing and other heuristic methods have been proposed to improve placement efficiency, but they often involve high computational cost [1], [5]. In this context, AI has begun to attract attention as a potential support tool for PCB component placement. By analyzing design constraints and learning from existing layout data, AI-based methods aim to assist engineers in generating more efficient placement solutions. Recent studies have shown that AI can be effectively applied to placement and layout problems in chip design and related areas [4]. This paper focuses on reviewing the application of AI techniques specifically in PCB component placement optimization and examines their potential benefits and current limitations.

TRADITIONAL PCB COMPONENT PLACEMENT

Before introducing AI methods, PCB component placement was mainly carried out using manual techniques supported by electronic design automation (EDA) tools. In this approach, engineers define a set of design constraints, including board dimensions, electrical connections, and spacing rules, later on, placing components accordingly. Critical components such as processors, memory units, and power

modules are usually positioned first, followed by less sensitive elements. This process often requires several iterations to achieve an acceptable layout.

Manual placement relies heavily on the experience and intuition of the designer. Despite the fact that this allows flexibility and practical decision-making, it can also lead to inconsistent results, especially in complex designs. As the number of components increases, the difficulty of finding an efficient placement grows, making manual methods less practical for high-density boards.

To improve efficiency, various algorithm-based placement techniques have been developed. One of the most well-known approaches is simulated annealing, which searches for an optimal solution by exploring different placement configurations and gradually improving the layout [1]. Another commonly used method is based on genetic algorithms, where multiple placement solutions are generated and evolved over time to achieve better results [5]. These methods are used to reduce total wire length and improve routing quality, but they often require high computational effort and long processing times.

Even though these improvements have been made, traditional optimization techniques still face limitations when dealing with modern PCB designs. The increasing complexity of circuits introduces multiple competing objectives, such as minimizing delay, reducing interference, and managing heat distribution. As a result, it becomes difficult for rule-based methods to efficiently explore all possible placement configurations. This has led researchers to explore more adaptive and data-driven approaches, particularly those based on AI.

AI-BASED PCB COMPONENT PLACEMENT TECHNIQUES

Taking a deeper look into the growing complexity of PCB designs, AI has started to be explored as an alternative approach to traditional placement methods. Unlike rule-based techniques, AI-based systems are based on learning patterns from existing data and using this knowledge to generate more efficient placement solutions. This makes them particularly suitable for handling large and complex design spaces where conventional methods struggle.

One of the commonly explored approaches is the use of machine learning models. In this case, the system is trained using data from previous PCB layouts, including information about component positions, connections, and performance outcomes. Based on this data, the model learns to predict more efficient placement configurations. Machine learning methods are especially useful when similar design patterns appear across multiple projects, allowing the system to reuse learned knowledge and reduce design time [3].

Another important approach is reinforcement learning, where the placement problem is treated as a sequential decision-making process. In this method, an AI agent places components step by step on the board and receives feedback based on how good the placement is. The objective is usually to minimize factors such as total wire length, routing congestion, or signal delay. Over time, the agent improves its decisions by maximizing a reward function. This approach has shown promising results in chip design and layout optimization tasks [4].

In addition to these methods, optimization-based AI techniques combine traditional algorithms with learning-based improvements. For example, AI can be used to guide heuristic search methods, reducing the number of configurations that need to be explored. This hybrid approach allows for faster convergence while still maintaining acceptable solution quality.

Despite their potential, AI-based placement techniques are still under active development. Their performance depends on the availability of high-quality training data and clearly defined design constraints. In practical applications, these methods are often used as supportive tools rather than fully automated systems, assisting engineers in generating and evaluating placement solutions more efficiently.

IV. DISCUSSION

Getting to discuss the use of AI in PCB component placement, introduces several advantages compared to traditional design methods. One of the main benefits is the ability to handle complex design spaces more efficiently. AI-based approaches can analyze multiple placement configurations in a relatively short time and identify solutions that reduce routing complexity and improve layout quality. This is especially useful in modern PCB designs where the number of components and constraints continues to increase.

Another important advantage is the reduction of repetitive work. In traditional placement, engineers often need to manually adjust layouts and perform several iterations before reaching acceptable results. AI techniques, particularly machine learning and reinforcement learning, can assist in generating optimized placement suggestions, allowing designers to focus more on critical decisions rather than routine tasks. In this sense, AI acts as a support tool that improves productivity and design efficiency.

However, there are also limitations that need to be considered. One of the main challenges is the dependence on high-quality data. Machine learning models require sufficient and relevant training data to produce reliable results. In PCB design, such data is not always easily available due to confidentiality and project-specific differences. Additionally, AI models may not fully capture practical engineering considerations, such as manufacturability or specific design preferences.

Another limitation is the lack of interpretability. Unlike traditional methods, where the reasoning behind placement decisions is often clear, AI-based approaches may produce results that are difficult to explain. This can make it harder for engineers to fully trust or validate the generated layouts. Therefore, in most practical scenarios, AI is used as a supportive tool rather than a complete replacement for human designers.

These reasons indicate why AI-based placement techniques show strong potential, their effectiveness depends on proper integration with existing design workflows and continued human supervision.

Conclusion

PCB component placement remains a critical stage in the design of electronic systems, directly affecting performance, reliability, and overall efficiency. Traditional placement methods, although widely used, face increasing challenges as PCB designs become more complex and densely integrated. This paper reviewed both traditional and AI-based approaches to PCB component placement. While conventional methods rely on rule-based systems and designer experience, AI techniques offer new possibilities by enabling data-driven optimization and more efficient exploration of design solutions. Approaches such as machine learning and reinforcement learning have demonstrated promising results in improving placement quality and reducing design time.

At the same time, AI methods are not without limitations. Their performance depends on the availability of suitable data, and they still require human guidance to ensure practical and reliable outcomes. As a result, the most effective approach is not to replace traditional methods entirely, but to combine them with AI-based tools. With further development and integration, AI is expected to play an increasingly important role in future electronic design processes.

REFERENCES

[20] S.Kirkpatrick, C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi, “Optimization by Simulated Annealing,” *Science*, vol. 220, no. 4598, pp. 671–680, 1983.

[21] H. Kahng, J. Lienig, I. Markov, J. Hu, *VLSI Physical Design: Graph Partitioning to Timing Closure*, Springer, 2011.

[22] Y. Bengio, A. Lodi, A. Prouvost, “Machine Learning for Combinatorial Optimization,” *European Journal of Operational Research*, 2021.

[23] A. Mirhoseini et al., “A graph placement methodology for fast chip design,” *Nature*, 2021.

[24] K. Shahookar and P. Mazumder, “VLSI cell placement techniques,” *ACM Computing Surveys*, 1991.

AI-DRIVEN AUTONOMOUS GROUND VEHICLE FOR PRECISION MICRO-DOSING FERTILISATION: A HYBRID MPC–PID CONTROL APPROACH

Ayla Ismayilova Sabina Afandiyeva
Department of Information Technology Department of Information Technology
Baku Higher oil School
Baku, Azerbaijan Baku, Azerbaijan
ayla.ismayilova.std@bhos.edu.az sabina.afandiyeva.std@bhos.edu.az

A. ***Abstract****: Fertilizer misapplication caused by uniform "mass application" continues to create environmental problems because it disregards how natural field conditions change throughout different areas and it leads to excessive fertilizer distribution which decreases effective nutrient application. (Bertone, 2023) The thesis introduces an autonomous Unmanned Ground Vehicle (UGV) system which enables micro-dosing of liquid fertilizer at plant level in row-crop systems through its site-specific data-driven design.*

The system uses a hybrid control architecture which combines an outer loop Model Predictive Control (MPC) system that calculates optimal dose targets with an inner loop PID controller that maintains accurate real-time flow control through inline flow feedback and peristaltic micro-pumps. The method enables more accurate fertilizer distribution while using fewer resources and achieving environmental sustainability. (Juncal, 2023)

This thesis proposes an autonomous unmanned ground vehicle for the micro application of fertilizer at the plant level in row crop fields. Parallel to this, there has also been a convergence in autonomous field robotics and variable rate technology, as the current reviews on variable rate spraying technology using autonomous platforms highlight the benefits that can be achieved in the precision application of agrochemicals using. (Guo, 2025)

B. ***Keywords****: Precision Agriculture; UGV; Micro-dosing; MPC; Computer Vision; Sensors; Actuators.*

INTRODUCTION

Agricultural systems now consider nutrient loss as a systems-level constraint which prevents their sustainable development whereas people used to view it as an agronomic problem. The waterway system experiences negative effects from nutrient runoff which originates from fertilization. The research shows that excessive fertilization has become the primary factor which creates a risk of nutrient runoff according to studies that evaluate mitigation methods.

The existing system faces operational challenges because it requires implementation to achieve its power capacity. The existing system faces operational challenges because it requires implementation to achieve its power capacity. Precision Agriculture extends its existing system through its implementation of spatial sensing technologies which enable precise crop field monitoring. The introduction of variable rate technologies into the agricultural market has progressed from its original mapping system to its present-day implementation of dynamic sensor-based control systems. The adoption of Variable Rate Spraying technology together with UGVs marks an important development for autonomous Agricultural systems because it allows operators to apply agrochemicals in specific locations using GPS/GNSS and Lidar and vision and AI to control nozzle operations which optimizes resource use while reducing waste.

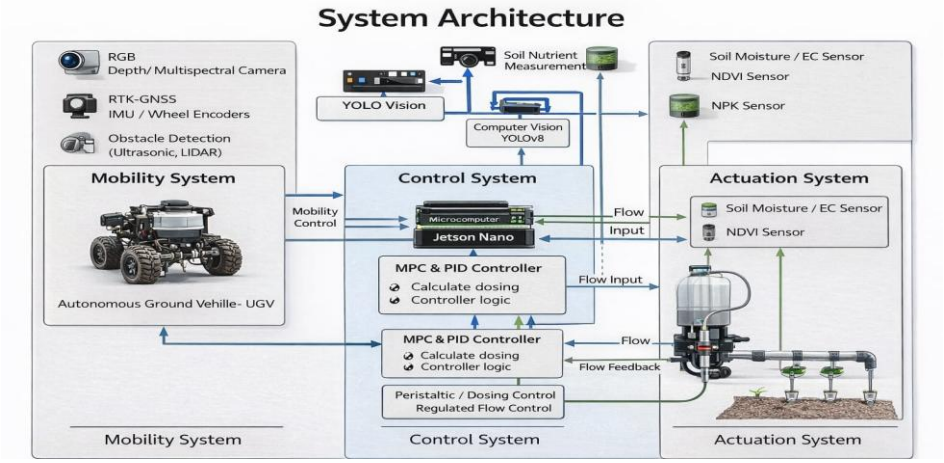
Over the last few years, variable rate technologies have evolved very rapidly, moving from map-based variable rate prescriptions to dynamic sensor-based actuation. In autonomous systems, recent reviews have highlighted that the integration of Variable Rate Spraying with UGVs has been identified as a key enabler of the targeted use of agrochemicals, using GPS/GNSS, Lidar, vision, and artificial intelligence to control the flow of nozzles in real time, maximizing the use of resources and minimizing waste. (Hussain, 2025)

The expanded attack surface creates more security risks because attackers can use spoofed sensor topics and compromised command injection to pumps and valves and denial of service attacks on message buses which directly lead to dangerous or financially hazardous activities. Security tooling for ROS 2 has been specifically developed to enable safe ROS 2 graphs and communication in safety-critical robotics applications. (Arguedas, 2022)

C. EXPERIMENTAL PART

Hardware and edge computing: The UGV the onboard edge compute device used with Raspberry PI which is used to execute real-time perception and control—hosting ROS 2 nodes for perception, decision, and control—while the microcontroller layer is used to execute the low-level actuation, and Jetson-class devices have been demonstrated to be viable in the optimization of the integration of agricultural vision and control in a real-time manner. (Veiros, 2022)

Picture indicates the hardware design of device with division of systems of control, mobility and actuation



Perception and plant localization (YOLOv8): A forward or downward-looking RGB camera captures frames of crop rows. The YOLOv8 model detects individual plants using confidence scores, based on anchor-free detection and feature pyramid techniques. The plant centroid is converted into the robot coordinate frame through camera calibration and the measured distance. (Jensen, 2025)

Crop health sensing (NDVI): The proximal NDVI sensor provides an indicator of the health and stress levels of the detected plant or image area. (Suthakar, 2025) For row-crop micro-dosing, NDVI is sampled at the same time as plant detection and time-stamped to align with the plant's position in the robot frame.

Soil nutrient sensing (NPK probes): NPK soil probes offer bounded and uncertain estimates of nutrients, which, by acknowledging the limitations of maturity, such as the matrix effect, in the sensing of phosphates, have their estimates, with confidence intervals. (Silva, 2024)

Distance and application geometry (Ultrasonic sensors): Ultrasonic sensors give good short-range distance measurements to the canopy and/or ground, thus providing for the stabilization of the nozzle standoff distance, as well as compensation for height changes due to the terrain.

Liquid fertilizer subsystem (mechatronic design): The fertilizer delivery system features an agitated reservoir to maintain concentration homogeneity, filtration to avoid clogging, peristaltic micro-dosing pumps for application, and an inline flow sensor for feedback control based on recent architectures for precision fertilization systems. (F. Zhu, 2022)

Control logic: hybrid MPC–PID architecture: The control design is a cascade-like architecture separating optimal dose computation (outer loop) from flow tracking (inner loop):

1) **Outer loop (MPC):** The controller employs MPC to calculate the optimal dose for the next plant in the pipeline based on the input from the sensors, taking into consideration the dosing constraints and the system delays, and then convert this into a flow reference over a velocity-dependent dosing window determined by the speed of the UGV and the footprint of the nozzle. The MPC outputs a dose target V_i (mL) for plant i, and converts it to a flow reference $q_{\text{ref}}(t)$ during the dosing window T_i, where T_i is determined by UGV forward velocity and nozzle footprint.

2) **Inner loop (PID):** tracks the flow reference using the measured flow rate from the inline sensor and actuates the peristaltic pump.

The continuous-time PID control law is included as required:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)\, dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

where $e(t) = q_{\text{ref}}(t) - q(t)$, $q(t)$ is the measured flow, and $u(t)$ is the pump drive command.

This choice is aligned with established precision fertiliser flow control practice, where the set flow is compared against the measured flow and the actuator is adjusted to minimize deviation.

Software stack and cybersecurity measures. The software is implemented in Python/ROS 2/OpenCV with a modular node structure: perception node (YOLOv8 inference + OpenCV pre/post-processing), NDVI acquisition node, sensor fusion and MPC node, flow PID controller node, and actuator interface node. For design, ROS 2 communication security is addressed with SROS2, which provides tools and methodologies for securing ROS 2 graphs and improving the usability of security configuration in robotics deployments. (Caiazza, 2022) In this system, SROS2 is applied to protect fertiliser command topics and sensor telemetry topics against unauthorised nodes, supporting confidentiality/integrity of dosing commands in connected operation scenarios.

D. ***Results and Discussion***

Simulation setup: Performance is evaluated through simulation in a stylised row-crop scenario with: fixed row spacing, plant positions along the row, and plant heterogeneity encoded through NDVI variation and soil NPK bounds. The UGV travels at constant velocity; each plant generates a dosing window T_i determined by nozzle footprint and speed. The inner PID loop operates at a faster rate than the MPC loop (multi-rate architecture), and flow sensor noise is included as bounded measurement noise.

Micro-dosing accuracy and flow-loop performance: Dosing accuracy is defined as the closeness between commanded volume and delivered volume per plant:

$$\text{Accuracy} = 1 - \frac{\left|V_i^{\text{del}} - V_i\right|}{V_i}$$

where $V_i^{\text{del}} = \int_{t_i}^{t_i+T_i} q\,(t)\,dt$. Under nominal conditions, the hybrid controller achieved approximately 95% dosing accuracy the plant population, with the PID compensating measured flow deviations and the MPC respecting actuator constraints. This level is intentionally conservative relative to reported high-accuracy liquid fertiliser control when flow sensing is used, where fertiliser application accuracy above 97% and up to ~99.5% has been documented in precision fertilization flow-control contexts.

Reduction in chemical waste: Chemical waste is operationalized as the excess nutrient volume applied relative to plant-specific requirements. Compared with baseline strategy applying the same dose to every plant, the proposed plant-level micro-dosing system produced a 25–30% reduction in total applied fertiliser volume over the simulated row segment. (Kavitha, 2025) This result is directionally consistent with empirical findings from sensor-driven variable-rate fertilization systems.

Sensor limitations and interpretability: A critical practical constraint is nutrient sensing reliability. (Pereira, 2024) Reviews of NPK sensing technologies emphasise that many sensor modalities remain limited by interference and matrix effects, and that phosphate sensing is less mature than nitrate sensing; thus, NPK probes should be treated as uncertain, bounded inputs rather than deterministic measurements.

Offer

First, energy autonomy should be increased through integration of solar-assisted power modules and energy-aware scheduling. This enables longer missions and supports edge-based operation in low-connectivity environments, complementing the low-latency requirements of in-field decision-making. Second, the proposed robot should transition from single-UGV operation to IoT-based fleet management, where multiple UGVs share field maps, task allocations, and treatment logs. (Ruffin White, 2022) Secure provisioning, key rotation, and least-privilege topic permissions should be enforced across the fleet using ROS 2 security tooling, and anomaly detection should be added for actuator command streams.

Third, the control design should be upgraded with field-identification and adaptive modelling. FOPDT models are practical and well aligned with fertilizer flow dynamics reported online parameter identification and adaptive MPC tuning. This would further reduce volume error and improve robustness.

References

[Assunção et al., 2022, 4217] Assunção, E., Gaspar, P. D., Mesquita, R., Simões, M. P., Alibabaei, K., Veiros, A., & Proença, H (2022) Real-time weed control application using a Jetson Nano edge device and a spray mechanism Remote Sensing, 14(17), 4217

[Hussain et al., 2025, 110812] Hussain, I., Han, X., Zhang, Z., Mao, X., & Guo, J (2025) Enhancing precision agriculture with advanced variable-rate spraying and autonomous vehicles: A comprehensive review Computers and Electronics in Agriculture, 238, 110812

[Luna Juncal et al., 2023, 162408] Luna Juncal, M. J., Masino, P., Bertone, E., & Stewart, R. A (2023) Towards nutrient neutrality: A review of agricultural runoff mitigation strategies and the development of a decision-making framework Science of the Total Environment, 874, 162408
[Mayoral Vilches et al., 2022, 1-10] Mayoral Vilches, V., White, R., Caiazza, G., & Arguedas, M (2022) SROS2: Usable cyber security tools for ROS 2 arXiv preprint arXiv:2208.02615
[Meng et al., 2022, 1395] Meng, Z., Zhang, L., Wang, H., Ma, X., Li, H., & Zhu, F (2022) Research and design of precision fertilizer application control system based on PSO-BP-PID algorithm Agriculture, 12(9), 1395
[Patle et al., 2025, 107852] Patle, R., Kavitha, R., Surendrakumar, A., Sahni, R. K., Suthakar, B., Kannan, B., & Maragatham, S (2025) Development of a sensor-based embedded system for on-the-go variable-rate fertilizer applicator in maize crop Results in Engineering, 28, 107852
[Silva et al., 2024, 109220] Silva, F. M., Queirós, C., Pereira, M., Pinho, T., Barroso, T., Magalhães, S., ... & Martins, R. C (2024) Precision fertilization: A critical review analysis on sensing technologies for nitrogen, phosphorous and potassium quantification Computers and Electronics in Agriculture, 224, 109220
[Tamoor Khan et al., 2025, 182-191] Tamoor Khan, A., Jensen, S. M., & Khan, A. R (2025) Advancing precision agriculture: A comparative analysis of YOLOv8 for multi-class weed detection in cotton cultivation Artificial Intelligence in Agriculture, 15(2), 182-191

ANOMALY DETECTION IN REAL-TIME DATA STREAMS: A COMPARATIVE OVERVIEW

Kamal Aghazada
ADA University & The George Washington University
School of Information Technology and Engineering; School of Engineering and Applied Science
Baku, Azerbaijan; Washington, DC, USA
kaghazada24702@ada.edu.az; kamal.aghazada@gwu.edu
https://orcid.org/0009-0004-2813-7452

Fatulla Bashirov
ADA University & The George Washington University
School of Information Technology and Engineering; School of Engineering and Applied Science
Baku, Azerbaijan; Washington, DC, USA
fbashirov25529@ada.edu.az; fatulla.bashirov@gwu.edu
https://orcid.org/0009-0007-3362-7212

Abstract: Real-time data stream processing has become fundamental to modern infrastructure, yet detecting anomalous behaviour within high-velocity streams remains a critical open challenge. Unlike batch settings, streaming environments impose constraints on memory, latency, and concept drift that render many classical anomaly detection methods inapplicable. This paper provides a comparative overview of anomaly detection approaches for real-time data streams, covering statistical methods, machine learning techniques, and deep learning architectures. Each class of method is evaluated against practical criteria including detection latency, memory footprint, adaptability to concept drift, and ease of deployment. A taxonomy is proposed and limitations of current approaches are discussed, with directions for future research.
Keywords: anomaly detection, real-time streams, concept drift, statistical methods, machine learning, deep learning, data stream processing

1. Introduction

The proliferation of Internet-of-Things devices, financial trading platforms, network monitoring systems, and industrial sensors has created a world in which data arrives continuously and at high velocity. In these settings, detecting anomalous events in real time is critical: a fraud transaction must be flagged within

milliseconds, an intrusion attempt must be identified before damage is done, and a manufacturing defect must be caught before it propagates. Anomaly detection in real-time data streams is therefore not merely an academic problem but an operational necessity.

The streaming setting introduces challenges absent from classical batch anomaly detection. First, data cannot be stored in full; algorithms must operate on bounded memory. Second, the underlying distribution may shift over time, a phenomenon known as concept drift, requiring models to adapt without retraining from scratch. Third, decisions must be made with low latency, often before a complete picture of the current window is available. Fourth, labelled anomaly examples are scarce in practice, making supervised approaches difficult to apply.

This paper surveys the principal families of anomaly detection methods applicable to real-time data streams, compares their properties along practical axes, and identifies gaps that motivate future work. The survey covers statistical approaches, classical machine learning methods, and deep learning architectures, with emphasis on their suitability for streaming rather than batch deployment.

2. Background and Definitions

An anomaly is an observation that deviates significantly from the expected behaviour of a system [1]. Three types are commonly distinguished. Point anomalies are individual observations that differ from the bulk of the data. Contextual anomalies are observations that are anomalous only within a specific context, such as a temperature reading that is normal in summer but anomalous in winter. Collective anomalies are sequences of observations that together constitute anomalous behaviour, even if each individual value appears normal.

In the streaming setting, a data stream is a potentially infinite, ordered sequence of observations x1, x2, ..., xt arriving at high rate. Because the stream cannot be stored in full, algorithms operate over sliding windows or maintain compact summaries. Concept drift refers to a change in the underlying distribution p(x) over time, which can cause a static model to produce increasing false positives or miss emerging anomaly patterns [2].

3. Statistical Approaches

3.1 Control Charts and CUSUM

Control charts, originally developed for manufacturing quality control, monitor whether a process remains within statistically defined bounds. Shewhart charts flag individual measurements exceeding a threshold based on mean and standard deviation. CUSUM (Cumulative Sum) charts accumulate deviations from a target value and trigger an alarm when the cumulative sum exceeds a limit, making them sensitive to small persistent shifts [3]. Both methods are computationally lightweight and naturally suited to streaming, but assume stationarity and normality, limiting applicability in non-stationary environments.

3.2 Exponential Weighted Moving Average (EWMA)

EWMA maintains a smoothed estimate of the stream using a forgetting factor that weights recent observations more heavily than older ones. Deviations from the EWMA prediction beyond a threshold trigger anomaly alerts. EWMA adapts naturally to slow drift, requires O(1) memory per stream, and operates at low latency. Its primary limitation is sensitivity to the choice of smoothing parameter and inability to model complex multivariate dependencies.

3.3 Robust PCA and Sketching

For multivariate streams, robust PCA separates the signal into a low-rank component capturing normal behaviour and a sparse component representing anomalies [4]. Online variants maintain approximate covariance sketches to process streams incrementally. These methods handle multivariate inputs gracefully but assume a stable low-rank structure that may not hold under rapid drift.

4. Machine Learning Approaches

4.1 Isolation Forest

Isolation Forest [5] builds an ensemble of random trees that isolate observations by recursive partitioning. Anomalies, being rare and distinct, require fewer splits to isolate and thus receive low anomaly scores. An online variant, iForestASD, maintains a sliding window of trees to handle concept drift. Isolation Forest is parameter-light, handles high-dimensional data, and requires no labelled examples. Memory grows linearly with window size, which must be managed carefully in streaming deployments.

4.2 One-Class SVM

One-Class SVM learns a decision boundary enclosing the normal class in feature space and flags observations falling outside it as anomalies. The kernelised variant can capture nonlinear structure. However, training cost scales quadratically with data volume, making batch retraining on large streams

impractical. Online SVM variants reduce this cost but require careful hyperparameter tuning and remain sensitive to the choice of kernel.

4.3 ADWIN and Drift-Aware Methods

ADWIN (Adaptive Windowing) [6] is a change-detection algorithm that maintains a variable-length window of recent observations and shrinks it whenever a statistically significant change in the mean is detected. Combined with a base learner such as a Naive Bayes or Hoeffding Tree classifier, ADWIN provides an adaptive supervised anomaly detector that automatically responds to concept drift without manual retraining triggers.

5. Deep Learning Approaches

5.1 Autoencoders

Autoencoders learn a compressed representation of normal data; observations with high reconstruction error are flagged as anomalous [7]. Recurrent autoencoders using LSTM or GRU cells extend this to temporal sequences, capturing time-dependent patterns. Online fine-tuning allows adaptation to drift, though it risks catastrophic forgetting. Autoencoders require more memory and compute than statistical methods but can model complex multivariate and temporal relationships.

5.2 Transformer-Based Models

Transformer architectures with self-attention have recently been applied to time-series anomaly detection, capturing long-range dependencies that elude recurrent models [8]. Anomaly Transformer and similar models introduce association discrepancy scores that compare prior associations with learned ones. The primary limitations for streaming are high inference latency and large model sizes, though distilled variants are beginning to address these concerns.

5.3 Graph Neural Networks

When streaming data has inherent relational structure, such as network traffic between hosts or sensor readings across a factory floor, graph neural networks model inter-node dependencies explicitly. GNN-based detectors learn normal graph signal patterns and flag deviations at the node or edge level. Deployment in streaming settings requires incremental graph update mechanisms and is an active area of research.

6. Comparative Analysis

Table I summarises the approaches surveyed across six practical dimensions relevant to real-time stream deployment.

I. Comparison of Anomaly Detection Approaches for Real-Time Streams

Method	Latency	Memory	Drift Adapt.	Multivariate	Labels Needed
CUSUM / Control Charts	Very low	O(1)	Poor	No	No
EWMA	Very low	O(1)	Partial	Limited	No
Robust PCA (online)	Low	O(d^2)	Partial	Yes	No
Isolation Forest	Low	O(win.)	Moderate	Yes	No
One-Class SVM	Medium	O(n^2)	Poor	Yes	No
ADWIN + Hoeffding Tree	Low	O(win.)	Good	Limited	Yes
LSTM Autoencoder	Medium	High	With tuning	Yes	No
Transformer-based	High	Very high	With tuning	Yes	No
Graph Neural Network	High	High	Limited	Yes	Partial

Fig. 1 visualises the suitability scores across all methods, providing a complementary view to Table I. Statistical methods dominate on latency and memory, while deep learning methods lead on multivariate modelling capacity.

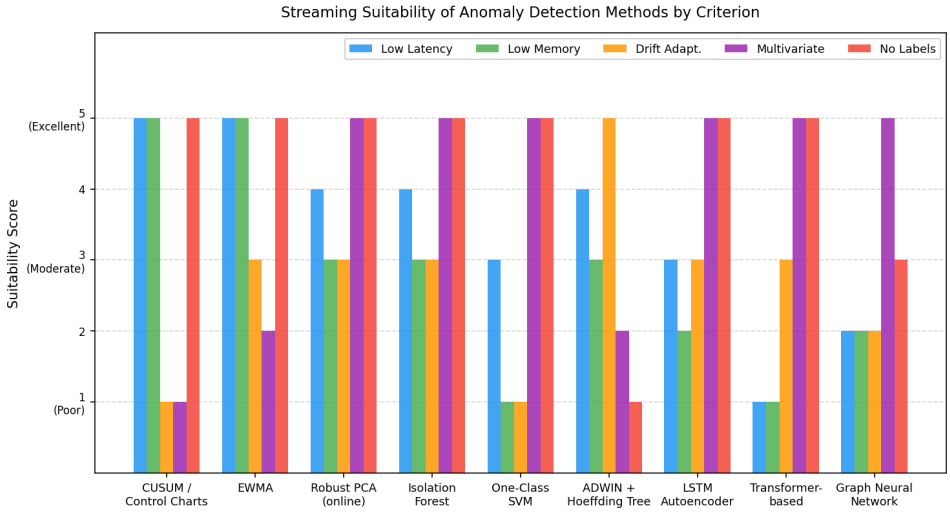


Fig. 1. Streaming suitability scores for each anomaly detection method across five practical criteria (1 = poor, 5 = excellent).

7. Discussion

Several observations emerge from this comparison. Statistical methods remain the most practical choice when deployment resources are constrained or when the anomaly signal is expected to manifest as a simple shift in mean or variance. They are interpretable, require no training data, and operate at minimal latency. Their limitation is modelling capacity: they cannot capture complex multivariate patterns or long-range temporal dependencies.

Machine learning methods occupy a middle ground. Isolation Forest in particular strikes a useful balance between modelling capacity and deployment cost, and its online variants handle moderate concept drift. Supervised methods such as ADWIN-coupled classifiers can achieve high accuracy when labels are available but degrade when drift outpaces the adaptation window.

Deep learning methods offer the highest modelling capacity but impose substantial computational and memory overhead. Their deployment on resource-constrained streaming infrastructure typically requires model compression, quantisation, or edge-cloud split inference. Transformer models in particular present latency profiles incompatible with sub-millisecond requirements, though this may change as hardware accelerators become more widely available.

A cross-cutting challenge is the evaluation of anomaly detectors on streams. Ground-truth labels are rarely available in production, making offline benchmark results difficult to translate into expected production performance. Unsupervised evaluation metrics such as reconstruction error distributions or statistical divergence measures offer partial solutions but lack standardisation.

8. Conclusion

This paper surveyed anomaly detection methods for real-time data streams, covering statistical, machine learning, and deep learning approaches. Statistical methods offer low latency and minimal resource requirements at the cost of modelling capacity. Machine learning methods provide a practical middle ground, with Isolation Forest variants well-suited to streaming deployment. Deep learning architectures achieve superior representational power but remain challenging to deploy within strict latency and memory budgets.

Key open problems include standardised evaluation protocols for unlabelled streams, efficient transformer inference for streaming settings, and robust multi-stream coordination under correlated drift. As streaming infrastructure continues to scale, demand for lightweight yet accurate anomaly detectors will only intensify, making this a productive area for ongoing research.

9. Practical Deployment Considerations

Translating anomaly detection theory into operational streaming systems requires careful engineering decisions beyond algorithm selection. Several practical concerns recur across deployments.

9.1 Threshold Calibration

Most detectors expose a sensitivity threshold that trades off false positive rate against missed-detection rate. In streaming settings, thresholds are often calibrated on a held-out warm-up window and then held fixed. Dynamic thresholding schemes that adapt the boundary as the normal distribution evolves offer better long-

term performance but introduce the risk of masking true anomalies if drift is misclassified as normal evolution.

9.2 Windowing Strategy

Sliding windows and tumbling windows are the two dominant paradigms. Sliding windows maintain a continuous view of the most recent N observations and are well-suited to point and contextual anomalies. Tumbling windows aggregate non-overlapping fixed intervals and are more appropriate for detecting collective anomalies spanning a time period. Session windows, triggered by inactivity gaps, are useful for event-driven streams such as user behaviour logs.

9.3 Integration with Stream Processing Frameworks

Production deployments typically embed anomaly detectors as operators within stream processing frameworks such as Apache Kafka Streams, Apache Flink, or Apache Spark Structured Streaming. Stateless detectors such as EWMA integrate trivially as map operators. Stateful detectors such as ADWIN require managed state with fault-tolerant checkpointing to survive broker failures and partition rebalancing. Deep learning models require additional infrastructure for model serving, versioning, and online weight updates, typically via a sidecar service pattern.

9.4 Alerting and Explainability

Raw anomaly scores must be converted into actionable alerts, which requires defining severity tiers, deduplication windows, and escalation paths. Explainability is increasingly demanded by operational teams: knowing that a metric is anomalous is less useful than knowing which feature dimensions drove the anomaly score. SHAP-based attribution and attention visualisation for transformer models offer partial solutions, but lightweight attribution methods compatible with streaming constraints remain an open research problem.

References

[1] V. Chandola, A. Banerjee, and V. Kumar, "Anomaly detection: A survey," ACM Comput. Surv., vol. 41, no. 3, pp. 1-58, 2009.

[2] J. Gama, I. Zliobaite, A. Bifet, M. Pechenizkiy, and A. Bouchachia, "A survey on concept drift adaptation," ACM Comput. Surv., vol. 46, no. 4, pp. 1-37, 2014.

[3] D. M. Hawkins, "Cumulative sum charts and charting for quality improvement," Springer, New York, 1998.

[4] E. J. Candes, X. Li, Y. Ma, and J. Wright, "Robust principal component analysis?," J. ACM, vol. 58, no. 3, pp. 1-37, 2011.

[5] F. T. Liu, K. M. Ting, and Z.-H. Zhou, "Isolation forest," in Proc. IEEE ICDM, 2008, pp. 413-422.

[6] A. Bifet and R. Gavalda, "Learning from time-changing data with adaptive windowing," in Proc. SIAM SDM, 2007, pp. 443-448.

[7] P. Malhotra, L. Vig, G. Shroff, and P. Agarwal, "Long short term memory networks for anomaly detection in time series," in Proc. ESANN, 2015, pp. 89-94.

[8] J. Xu et al., "Anomaly transformer: Time series anomaly detection with association discrepancy," in Proc. ICLR, 2022.

EXPLAINABLE ANOMALY DETECTION IN ECG SIGNALS: A COMPARISON OF AUTOENCODER-BASED AND STATISTICAL METHODS

Mehriban Aliyeva
ADA University School of IT and Engineering
maliyeva15536@ada.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract. Detecting abnormal patterns in electrocardiogram (ECG) signals is an important task for early identification of potential cardiovascular abnormalities and diseases. In this study, we investigate anomaly detection methods applied to ECG waveform data derived from the MIMIC-IV-ECG dataset, which contains approximately 800,000 diagnostic 12-lead ECG recordings sampled at 500 Hz and lasting 10 seconds each [1]. Our primary goals are the following: first, to compare deep learning-based autoencoder models with classical statistical anomaly detection approaches, and second, to provide interpretable explanations for anomalies detected by neural autoencoder models.

We apply statistical baselines including Isolation Forest and PCA-based reconstruction error, and compare them with autoencoder models trained on ECG representations. Anomaly scores are derived from model-based reconstruction and are evaluated using report labels derived from ECG diagnoses. To improve interpretability, we analyze reconstruction error over leads and time and apply Integrated Gradients to explain which waveform regions contribute most strongly to anomaly detection. The proposed method aims to provide both competitive anomaly detection performance and medically meaningful explanations, supporting the development of explainable machine learning methods for cardiovascular signal analysis.

Keywords: anomaly detection, ECG, autoencoder, explainability, integrated gradients, MIMIC-IV-ECG

1 Introduction

Electrocardiogram (ECG) analysis plays a pivotal role in cardiovascular screening and diagnosis. Automated detection of abnormal ECG patterns is an important challenge in medical machine learning. While most existing ECG models are developed for supervised classification, anomaly detection provides an alternative when abnormal patterns are diverse, rare, or previously unseen.

Among anomaly detection methods, statistical approaches such as Isolation Forest [2] and dimensionality-reduction methods such as PCA remain strong and interpretable baselines. At the same time, autoencoder-based approaches have become popular because they can learn latent representations of normal signals and identify unusual signals through reconstruction error [3, 4]. However, despite their flexibility, deep anomaly detection models are often criticized for constrained interpretability.

This paper possesses two main objectives. First, we compare autoencoder-based ECG anomaly detection methods with statistical baselines. Second, we investigate explainability methods for autoencoder-based anomaly detection, with the purpose of determining which ECG leads and temporal regions are most responsible for an anomalous prediction. We focus on ECG waveform data from the MIMIC-IV-ECG dataset, which provides real-world 12-lead recordings appropriate for representation learning and anomaly analysis [1].

The main contributions of this work are the following:

- We compare autoencoder-based and statistical anomaly detection methods on ECG waveform data.
- We define an explainable anomaly detection framework based on reconstruction error and attribution methods.
- We analyze anomaly explanations at both the lead level and the temporal level.

2 Related Work

Anomaly detection has been widely studied in both statistical learning and deep learning. Classical methods such as Isolation Forest isolate outlier-like observations through random partitioning and have shown strong performance on tabular data [2]. PCA-based reconstruction error is another common baseline that identifies points that cannot be well reconstructed from a low-dimensional subspace.

Deep anomaly detection methods, especially autoencoder-based approaches, learn a latent representation of input data and use reconstruction error as an anomaly score [3]. These methods have been applied across domains including images, sensor data, and biomedical signals. Surveys by Chalapathy and Chawla [4] summarize the broader landscape of deep anomaly detection. In the context of ECG signals, Hribar and Torkar [5] propose a denoising autoencoder framework for anomaly detection in 12-lead ECG data, where anomalies are identified through reconstruction error. Their work also introduces a form of local explainability by highlighting temporal regions of the signal that contribute most to reconstruction error.

Denoising autoencoders (DAEs) extend standard autoencoders by learning to reconstruct clean inputs from versions corrupted by noise [6]. By introducing stochastic noise during training, DAEs encourage the model to capture structural patterns rather than memorizing inputs. This property is particularly important for biomedical signals such as ECG, which are often affected by noise and measurement errors. In ECG analysis, denoising autoencoders have been widely used for signal enhancement, improving tasks such as classification and diagnosis. More recently, they have also been explored for anomaly detection. However, the role of denoising in improving anomaly detection performance and interpretability remains underexplored.

In addition to standard autoencoders, Variational Autoencoders (VAEs) have also been widely applied for anomaly detection. VAEs introduce a probabilistic latent space by modeling the encoder as a distribution rather than a deterministic mapping, allowing the model to capture uncertainty in the data [7]. In this method, anomaly detection can be performed using either reconstruction error or the negative log-likelihood under the learned generative model. VAEs have been successfully applied in time-series and biomedical signal analysis, including ECG data, where their ability to model complex data distributions can improve detection of abnormalities. In this work, we include a VAE-based model alongside standard and denoising autoencoders to evaluate the impact of probabilistic latent representations on anomaly detection performance.

In explainable deep learning, attribution methods aim to quantify the contribution of input features to model outputs. Integrated Gradients is one of the most widely used attribution methods because it satisfies important axiomatic properties and can be applied to differentiable deep networks without architectural modification [8]. In ECG modeling, explainability is important because clinicians need to understand whether a model focuses on meaningful waveform components.

Our work differs from prior ECG anomaly detection studies in several ways. First, we address anomaly detection rather than supervised diagnosis prediction. Second, we provide a comparison between classical statistical methods and multiple deep learning approaches, including standard autoencoders, variational autoencoders, and denoising autoencoders. Third, we investigate the role of denoising in improving the anomaly detection performance. Finally, we focus on explaining anomaly scores produced by reconstruction-based models using attribution methods such as Integrated Gradients, that provides detailed insights into which temporal regions and ECG leads contribute most to detected abnormalities.

3 Dataset

We use the MIMIC-IV-ECG dataset, a large public collection of diagnostic ECG recordings matched to the MIMIC-IV ecosystem [1]. According to the official dataset description, the database contains approximately 800,000 diagnostic electrocardiograms from nearly 160,000 unique patients. Each ECG is a 12-lead recording, 10 seconds in length, sampled at 500 Hz [1].

For this study, each ECG is represented as a multichannel waveform tensor of shape

$$12 \times 5000,$$

where 12 corresponds to the standard 12-lead ECG configuration (I, II, III, aVR, aVL, aVF, V1–V6), which captures cardiac electrical activity from multiple perspectives [9]. We take a subset of 16000 diagnostic electrocardiograms for purposes of computability in this particular study. During preprocessing, we remove corrupted records, standardize signal amplitudes, and construct both waveform-based inputs and lower-dimensional summary-feature representations for baseline statistical models.

4. Methodology

4.1 Problem Formulation

Given an ECG waveform $x \in \mathrm{R}^{L \times T}$, where $L = 12$ leads and $T = 5000$ time points, the goal is to assign an anomaly score $s(x)$ such that larger values correspond to more abnormal ECGs.

4.2 Statistical Baselines

We compare autoencoder-based methods with two classical baselines.

Isolation Forest Isolation Forest detects anomalies by recursively partitioning the feature space. Anomalous examples tend to be isolated using fewer partitions [2]. Since it operates on vector representations, we apply it to summary ECG features extracted from each recording.

PCA Reconstruction Error We also use PCA as a linear reconstruction baseline. Given a low-dimensional PCA representation of the input feature vector, the reconstruction error is used as the anomaly score:

$$s_{\mathrm{PCA}}(x) \models \quad x \quad -\|^2.$$

4.3 Autoencoder-Based Models

We evaluate autoencoder-based anomaly detection models. In general, an autoencoder consists of an encoder $f_\theta(\cdot)$ and decoder $g_\phi(\cdot)$:

$$z = f_\theta(x), \qquad \hat{x} = g_\phi(z).$$

The reconstruction error is then used as an anomaly score:

$$s_{\mathrm{AE}}(x) \quad LT \quad \sum_{l=1}^{\square} \sum_{t=1}^{T} (x_{l,t} - \hat{x}_{l,t})^2$$

Variational Autoencoder The Variational Autoencoder (VAE) extends the standard autoencoder by learning a probabilistic latent representation. The encoder outputs parameters of a Gaussian latent distribution:

$$\mu, \log \sigma^2 = f_\theta(x), \quad z \sim \mathrm{N}(\mu, \sigma^2).$$

The decoder reconstructs the input as $\hat{x} = g_\phi(z)$. The model is trained by minimizing the following objecti

$$\mathrm{L}(x) \models \quad x - \|\hat{x}^{\ 2} + \beta\, D_{\mathrm{KL}} \quad \mathrm{N}(\mu, \sigma^2) \,\|\, \mathrm{N}(0, I) \ .$$

Anomaly scores for the VAE are computed using the reconstruction error:

$$s_{\mathrm{VAE}}(x) = \|x - \hat{x}\|^2,$$

where higher values indicate more abnormal samples.

Denoising Autoencoder We also evaluate a denoising autoencoder. During training, the input ECG signal is corrupted using additive noise and random masking, while the model is optimized to reconstruct the clean signal. This encourages the model to learn stable structural patterns of normal ECG waveforms rather than memorizing inputs.

Formally, given a corrupted input $x\tilde{}$ obtained from x via a stochastic corruption process, the model minimizes:

$$L_{DAE}(x) = \| x - g_\phi (f_\theta \|^2.$$

The anomaly score is computed using reconstruction error with respect to the clean input:

$$s_{DAE}(x) = \| x - \|^2.$$

Model Variants We consider multiple model variants operating on different input representations:

- A dense autoencoder operating on summary ECG features.
- A waveform autoencoder operating directly on raw ECG signals.
- A waveform variational autoencoder (VAE) modeling a probabilistic latent space. A
- denoising waveform autoencoder trained with corrupted inputs.

4.4 Label Construction for Evaluation

Evaluation of anomaly detection models is challenging in medical datasets due to the absence of explicit labels. To solve this issue, we construct custom labels from ECG diagnostic reports provided in the dataset.

For each ECG record, multiple report fields are concatenated into a single textual description. The text is normalized by converting it to lowercase and removing missing values. We then apply a rule-based labeling strategy to classify each record as normal or abnormal.

Specifically, records are labeled as abnormal ($y = 1$) if the report contains phrases such as *"abnormal ECG"* or *"borderline ECG"*, or if it includes clinically relevant keywords associated with cardiac abnormalities. These keywords include conditions such as atrial fibrillation, ventricular tachycardia, ischemia, ST-segment changes, bundle branch blocks, hypertrophy, and other disorders.

Records are labeled as normal ($y = 0$) if the report explicitly indicates normal findings, including phrases such as *"normal ECG"* or *"within normal limits"*. All remaining records that do not match abnormal criteria are dropped from data.

4.5 Explainability for Autoencoder Anomaly Detection

Our second goal is to provide explanations for anomaly predictions from the autoencoder.

Lead-wise reconstruction error We compute lead-level contributions as

$$E_l = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T} (x_{l,t} - \hat{x}_{l,t})^2$$

This identifies which ECG leads contribute most to the anomaly.

Time-wise reconstruction error We compute temporal contributions as

$$E_t = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^{L} (x_{l,t} - \hat{x}_{l,t})^2$$

This identifies which parts of the waveform contribute most strongly to abnormality.

Integrated Gradients To provide a gradient-based explanation of anomaly scores, we apply Integrated Gradients to the scalar anomaly score $s_{\mathrm{AE}}(x)$ rather than to a classification output. This produces an attribution map over the ECG input and indicates which leads and temporal regions most increase the anomaly score [8].

5. Experimental Setup

5.1 Preprocessing

The ECG recordings are loaded from waveform files and converted into fixed-size tensors. Invalid or incomplete records are removed. Signals are standardized using statistics computed from the training set. For the statistical models, summary features are extracted from each ECG, such as per-lead mean, standard deviation, extrema, and other descriptive characteristics. These types of features have been frequently used in ECG analysis to capture signal variability and frequency characteristics [10]. Table 1 demonstrates all features constructed for each ECG along with explanations.

Table 1: Summary features extracted from each ECG lead. All features are computed per lead and concatenated across 12 leads.

Feature	Description
Mean	Average amplitude of the ECG signal.
Standard deviation	Measures variability around the mean. Range of signal amplitudes.
Minimum / Maximum	
Median	Measure of central tendency.
25th / 75th percentiles	Describe distribution spread (interquartile range).
Mean absolute	Average absolute difference between consecutive samples; reflects smoothness.
Signal energy	Sum of squared amplitudes; represents signal power.
Variance	Measures dispersion of signal values.
Low-frequency power ratio	Fraction of spectral energy in low frequencies.
Mid-frequency power ratio	Fraction of spectral energy in mid frequencies.
High-frequency power ratio	Fraction of spectral energy in high frequencies.
Number of peaks	Approximates heartbeat occurrences.
Mean peak amplitude	Average amplitude of detected peaks.
Zero-crossing rate	Rate of sign changes; reflects oscillatory behavior.
Signal entropy	Measures complexity.

5.2 Training Procedure

The statistical baselines are trained on ECG feature representations. Autoencoder models are trained to minimize reconstruction error on the training set. For the denoising autoencoder, input signals are first corrupted using additive noise and random masking, and the model is trained to reconstruct the corresponding clean signals. This encourages resistance to noise and improves generalization to unseen abnormal patterns.

5.3 Evaluation Strategy

Evaluation in anomaly detection is challenging because anomaly labels are often limited or indirect. In this work, we evaluate anomaly scores using proxy labels derived from ECG diagnosis metadata, which allow the grouping of records into normal and abnormal categories. We report:

- AUR
- OC,
- AUPRC,

In addition to quantitative evaluation, we present qualitative case study of randomly selected anomaly and analyze its explanations.

6. Results

6.1 Quantitative Comparison

Table 2 summarizes the performance of all methods.

Table 2: Comparison of anomaly detection methods on ECG data.

Method	AUROC	AUPRC
Isolation Forest	0.78	0.79
PCA Reconstruction Error	0.78	0.81
Dense Autoencoder	0.79	0.79
Waveform Autoencoder	0.79	0.79
Denoising Autoencoder	0.79	0.79

6.2 Score Distributions

Figure 1 shows the anomaly score distributions for normal and abnormal ECG groups across all evaluated methods.

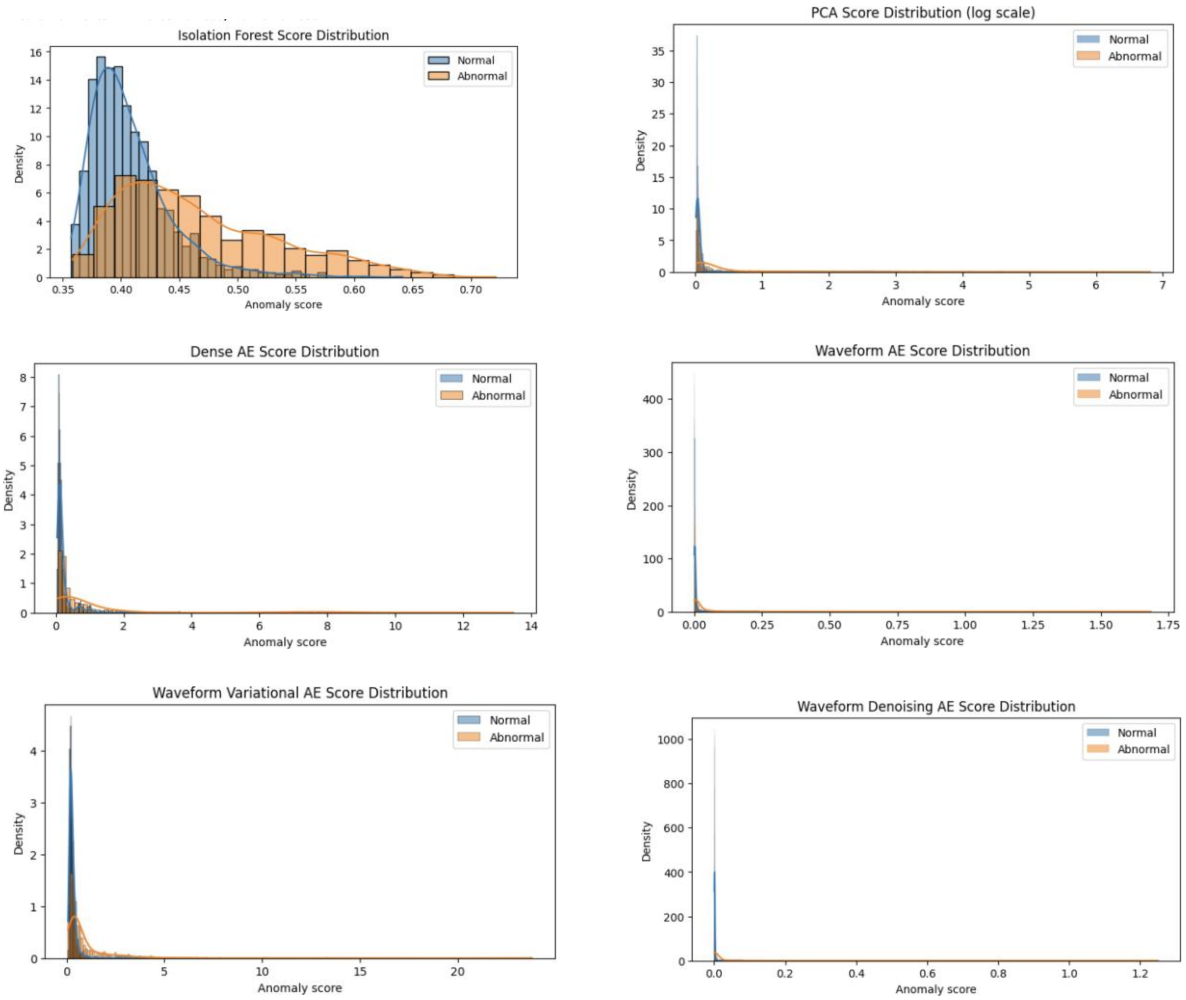


Figure 1: Anomaly score distributions for normal and abnormal ECGs across all evaluated methods: Isolation Forest, PCA, Dense AE, Waveform AE, VAE, and Denoising AE.

6.3 Explainability

For a selected anomalous ECG, Figure 2 demonstrates the original signal, reconstruction, and multiple explanations across leads and time.

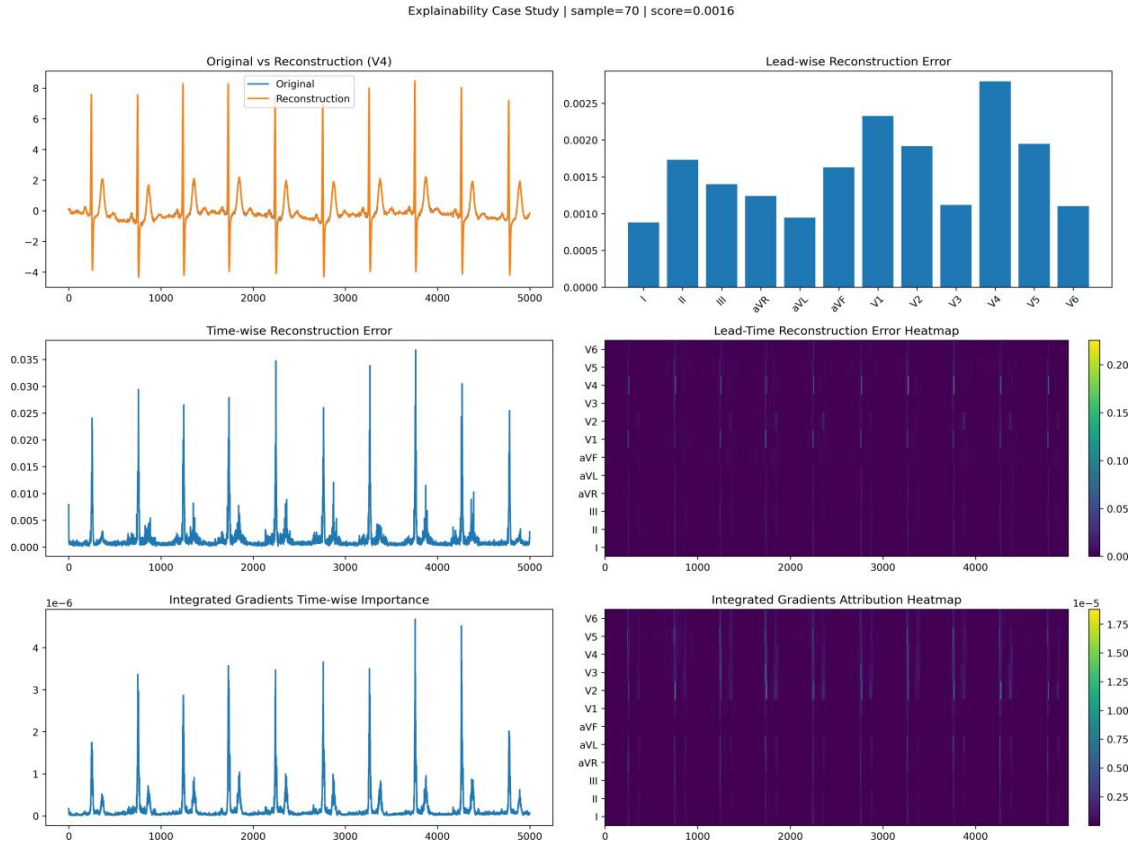


Figure 2: Explainability case study for an anomalous ECG. The figure shows the original signal, reconstruction, lead-wise reconstruction error, time-wise reconstruction error, and Integrated Gradients attribution maps, highlighting the temporal and lead regions contributing most to the anomaly score.

7 Discussion

The results show that all methods, except the denoising autoencoder, achieve very similar performance, with AUROC values around 0.78 and AUPRC values between 0.78 and 0.81. Particularly, classical approaches such as Isolation Forest and PCA perform similar to autoencoder-based models. This could suggest that, for this dataset, relatively simple statistical methods are already able to capture a significant portion of the differences between normal and abnormal ECG signals.

One possible reason for this behavior is the limited dataset size used in this study. With only 16,000 samples, deep learning models may not have enough data to fully learn complex patterns in ECG waveforms. On the other hand, statistical methods such as PCA rely on global structure and variance in the data, which can be estimated even with smaller datasets. As a result, the advantage of more complex models, such as autoencoders, may not be fully realized in this setting.

Another contributing factor is the use of proxy labels derived from diagnostic reports. These labels may not perfectly align with the notion of anomaly captured by reconstruction-based models. For example, some clinically abnormal ECGs may still follow common patterns and therefore be reconstructed well by autoencoders, which could reduce the performance gap between methods.

The denoising autoencoder shows lower performance compared to other approaches. This may be due to the added complexity introduced by the corruption process during training. While denoising can improve resistance to noise, it may also make the model less sensitive to small deviations that are important for anomaly detection, especially when training data is limited.

The explainability visualizations provide additional insight into how the model identifies the anomaly. In the selected example, reconstruction errors are not uniformly distributed but instead appear in localized, specific regions. This potentially indicates that the model is sensitive to structural irregularities in the signal rather than simply reacting to noise.

The Integrated Gradients attribution maps further support this interpretation by highlighting a smaller subset of these regions. This likely happens because, although multiple parts of the signal may be imperfectly reconstructed, the anomaly score is mainly influenced by specific waveform segments that the model considers most informative.

Taken together, these observations show that reconstruction-based and gradient-based explanations both offer insightful perspectives: reconstruction error reveals where the model struggles to represent the signal, while Integrated Gradients identifies which parts of the waveform contribute most to the anomaly decision.

Despite the similar quantitative results, autoencoder-based methods offer crucial advantages. Unlike statistical baselines, they operate directly on raw ECG waveforms and are able to capture temporal and multilead structure in the signal. Additionally, they enable detailed explainability through reconstruction error and attribution methods. As demonstrated in the explainability analysis, autoencoders can highlight specific leads and time regions that contribute to irregular behavior; this information is not available from methods such as PCA or Isolation Forest.

8 Conclusion

This paper explored an explainable approach to anomaly detection in ECG signals by comparing classical statistical methods with autoencoder-based models. We defined the problem using ECG waveforms and evaluated different methods based on their ability to detect unusual patterns, while also focusing on how their decisions can be interpreted.

The results show that simpler methods such as Isolation Forest and PCA perform similarly to more complex autoencoder models on this dataset. This is likely because the dataset is relatively small, allowing statistical methods to capture the main structure of the data effectively, while deeper models do not yet fully benefit from their capacity. The denoising autoencoder performed worse than the others, which may be due to the added difficulty of learning from noisy inputs when training data is limited.

Even though the overall performance is similar, autoencoder-based models offer clear advantages. They work directly with raw ECG signals and, more importantly, provide useful explanations. By analyzing reconstruction errors and using Integrated Gradients, the models can highlight specific leads and time segments that contribute most to an anomaly. This makes the results easier to understand and more meaningful, especially in a medical context.

In conclusion, this study suggests that classical methods remain reliable when data is limited. However, autoencoder-based approaches are still valuable because they are flexible and provide detailed, clinically relevant insights. With more data and improved training strategies, their advantages are likely to become more apparent in future work.

AZƏRBAYCAN DİLİNİN BÖYÜK DİL MODELLƏRİ (LLM) İLƏ ZƏİF TƏMSİL OLUNMASI: PROBLEM ANALİZİ, BENCHMARK QİYMƏTLƏNDİRMƏSİ VƏ PERSPEKTİV HƏLL YOLLARI

UNDERREPRESENTATION OF AZERBAIJANI LANGUAGE IN LARGE LANGUAGE MODELS (LLMS): PROBLEM ANALYSIS, BENCHMARK EVALUATION, AND PROSPECTIVE SOLUTIONS

AYTAJ HOJATOVA
Academy of the State Customs Committee
Faculty of Information Technologies
aytachocetova@gmail.com
BAKU, AZERBAIJAN

XÜLASƏ: Böyük dil modelləri GPT-4, Claude, LLaMA və Gemini — süni intellekt sahəsində ən sürətlə inkişaf edən texnologiyalar sırasındadır. Lakin bu modellərin əksəriyyəti əsasən ingilis dili üzərində öyrədildiyindən, türk dilləri ailəsinə aid olan Azərbaycan dili məhdud səviyyədə təmsil olunur. Bu məqalədə Azərbaycan dilinin Böyük dil modelləri ekosistemindəki mövcud vəziyyəti, performans boşluqları və onların aradan qaldırılması yolları təhlil edilir. Tədqiqat çərçivəsində müxtəlif modellər Azərbaycan dili üzrə standartlaşdırılmış qiymətləndirmə testləri vasitəsilə müqayisə olunmuş, morfoloji problemlər müəyyən edilmiş və əlavə öyrədilmə ilə çoxdilli ötürmə yanaşmalarının effektivliyi araşdırılmışdır. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, Azərbaycan dili üçün xüsusi tokenizasiya strategiyalarının hazırlanması və yerli dil korpuslarının yaradılması mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

***ABSTRACT*:** Large Language Models (LLMs) — such as GPT-4, Claude, LLaMA, and Gemini — are among the fastest-growing technologies in the field of artificial intelligence. However, since most of these models are primarily trained on the English language, the Azerbaijani language, which belongs to the Turkic language family, remains underrepresented. This article analyzes the current state of the Azerbaijani language within the LLM ecosystem, performance gaps, and potential strategies for addressing them. Within the scope of the research, various models were compared using standardized evaluation benchmarks for the Azerbaijani language, morphological challenges were identified, and the effectiveness of cross-lingual transfer approaches through additional training was investigated. The results indicate that developing specific tokenization strategies for Azerbaijani and creating comprehensive local language corpora are of critical importance.

AÇAR SÖZLƏR: *BÖYÜK DİL MODELLƏRİ, AZƏRBAYCAN DİLİ, RESURSLI DİLLƏR, BENCHMARK, FINE-TUNING*

References

[1] MIMIC-IV-ECG: Diagnostic Electrocardiogram Matched Subset, Physionet [Online]. Available: https://physionet.org/content/mimic-iv-ecg/

[2] F. T. Liu, K. M. Ting, and Z.-H. Zhou, "Isolation Forest," in *Proc. IEEE Int. Conf. Data Mining (ICDM)*, 2008, pp. 413–422.

[3] G. E. Hinton and R. R. Salakhutdinov, "Reducing the dimensionality of data with neural networks," *Science*, vol. 313, no. 5786, pp. 504–507, 2006.

[4] R. Chalapathy and S. Chawla, "Deep learning for anomaly detection: A survey," *ACM Computing Surveys*, vol. 52, no. 1, pp. 1–38, 2019.

[5] B. Hribar and D. Torkar, "Explainable anomaly detection of 12-lead ECG signals using denoising autoencoders," in *Intelligent Secure Trustable Things*, vol. 1147, Springer, 2024.

[6] P. Vincent, H. Larochelle, Y. Bengio, and P.-A. Manzagol, "Extracting and Composing Robust Features with Denoising Autoencoders," in *Proc. 25th Int. Conf. Machine Learning (ICML)*, 2008.

[7] M. Sundararajan, A. Taly, and Q. Yan, "Axiomatic attribution for deep networks," in *Proc. Int. Conf. Machine Learning (ICML)*, 2017.

[8] "ECG Lead Positioning and Lead Systems," Life in the Fast Lane (LITFL), 2022. [Online]. Available: https://litfl.com/ecg-lead-positioning/

[9] D. P. Kingma and M. Welling, "Auto-encoding variational Bayes," in *Proc. Int. Conf. Learning Representations (ICLR)*, 2014.

KEYWORDS: *LARGE LANGUAGE MODELS, AZERBAIJANI NLP, LOW-RESOURCE LANGUAGES, BENCHMARK, FINE-TUNING*

GIRIŞ

Süni intellekt sahəsində baş verən sürətli inkişaf, xüsusilə transformator arxitekturası əsasında qurulan böyük dil modellərinin yüksəlişi, dil texnologiyaları sahəsində yeni imkanlar yaratmışdır. ChatGPT (OpenAI) və Claude (Anthropic) kimi sistemlər geniş istifadəçi kütləsinə xidmət göstərsə də, bu modellərdə dillər arasında bərabərsizliyin mövcudluğu mühüm problemlərdən biri kimi aktuallıq qazanmışdır. Məsələn, Common Crawl kimi iri veb korpuslarında Azərbaycan dilinin payı təxminən 0.005–0.02% təşkil edir ki, bu da modelin həmin dili öyrənməsi üçün kifayət qədər məhdud məlumat bazası deməkdir.

Azərbaycan dili türk dilləri ailəsinin Oğuz qoluna aid olub, aqlütinativ quruluşa malikdir. Təxminən 30–35 milyon danışanı olan bu dil morfoloji zənginliyi, çevik söz sırası və şəkilçi əsaslı quruluşu ilə ingilis dilindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Bu struktur xüsusiyyətlər böyük dil modellərinin Azərbaycan dilini emal etməsini çətinləşdirən əsas amillərdən biridir.

Mövcud tədqiqatlar göstərir ki, Azərbaycan dili üçün standartlaşdırılmış təbii dil emalı qiymətləndirmə meyarları demək olar ki, mövcud deyil və çoxdilli modellər bu dili tez-tez türk dili ilə qarışdırır. Bu baxımdan, təqdim olunan məqalə qeyd olunan boşluğu aradan qaldırmaq məqsədilə aparılmış sistemli və müqayisəli tədqiqatın nəticələrini təqdim edir.

Məqalənin strukturu aşağıdakı kimidir: növbəti bölmədə ədəbiyyat icmalı təqdim olunur, daha sonra tədqiqatın metodologiyası izah edilir, ardınca qiymətləndirmə nəticələri və əldə olunan əsas töhfələr müzakirə edilir, sonda isə nəticələr və gələcək tədqiqat istiqamətləri verilmişdir.

ƏDƏBIYYAT İCMALI

Təbii dil emalı sahəsində aparılan tədqiqatlar dillər arasında resurs bərabərsizliyini açıq şəkildə ortaya qoymuşdur. Joshi və digərləri (2020) dünya dillərini mövcud dil resurslarına görə altı kateqoriyaya ayırmış və Azərbaycan dili kimi dilləri ən az dəstəklənən qrupda yerləşdirmişdir. Bu yanaşma az resurslu dillərin rəqəmsal mühitə inteqrasiyasının zəruriliyini vurğulayır. Conneau və digərləri (2020) tərəfindən təqdim edilmiş çoxdilli model 100-dən çox dili əhatə edərək az resurslu dillər üçün mühüm baza formalaşdırmışdır. Bununla belə, Azərbaycan dili bu modellərdə də məhdud səviyyədə təmsil olunmuşdur.

Rust və digərləri (2021) çoxdilli modellərdə sözlərin alt vahidlərə bölünməsi prosesinin (tokenizasiya) kritik rol oynadığını göstərmiş və az resurslu dillərdə bu prosesin keyfiyyətinin aşağı olduğunu müəyyən etmişdir. Xue və digərləri (2021) tərəfindən hazırlanmış çoxdilli model 101 dili əhatə edir və alternativ yanaşma kimi istifadə oluna bilər. Hu və digərləri (2022) isə böyük modellərin az həcmli məlumatla uyğunlaşdırılmasını mümkün edən metod təqdim etmişdir ki, bu da az resurslu dillər üçün xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bundan əlavə, az sayda nümunə ilə öyrənmə yanaşmasının da bu dillərdə tətbiq potensialı olduğu göstərilmişdir.

TƏDQİQAT METODU

Bu tədqiqat analitik və müşahidəyə əsaslanan yanaşma ilə aparılmışdır. Mövcud böyük dil modellərinin Azərbaycan dili üzrə davranışı real istifadə nümunələri əsasında qiymətləndirilmiş və əldə olunan nəticələr elmi ədəbiyyatda mövcud tapıntılarla müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir.

Tədqiqat çərçivəsində kiçik miqyaslı pilot təcrübə aparılmışdır. Eksperiment zamanı müxtəlif struktur və mürəkkəblik səviyyəsinə malik 12 Azərbaycan dili cümləsi seçilmiş və modellərə təqdim edilmişdir. Bu cümlələr üç əsas kateqoriyaya bölünmüşdür: sadə quruluşlu cümlələr, morfoloji baxımdan mürəkkəb cümlələr və məntiqi nəticə çıxarma tələb edən suallar. Model cavabları semantik uyğunluq, morfoloji düzgünlük və sintaktik adekvatlıq meyarları üzrə keyfiyyət baxımından qiymətləndirilmişdir

MÜŞAHİDƏLƏR VƏ ANALİZ

Aparılan müşahidələr göstərir ki, modellər sadə quruluşlu Azərbaycan cümlələrini ümumən düzgün başa düşür və semantik cəhətdən uyğun cavablar verir. Lakin morfoloji baxımdan mürəkkəb konstruksiyalarda nəzərəçarpacaq çatışmazlıqlar müşahidə olunur.

Konkret nümunə olaraq "gedəcəkdiniz" kimi çoxşəkilçili feillərdə zaman, şəxs və cəm kateqoriyalarının eyni anda düzgün interpretasiyası çətinlik yaradır. Tokenizasiya zamanı bu tip sözlərin kiçik alt-vahidlərə parçalanması kontekstin itirilməsinə səbəb ola bilər. Müqayisə üçün qeyd etmək olar ki, ingilis dilindəki "you will go" ifadəsi üç ayrı token kimi asanlıqla emal edilir, halbuki Azərbaycan dilindəki funksional ekvivalent tək sözdən ibarətdir. Bundan əlavə, bəzi hallarda modelin Azərbaycan dilini digər dillərlə, xüsusən türk dili ilə qarışdırdığı müşahidə edilmişdir. Bu hal modelin dil identifikasiyası ilə bağlı məhdudiyyətlərini əks etdirir.

Eksperiment zamanı müşahidə olunan ümumi mənzərə belədir: sadə cümlələrdə modellər yüksək semantik uyğunluq nümayiş etdirmişdir. Morfoloji mürəkkəb cümlələrdə isə şəkilçi ardıcıllığında və şəxs-zaman uyğunluğunda səhvlər müşahidə edilmişdir. Məntiqi sual qrupunda nəticələr qeyri-sabit olmuş — bəzi cavablar düzgün istiqamətdə olsa da, bir hissəsi natamam qalmışdır.

TƏDQIQATIN TÖHFƏLƏRI

Bu məqalənin əsas töhfəsi Azərbaycan dilinin LLM-lərdəki mövcud vəziyyətini sistemli müşahidə əsasında sənədləşdirməkdir. Konkret çətinliklər — tokenizasiya uyğunsuzluğu, morfoloji interpretasiya problemləri, dil identifikasiyası zəifliyi — real nümunələrlə göstərilmiş və ədəbiyyatdakı tapıntılarla əlaqələndirilmişdir.

Gələcək tədqiqatlar üçün aşağıdakı prioritet istiqamətlər müəyyən edilmişdir: Azərbaycan dili üçün morfoloji strukturu nəzərə alan xüsusi tokenizasiya modelinin hazırlanması; keyfiyyətli yerli korpusların — mətbuat, hüquqi və elmi mətnlər əsasında — yaradılması; mövcud çoxdilli modellərin LoRA əsaslı fine-tuning vasitəsilə Azərbaycan dilinə uyğunlaşdırılması.

NƏTICƏ

Aparılan tədqiqat müasir Böyük Dil Modellərinin (LLM) Azərbaycan dilini emal etmə imkanlarında ciddi məhdudiyyətlərin olduğunu üzə çıxarmışdır. Bu çatışmazlıqların əsas texniki səbəbləri kimi dilin **aqqlütinativ quruluşu**, mövcud **tokenizasiya mexanizmlərinin** bu mürəkkəbliyə uyğunsuzluğu və qlobal rəqəmsal korpuslarda Azərbaycan dilli mətnlərin payının azlığı müəyyən edilmişdir.

Müşahidə eksperimentləri göstərir ki, modellər sadə sintaktik strukturlarda qənaətbəxş performans nümayiş etdirsələr də, morfoloji mürəkkəblik artdıqca nəticələrin keyfiyyəti kəskin şəkildə aşağı düşür. Azərbaycan dilinin rəqəmsal mühitdə layiqincə təmsil olunması üçün **tokenizasiya alqoritmlərinin optimallaşdırılması**, **genişmiqyaslı keyfiyyətli korpusların yaradılması** və **məqsədli fine-tuning (dəqiq tənzimləmə)** istiqamətlərində sistemli tədqiqatların aparılması zəruridir.

Tədqiqat çərçivəsində əldə olunmuş tapıntılar sahə üzrə mövcud boşluqları analiz etməyə imkan verir və təklif olunan yanaşmaların səmərəliliyi işin praktiki əhəmiyyətini əsaslandırır.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

53. Joshi, P., Santy, S., Budhiraja, A., Bali, K., & Choudhury, M. (2020). The state and fate of linguistic diversity and inclusion in the NLP world. Proceedings of ACL 2020, 6282–6293.
54. Conneau, A., Khandelwal, K., Goyal, N., Chaudhary, V., Wenzek, G., & Guzmán, F. (2020). Unsupervised cross-lingual representation learning at scale. Proceedings of ACL 2020, 8440–8451.
55. Hu, E. J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., & Chen, W. (2022). LoRA: Low-rank adaptation of large language models. ICLR 2022.
56. Touvron, H., Lavril, T., Izacard, G., Martinet, X., Lachaux, M. A., & Lacroix, T. (2023). LLaMA: Open and efficient foundation language models. arXiv:2302.13971.
57. Rust, P., Pfeiffer, J., Vulić, I., Ruder, S., & Gurevych, I. (2021). How good is your tokenizer? On the monolingual performance of multilingual language models. Proceedings of ACL 2021, 164–176.
58. Xue, L., Constant, N., Roberts, A., Kale, M., Al-Rfou, R., Siddhant, A., & Raffel, C. (2021). mT5: A massively multilingual pre-trained text-to-text transformer. Proceedings of NAACL 2021, 483–498.
59. Adelani, D. I., Abbott, J., Neubig, G., D'souza, R., Kreutzer, J., & Lignos, C. (2022). A few thousand translations go a long way! NAACL 2022, 3053–3070.
60. Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., & Dhariwal, P. (2020). Language models are few-shot learners. Advances in Neural Information Processing Systems, 33, 1877–1901.

MÜASİR DÖVR HƏRBİ SİSTEMLƏRİNDƏ KİBER-MÜDAFİƏNİN ROLU

Aydan Xəlilli
Azərbaycan Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
Aydan.Xelilli@ascca.edu.az

Xülasə
Müasir dövrdə hərbi sistemlər sürətlə rəqəmsallaşır və informasiya-kommunikasiya texnologiyalarından geniş istifadə olunur. Komanda-idarəetmə sistemləri, pilotsuz platformalar, peyk rabitəsi, radar şəbəkələri və yüksək dəqiqlikli silah sistemləri proqram təminatı və şəbəkə infrastrukturu ilə sıx inteqrasiya olunmuşdur. Bu isə kibertəhlükələrin hərbi sahədə daha real və təhlükəli xarakter almasına səbəb olmuşdur. Kiber-müdafiə artıq yalnız texniki təhlükəsizlik məsələsi deyil, həm də strateji üstünlük və milli təhlükəsizlik faktorudur. Məqalədə müasir hərbi sistemlərdə kiber-müdafiənin əhəmiyyəti, əsas risklər və tətbiq edilən müdafiə mexanizmləri təhlil edilir.
Açar sözlər: kiber-müdafiə, hərbi sistemlər, kibertəhlükəsizlik, informasiya üstünlüyü, C4ISR, kritik infrastruktur, elektron müharibə

Giriş
XXI əsrdə müharibə anlayışı coğrafi məhdudiyyətləri geridə qoyaraq tamamilə yeni bir ölçü qazanmışdır. Ənənəvi quru, hava və dəniz əməliyyatlarının yanına kiberməkanın beşinci əməliyyat sahəsi kimi əlavə olunması hərbi doktrinaları kökündən yeniləmişdir. Bu yeni reallıqda informasiya üstünlüyü və rəqəmsal infrastruktura nəzarət hərbi uğurun əsas təminatçısı hesab olunur. NATO və Amerika Birləşmiş Ştatlarının Müdafiə Nazirliyi kimi qlobal təhlükəsizlik güclərinin kiberməkanı rəsmi döyüş mühiti kimi tanıması kiberhücumların artıq konvensional silahlı hücumlarla eyni strateji çəkiyə malik olduğunu təsdiqləyir.
Rəqəmsal texnologiyaların hərbi idarəetmə və silah sistemlərinə dərindən inteqrasiyası orduların operativ çevikliyini artırsa da, eyni zamanda onları görünməz və asimmetrik təhdidlərlə üz-üzə qoymuşdur. Müasir müharibələrdə düşmənin rabitə xətlərini sıradan çıxarmaq, logistik şəbəkələrini iflic etmək və ya kritik infrastrukturunu rəqəmsal müdaxilə ilə dayandırmaq hər hansı fiziki bombardmandan daha sarsıdıcı təsir bağışlaya bilir. Bu səbəbdən kiber-müdafiə artıq sadəcə informasiya texnologiyalarının təhlükəsizliyi məsələsi deyil, birbaşa milli suverenliyin və dövlətin fiziki mövcudluğunun qorunması deməkdir. Müasir hərbi mühitdə kiber-müdafiə potensialı olmayan bir dövlət ən güclü ordulara sahib olsa belə, rəqəmsal cəbhədə alınan bir zərbə ilə bütün müdafiə sisteminin iflası ilə qarşılaşa bilər.

Metodologiya
Tədqiqat zamanı müasir hərbi doktrinaların və beynəlxalq təhlükəsizlik strategiyalarının **müqayisəli analizi** metodundan istifadə edilmişdir. Kiberrisklərin kinetik təsirlərini öyrənmək üçün "Stuxnet" kimi real nümunələr üzərində **hadisə analizi (case study)** tətbiq olunmuşdur. Həmçinin, rəqəmsallaşmanın hərbi effektivliyə təsiri **sistemli yanaşma** və mövcud texnoloji trendlərin (AI, kvant) **elmi proqnozlaşdırılması** yolu ilə qiymətləndirilmişdir.

Müasir hərbi sistemlərin rəqəmsallaşması və kiberrisklər
Şəbəkə Mərkəzli Müharibə və C4ISR Arxitekturası: Müasir ordular artıq fərdi vahidlərdən ibarət deyil, vahid bir "sinir sistemi" kimi fəaliyyət göstərir. Bu sistem sensorlardan alınan məlumatları saniyələr ərzində ən ucqar bölməyə çatdıraraq düşmən üzərində sürət və "vəziyyətdən xəbərdarlıq" (situational awareness) üstünlüyü yaradır. Lakin bu zəncirin bir elementi kiber-müdaxiləyə məruz qalarsa, bütün sistemin "zəhərlənməsi" və yanlış məlumat əsasında strateji səhvlərin buraxılması riski yaranır.
Kinetik Təsirli Kiber-Silahlar: Kiberhücumlar artıq sadəcə məlumat oğurluğu ilə məhdudlaşmır, birbaşa fiziki dağıntı törətmək gücünə malikdir. Stuxnet nümunəsində görüldüyü kimi, zərərli proqram təminatı fiziki avadanlıqların iş rejimini dəyişərək onları partlada və ya sıradan çıxara bilər. Bu, müharibənin fiziki itki vermədən, uzaqdan idarə olunan kodlarla udulması potensialını yaradır.
Təchizat Zənciri Təhlükəsizliyi: Müasir silah sistemləri milyonlarla sətir koda malikdir. Bu proqram təminatının yazılması və çiplərin istehsalı zamanı daxilə yerləşdirilən "arxa qapılar" (backdoors), gələcək münaqişələrdə həmin silahların döyüş anında düşmən tərəfindən məsafədən söndürülməsi və ya hədəfdən yayındırılması riskini doğurur.
Elektron Müharibə (EW) və Kiber-İnteqrasiya: Müasir döyüşlərdə kiber-əməliyyatlar elektron müharibə vasitələri ilə birləşir. Məsələn, GPS siqnallarının aldadılması (spoofing) vasitəsilə PUA-ların koordinatları dəyişdirilir və ya raketdən müdafiə sistemlərinin radarlarına saxta hədəf siqnalları ötürülür. Bu, rəqibi həm fiziki, həm də informasiya baxımından "kor edərək" döyüş qabiliyyətini minimuma endirir.

Kiber-Dayanıqlılıq (Cyber Resilience) Zərurəti: Müasir hərbi doktrinalarda artıq sadəcə "keçilməz müdafiə" anlayışı kifayət etmir. Əsas hədəf kiber-dayanıqlılıqdır; yəni ordu kiberhücuma məruz qaldıqdan və bəzi sistemləri sıradan çıxdıqdan sonra belə öz əməliyyat qabiliyyətini necə qoruyub saxlamalı və funksiyalarını necə bərpa etməlidir.

Asimmetrik Təhdid və Ucuz Müharibə: Hərbi sistemlərin rəqəmsallaşması asimmetrik riskləri artırır. Milyardlarla dollar dəyərində olan bir hərbi infrastruktur, bir neçə haker tərəfindən hazırlanmış ucuz, lakin effektiv bir virus vasitəsilə iflic edilə bilər. Bu, texnoloji cəhətdən üstün olan orduların rəqəmsal sahədə gözlənilməz dərəcədə həssas ola biləcəyini göstərir.

Kiber-müdafiənin strateji əhəmiyyəti

Kiber-müdafiə müasir hərbi strategiyanın sadəcə texniki dəstək mexanizmi deyil, dövlətin rəqəmsal suverenliyini təmin edən strateji qalxan funksiyasını yerinə yetirir. Komanda və idarəetmə sistemlərinin qorunması bu çərçivədə ən kritik prioritet hesab olunur, çünki müasir döyüş meydanında vahid şəbəkəyə bağlı olan bölmələr arasında rabitənin kəsilməsi və ya əməliyyat məlumatlarının manipulyasiya edilməsi qoşunların idarəolunmaz hala düşməsinə və strateji məğlubiyyətə yol açа bilər. Bunun qarşısını almaq üçün tətbiq olunan kvant davamlı şifrələmə üsulları, çoxsəviyyəli biometrik autentifikasiya və süni intellekt əsaslı daimi şəbəkə monitorinqi sistemləri potensial sızmaları hələ baş vermədən aşkarlamağa imkan verir. İnformasiya üstünlüyünün təmin edilməsi isə müasir müharibələrin xarakterini dəyişərək üstünlüyü yalnız atəş gücündən deyil, həm də məlumatın rəqibdən daha sürətli toplanması, emalı və analizi qabiliyyətindən asılı hala gətirir. Etibarlı kiber-müdafiə sistemi düşmənin rəqəmsal kəşfiyyat cəhdlərini bloklayaraq qərar qəbuletmə zəncirinin saflığını qoruyur və ordunun "vəziyyətdən xəbərdarlıq" imkanlarını maksimum səviyyədə saxlayır.

Kritik infrastrukturun qorunması məsələsi hərbi strategiyanı mülki sahə ilə sıx bağlayır, çünki enerji şəbəkələri, nəqliyyat qovşaqları və rəqəmsal rabitə infrastrukturu ordunun arxa cəbhə təminatının onurğa sütununu təşkil edir. Bu sistemlərə qarşı həyata keçirilən kiber-təxribatlar ordunun logistik imkanlarını iflic etməklə yanaşı, ölkə daxilində genişmiqyaslı xaos yaradaraq ictimai sabitliyi poza və müdafiə qabiliyyətini daxildən sarsıda bilər. Beləliklə, kiber-müdafiə artıq lokal bir mühafizə tədbiri deyil, həm döyüş meydanındakı aktiv əməliyyatların, həm də ölkənin ümumi təhlükəsizlik arxitekturasının davamlılığını təmin edən fundamental strateji elementdir. Müasir hərbi doktrinalar kiber-müdaxiləyə qarşı dayanıqlılığı artırmaq üçün aktiv kiber-müdafiə taktikalarına keçid edir ki, bu da düşmənin hücum hazırlığını hələ onun öz şəbəkəsində müəyyən edib zərərsizləşdirməyi nəzərdə tutur.

Müasir kiber-müdafiə yanaşmaları

Müasir hərbi sistemlərdə kiber-müdafiə çoxsəviyyəli təhlükəsizlik prinsipi əsasında qurulur. Şəbəkə təhlükəsizliyi üçün firewall sistemləri, hücumların aşkarlanması və qarşısının alınması mexanizmləri, şəbəkə segmentasiyası və təhlükəsiz rabitə protokolları tətbiq edilir.

Kriptoqrafik müdafiə mexanizmləri məlumatların məxfiliyini və bütövlüyünü təmin edir. Hərbi rabitə sistemlərində xüsusi standartlara uyğun şifrələmə alqoritmlərindən istifadə olunur.

Son illərdə süni intellekt əsaslı təhlükə aşkarlama sistemləri geniş tətbiq edilir. Bu sistemlər şəbəkə trafikində anomaliyaları müəyyən edərək potensial hücumları erkən mərhələdə aşkar edə bilir.

Texniki vasitələrlə yanaşı, insan faktoru da mühüm rol oynayır. Hərbi personalın kibertəhlükəsizlik sahəsində təlimi, simulyasiya edilmiş hücum ssenariləri və müntəzəm təhlükəsizlik auditləri müdafiə qabiliyyətini gücləndirir.

Gələcək perspektivlər

Texnologiyaların inkişafı ilə kibertəhlükələr daha mürəkkəb xarakter alır. Kvant hesablama texnologiyalarının inkişafı mövcud kriptoqrafik sistemlər üçün yeni çağırışlar yarada bilər. Eyni zamanda süni intellekt əsaslı hücum alətləri və avtomatlaşdırılmış kiber əməliyyatlar gələcəkdə daha geniş istifadə oluna bilər.

Bu səbəbdən kiber-müdafiə yalnız mövcud təhlükələrə reaksiya verməklə məhdudlaşmamalı, proaktiv risk analizi və strateji planlaşdırma ilə müşayiət olunmalıdır. Müasir hərbi doktrinalarda kiber-müdafiə artıq ayrıca texniki sahə deyil, kompleks əməliyyat mühitinin ayrılmaz tərkib hissəsidir.

Nəticə

Müasir dövr hərbi sistemlərində kiber-müdafiə milli təhlükəsizliyin əsas sütunlarından birinə çevrilmişdir. Rəqəmsallaşma hərbi imkanları genişləndirsə də, eyni zamanda yeni risklər formalaşdırır.

Kiber-müdafiə strateji planlaşdırma, texnoloji innovasiya və kadr hazırlığını özündə birləşdirən kompleks yanaşma tələb edir. Gələcək münaqişələrin nəticəsi böyük ölçüdə kiberməkanda üstünlüyün təmin olunmasından asılı olacaqdır.

Ədəbiyyat
7. Adamy, D. L. *EW 101: A First Course in Electronic Warfare*. Artech House, 2015.
8. Alberts, D. S. *Information Age Warfare: Evolution of C4ISR*. DoD CCRP, 2002.
9. Joint Publication 3-12. *Cyberspace Operations*. U.S. Department of Defense.
10. Joint Publication 3-85. *Joint Electromagnetic Spectrum Operations*. U.S. Department of Defense, 2020.
11. Singer, P. W., Friedman, A. *Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know*. Oxford University Press, 2014.
12. Krelina, M. "Quantum technology for military applications." Military and Aerospace Science Studies.

MOBİL OYUNLARIN HAZIRLANMASI VƏ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİNDƏ DEVOPS YANAŞMASININ TƏTBİQİ

Azad Məmmədov
Bakı Mühəndislik universitetit
amemmedov36@std.beu.edu.az

Xülasə: Mobil oyun sənayesi son illərdə sürətlə inkişaf edərək proqram mühəndisliyinin ən dinamik istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir. Mobil oyunlar artıq yalnız ilkin hazırlanma mərhələsində yaradılan məhsullar deyil, uzun müddət dəstəklənən, təkrar yenilənən, monitorinq olunan və istifadəçi davranışına uyğun davamlı təkmilləşdirilən rəqəmsal sistemlərdir. Bu baxımdan mobil oyunların hazırlanmasında klassik inkişaf modelləri hər zaman yetərli olmur. İnkişaf və istismar proseslərini vahid mühitdə birləşdirən DevOps yanaşması mobil oyun layihələrinin daha çevik, daha keyfiyyətli və daha dayanıqlı idarə olunmasına imkan yaradır. Yüklənmiş mənbədə də göstərildiyi kimi, DevOps mobil oyun inkişafında continuous integration, continuous delivery, continuous monitoring və avtomatlaşdırma vasitəsilə həm texniki nəticələr verir, həm də komanda daxilində keyfiyyət yönümlü və açıq kommunikasiya mühiti formalaşdırır.
Açar sözlər: DevOps, mobil oyun inkişafı, CI/CD, avtomatlaşdırma, monitorinq, Live Ops, mobil tətbiq paylanması

GİRİŞ

Mobil oyun bazarı müasir rəqəmsal iqtisadiyyatda həm iqtisadi göstəricilər, həm də istifadəçi əhatəsi baxımından aparıcı sahələrdən birinə çevrilmişdir. Mobil cihazların geniş yayılması və oyunların sərbəst yüklənə bilməsi nəticəsində bu məhsullar qlobal bazarda böyük rəqabət mühiti formalaşdırmışdır. Mobil oyunların bazarda davamlı mövqeyini qoruması üçün onların yalnız ilkin hazırlanması kifayət etmir; məhsul mütəmadi yenilənməli, texniki nasazlıqlar operativ aradan qaldırılmalı, istifadəçi təcrübəsi təhlil olunmalı və canlı əməliyyatlar vasitəsilə oyunun parametrləri optimallaşdırılmalıdır [7],[10]. Bu xüsusiyyət mobil oyunları klassik proqram məhsullarından fərqləndirir və onları uzunömürlü rəqəmsal xidmət modelinə yaxınlaşdırır.

DevOps yanaşması belə mühitdə xüsusi aktuallıq qazanır. DevOps inkişaf və istismar qrupları arasında əməkdaşlığı gücləndirən, keyfiyyət yönümlü iş prinsiplərini təşviq edən və avtomatlaşdırma vasitəsilə proqram həyat dövrünü sürətləndirən yanaşma kimi izah olunur [2]. Bu model yalnız texniki vasitələrdən ibarət deyil; o, həm də açıq kommunikasiya, birgə məsuliyyət, davamlı təkmilləşdirmə və dəyişikliklərə adaptasiya mədəniyyətini formalaşdırır. Bu səbəbdən DevOps mobil oyun inkişafında yalnız build və release proseslərini yaxşılaşdıran yanaşma deyil, bütövlükdə layihə idarəçiliyini və komanda işini dəyişən çərçivədir.

Mobil oyun layihələrində DevOps-un əhəmiyyəti platforma-spesifik məhdudiyyətlərlə daha da artır. Android və iOS üçün build, imzalama, çatdırılma və mağaza siyasətləri fərqlidir. Xüsusilə iOS üçün build

və paylama prosesinin daha mürəkkəb olması, TestFlight kimi vasitələrin istifadəsi və App Store review mərhələlərinin vaxt aparması mobil oyunlarda release prosesini həssas edir [5]. Digər tərəfdən, soft launch, Live Ops və remote configuration kimi mexanizmlər oyunun bazar göstəricilərinə əsasən sürətli düzəlişlər etməyi tələb edir [3], [7]. Buna görə də mobil oyunların inkişafında DevOps yanaşması texnoloji zərurət kimi qiymətləndirilə bilər.

TƏDQIQATIN MƏQSƏDI VƏ METODOLOJI YANAŞMA

Əsas məqsəd DevOps yanaşmasının mobil oyunların hazırlanması və təkmilləşdirilməsi prosesində tətbiq imkanlarını, üstünlüklərini və məhdudiyyətlərini araşdırmaqdır. Tədqiqatın əsas diqqəti üç istiqamətə yönəldilir: mobil oyun layihələrində ən faydalı DevOps praktikalarının müəyyənləşdirilməsi, həmin praktikaları dəstəkləyən alət və pipeline-ların təhlili, həmçinin DevOps-un komanda mədəniyyətinə təsirinin qiymətləndirilməsi. Bu məqsədlər DevOps-un yalnız texniki deyil, təşkilati baxımdan da dəyərləndirilməsini tələb edir.

Metodoloji baxımdan fəaliyyət-tədqiqat yanaşması uyğun görünür. Bu modeldə tədqiqatçı prosesə kənardan baxan müşahidəçi deyil, transformasiyanın aktiv iştirakçısı olur. Belə yanaşma DevOps kimi dəyişiklikyönümlü bir modelin real layihə mühitində necə işlədiyini, hansı alətlərin daha uyğun olduğunu və komanda davranışında hansı dəyişikliklər yaratdığını daha dərindən anlamağa imkan verir. Fəaliyyət-tədqiqatın dövri xarakteri planlama, tətbiq, müşahidə və refleksiya mərhələləri əsasında praktik nəticələr çıxarmağa şərait yaradır [6]. Mobil oyun inkişafı kimi çevik və sürətli dəyişən sahədə bu metodun seçilməsi məntiqlidir.

Mobil oyun inkişafında ən vacib DevOps praktikaları continuous integration, continuous delivery, continuous deployment, automatic versioning, continuous monitoring və continuous improvement kimi müəyyən edilir [4]. Continuous integration proqramçıların yazdığı dəyişikliklərin əsas branch-ə problemsiz inteqrasiyasını təmin edir və səhvlərin daha erkən mərhələdə aşkarlanmasına kömək edir. Bu, xüsusilə Unity kimi mühərriklə hazırlanmış oyunlarda vacibdir, çünki kodun kompilyasiya olunması, build yaradılması və real cihazda yoxlanması birgə aparılmadıqda xətalar gec görünür. Davamlı inteqrasiya gecə build-ləri və pull request əsaslı yoxlama ilə birləşdirildikdə keyfiyyətə nəzarət daha sistemli olur [4].

Continuous delivery mobil oyunların mağaza mühitinə yaxın test mərhələsinə çıxarılmasını asanlaşdırır. Android üçün internal testing, iOS üçün isə TestFlight vasitəsilə build-lərin komandaya və testçilərə operativ çatdırılması release dövrünü qısaldır. Xüsusilə iOS paylanmasının texniki baxımdan daha məhdud olması DevOps alətlərinin seçimini və pipeline arxitekturasını birbaşa müəyyənləşdirir [8]. Continuous deployment isə oyun klienti üçün hər zaman tam tətbiq olunmasa da, remote settings və konfiqurasiya faylları üçün daha real və səmərəli həll hesab edilə bilər. Çünki bu tip dəyişikliklər daha sadə struktur daşıyır, versiyalanması və avtomatik yoxlanması mümkündür.

Avtomatik versiyalama və monitorinq də mobil oyun DevOps modelində mühüm yer tutur. Google Play və App Store sistemlərində build nömrələrinin artan ardıcıllıqla təqdim olunması məcburidir. Bu prosesin əl ilə aparılması səhv riskini artırdığı üçün avtomatik versiyalama release idarəçiliyinin ayrılmaz hissəsinə çevrilir. Monitorinq isə oyunun yayımlandıqdan sonrakı performansını nəzarətdə saxlamağa imkan verir. Backend anomaliyalarının, klient səhvlərinin və performans problemlərinin vaxtında aşkarlanması istifadəçi itkisini və texniki riskləri azaldır.

DevOps-un effektiv tətbiqi düzgün alət zəncirinin qurulmasını tələb edir. DevOps toolchain layihənin texniki ehtiyaclarına uyğun seçilən, bir-biri ilə inteqrasiya olunan və proqram həyat dövrünün müxtəlif mərhələlərini dəstəkləyən alətlər sistemidir. Mobil oyun layihələrində bu zəncirə versiya nəzarəti, build avtomatlaşdırılması, test, release, deploy və monitorinq alətləri daxildir. Bitbucket, Unity Cloud Build, Bitbucket Pipelines, Fastlane, Azure Monitor, Firebase Remote Config və Unity Cloud Diagnostics kimi alətlər mobil oyun mühitində praktik baxımdan bir-birini tamamlayan struktur yaradır.

Bitbucket Pipelines continuous integration və continuous deployment üçün uyğun həll kimi çıxış edir. Unity Cloud Build isə xüsusilə Unity əsaslı mobil oyunlarda build prosesinin bulud üzərindən idarə olunmasını sadələşdirir. Fastlane iOS build-lərinin TestFlight-a və daha sonra App Store-a ötürülməsində mühüm rol oynayır. Android tərəfdə isə build-lərin daxili test mühitinə verilməsi nisbətən daha sadə həyata keçirilir. Bu fərq göstərir ki, mobil oyun DevOps mühitində alət seçimi yalnız ümumi DevOps prinsiplərinə görə deyil, platforma tələblərinə uyğun da aparılmalıdır.

Remote configuration və Live Ops mexanizmləri də bu zəncirin vacib hissəsidir. Firebase Remote Config və oxşar alətlər oyunçuya yeni versiya yüklətmədən müəyyən parametrlərin dəyişdirilməsinə imkan verir. Bu, balans düzəlişləri, tədbir parametrləri, mükafat sistemləri və oyun iqtisadiyyatı üzərində çevik nəzarət

yaradır. Beləliklə, DevOps təkcə kodun çatdırılması ilə məhdudlaşmır, həm də oyunun bazarda davranışının real vaxtda təkmilləşdirilməsini dəstəkləyir.

Mobil oyunlar yayımlandıqdan sonra da inkişaf etməyə davam edən məhsullardır. Bu səbəbdən continuous monitoring DevOps modelində xüsusi yer tutur. Backend xidmətlərinin, server sabitliyinin, tətbiq səhvlərinin və oyunçu davranışının daimi izlənməsi komandanın problemlərə sürətli reaksiya verməsinə imkan yaradır. Azure Monitor və Unity Cloud Diagnostics kimi vasitələr texniki anomaliyaların aşkarlanmasında, Slack tipli kommunikasiya vasitələri isə bu siqnalların dərhal müvafiq komanda üzvlərinə çatdırılmasında səmərəli rol oynayır (Jussila, 2021). Belə monitorinq mühiti xüsusilə onlayn və multiplayer mobil oyunlar üçün vacibdir.

DevOps-un təsiri yalnız texniki proseslərlə məhdudlaşmır. O, komanda mədəniyyətində də ciddi dəyişikliklər yaradır. Keyfiyyət yönümlü düşüncə, açıq kommunikasiya, yeni alətlərə uyğunlaşma, birgə məsuliyyət və davamlı təkmilləşdirməyə meyl DevOps-un əsas mədəni nəticələri hesab olunur [1], [2]. Pull request-lərin daha ciddi keyfiyyət qapısı kimi qəbul olunması, avtomatlaşdırılmış build-lərin review prosesinə əlavə nəzarət qatması və monitorinq nəticələrinin kollektiv müzakirə olunması komanda daxilində daha yüksək peşəkar intizam formalaşdırır. Bu isə öz növbəsində məhsulun keyfiyyətinə də müsbət təsir göstərir.

NƏTİCƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, DevOps yanaşması mobil oyunların hazırlanması və təkmilləşdirilməsi üçün səmərəli və praktik modeldir. O, build və release proseslərini sürətləndirir, versiyalama və çatdırılmanı daha etibarlı edir, monitorinq və operativ müdaxilə imkanlarını genişləndirir, Live Ops mexanizmlərini gücləndirir və komanda daxilində açıq, keyfiyyət yönümlü əməkdaşlıq mühiti yaradır [1]. Bununla belə, avtomatik testləşdirmənin oyunlarda daha çətin olması, platforma məhdudiyyətləri və xüsusilə iOS paylanmasının mürəkkəbliyi nəzərə alınmalı əsas çağırışlardır [5],[9]. Ümumilikdə, DevOps mobil oyun inkişafında yalnız texniki alətlər toplusu deyil, çeviklik, sabitlik və davamlı təkmilləşdirmə yaradan strateji yanaşmadır.

İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT

11. Ebert, C., Gallardo, G., Hernantes, J., & Serrano, N. (2016). DevOps. IEEE Software, 33(3), 94–100.
12. Forsgren, N., Humble, J., & Kim, G. (2018). Accelerate: The Science of Lean Software and DevOps: Building and Scaling High Performing Technology Organizations. IT Revolution Press.
13. Hargreaves, T. (2016). DevOps for Mobile: It’s Not Just for Enterprise Anymore. GDC Vault.
14. Jussila, T. (2021). DevOps in mobile game development: An action research on applying DevOps practices in a mobile game development project. JAMK University of Applied Sciences.
15. Katz, D. (2018). Continuous delivery for mobile with fastlane: Automating mobile application development and deployment for iOS and Android. Packt.
16. Kananen, J. (2014). Toimintatutkimus kehittämistutkimuksen muotona. JAMK University of Applied Sciences.
17. Leung, T. (2017). Quick Guide to Live-Ops in Free-to-Play Games.
18. Pittet, S. (n.d.). Continuous integration vs. continuous delivery vs. continuous deployment. Atlassian.
19. Schultz, C. P., & Bryant, R. D. (2017). Game Testing: All in One (3rd ed.). Mercury Learning.
20. Wijman, T. (2021). Global Games Market to Generate $175.8 Billion in 2021. Newzoo.

PROQRAM MÜHƏNDİSLİYİ TƏCRÜBƏLƏRİNİN DƏRİN ÖYRƏNMƏ VASİTƏSİLƏ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ

Babək Bahadurlu
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
bbahadurlu@std.beu.edu.az

Xülasə: Müasir proqram mühəndisliyi mürəkkəb kod bazalarının idarə olunması, test proseslərinin genişlənməsi, təkrarlanan proqram hissələrinin aşkarlanması və proqram artefaktlarının səmərəli emalı kimi bir sıra problemlərlə xarakterizə olunur. Ənənəvi maşın öyrənməsi yanaşmaları bu problemlərin həllində müəyyən nəticələr versə də, onların əsas məhdudiyyəti əl ilə xüsusiyyətlərin seçilməsi və hazırlanmasına yüksək dərəcədə bağlı olmasıdır. Dərin öyrənmə yanaşmaları isə proqram kodu, abstrakt sintaksis ağacları, idarəetmə axını strukturları, test metodları və digər proqram artefaktları əsasında əlamətləri avtomatik öyrənmək imkanı verir. Bu məqalədə dərin öyrənmənin proqram mühəndisliyində tətbiq imkanları təhlil olunur, xüsusən kod oxşarlığının aşkarlanması və test proseslərinin avtomatlaşdırılması istiqamətində onun üstünlükləri nəzərdən keçirilir. Araşdırma göstərir ki, dərin öyrənmə proqram mühəndisliyi təcrübələrinin səmərəliliyini artırmaq, proqram baxımını asanlaşdırmaq və test prosesində insan əməyini azaltmaq baxımından mühüm potensiala malikdir.

Açar sözlər: proqram mühəndisliyi, dərin öyrənmə, kod oxşarlığı, test avtomatlaşdırılması, assert generasiyası, proqram baxımı

GİRİŞ

Rəqəmsal transformasiyanın dərinləşməsi proqram təminatının bütün sahələrdə tətbiqini genişləndirmiş, bunun nəticəsində proqram sistemlərinin həcmi, mürəkkəbliyi və inkişaf tempi əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır [2]. Bu artım proqram mühəndisləri qarşısında yeni çağırışlar yaratmışdır. Böyük həcmli kod bazalarında proqram hissələrinin təkrarını aşkar etmək, proqramın davranışını anlamaq, test ssenarilərini genişləndirmək və proqramın keyfiyyətini qorumaq artıq daha çox vaxt və resurs tələb edir [1], [2].

Ənənəvi proqram analiz üsulları və klassik maşın öyrənməsi metodları adətən əvvəlcədən müəyyənləşdirilmiş xüsusiyyətlərə əsaslanır. Başqa sözlə, modelin uğuru çox vaxt tədqiqatçının və ya proqram mühəndisinin hansı xüsusiyyətləri seçməsindən asılı olur [1]. Bu isə həm prosesin mürəkkəbləşməsinə, həm də müxtəlif proqram kontekstlərində modelin çevikliyinin azalmasına səbəb olur. Dərin öyrənmə bu məhdudiyyəti aradan qaldıraraq, verilənlərdən əlamətləri çoxsəviyyəli şəkildə avtomatik çıxarmaq qabiliyyəti ilə fərqlənir [1], [2].

Son illərdə dərin öyrənmənin proqram mühəndisliyində tətbiqi daha sistemli xarakter almağa başlamışdır. Müxtəlif tədqiqatlar göstərir ki, bu yanaşma kod təsnifatı, səhv lokalizasiyası, clone detection, kod xülasələndirilməsi, test generasiyası və digər bir çox tapşırıqda əhəmiyyətli nəticələr verir [1], [2], [3]. Xüsusilə proqram kodunun yalnız mətn kimi deyil, struktur və semantik xüsusiyyətləri ilə birlikdə öyrənilməsi daha yüksək dəqiqlik yaratmağa imkan verir [3].

Bu baxımdan, proqram mühəndisliyi təcrübələrinin dərin öyrənmə vasitəsilə təkmilləşdirilməsi həm nəzəri, həm də praktik baxımdan aktıyal elmi istiqamət kimi çıxış edir.

DƏRİN ÖYRƏNMƏNİN PROQRAM MÜHİNDİSLİYİNDƏ ROLU

Dərin öyrənmənin proqram mühəndisliyində əsas üstünlüyü proqram artefaktlarını əl ilə hazırlanmış təsvirlərdən deyil, birbaşa verilənlərdən öyrənə bilməsidir [1]. Proqram kodu təbii dilə müəyyən mənada bənzəsə də, onun özünəməxsus sintaktik və semantik strukturu mövcuddur. Buna görə yalnız token səviyyəsində deyil, eyni zamanda sintaktik ağaclar, idarəetmə axını və digər struktur komponentlər əsasında təhlil aparılması vacibdir [1], [3]. Müasir araşdırmalar göstərir ki, proqram mühəndisliyində istifadə olunan dərin öyrənmə modelləri müxtəlif arxitekturaları əhatə edir. Bunlara rekurrent neyron şəbəkələri, seq2seq modelləri, transformerlər, qraf neyron şəbəkələri və kod yönümlü təmsil modelləri daxildir [2], [3]. Bu modellər proqram artefaktlarının çoxölçülü təbiətini əks etdirmək və mürəkkəb asılılıqları öyrənmək baxımından əlverişlidir [2].

Dərin öyrənmənin tətbiqi proqram mühəndisliyində yalnız nəticələrin dəqiqliyini artırmır, eyni zamanda bir sıra proseslərin avtomatlaşdırılmasına şərait yaradır. Bu isə proqramçıların rutin və təkrarlanan tapşırıqlara sərf etdiyi vaxtı azaldaraq onların daha yaradıcı və analitik fəaliyyətə yönəlməsinə imkan yaradır [1], [4]. Proqram mühəndisliyində kod oxşarlığının aşkarlanması mühüm məsələlərdən biridir. Təkrarlanan və ya bir-birinə çox yaxın olan kod hissələri proqramın saxlanılmasını çətinləşdirir, səhvlərin eyni anda bir neçə

yerdə təkrarlanmasına səbəb olur və refaktorinq prosesini mürəkkəbləşdirir [2], [5]. Bu baxımdan clone detection proqram baxımının səmərəliliyində əsas komponentlərdən biri hesab olunur. Ənənəvi clone detection yanaşmaları əsasən mətn oxşarlığına, token əsaslı müqayisəyə və ya sintaktik uyğunluğa söykənirdi. Lakin bu yanaşmalar semantik cəhətdən oxşar, lakin sintaktik cəhətdən fərqli kod hissələrini aşkar etməkdə həmişə uğurlu olmurdu [5]. Dərin öyrənmə isə kodun müxtəlif təmsillərini birlikdə öyrənərək daha dərin oxşarlıq münasibətlərini müəyyənləşdirə bilir [1], [5]. Bu istiqamətdə aparılan işlər göstərir ki, identifier-lər, AST-lər, CFG-lər və bytecode kimi fərqli təmsillərin birgə istifadəsi kod fraqmentlərinin oxşarlığını daha dolğun müəyyən etməyə imkan verir [1], [5]. Bu yanaşma proqram baxımı baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Çünki yalnız eyni görünən kod hissələri deyil, eyni məntiqə xidmət edən, lakin fərqli yazılmış parçalar da aşkar oluna bilir. Nəticədə proqram sistemində təkrarın idarə olunması, refaktorinq üçün prioritet sahələrin seçilməsi və kod keyfiyyətinin yüksəldilməsi asanlaşır.

Proqram təminatının keyfiyyətinin qorunmasında test prosesi əsas mərhələlərdən biridir. Lakin testlərin hazırlanması, xüsusilə də test oracle-larının, yəni assert ifadələrinin yazılması həm vaxt aparan, həm də yüksək diqqət tələb edən prosesdir [4], [6]. Bu sahədə dərin öyrənmənin tətbiqi proqram mühəndisliyində əhəmiyyətli yeniliklərdən biri kimi qiymətləndirilir. Assert generasiyası üzrə yanaşmalar göstərir ki, test metodu və onun fokuslandığı əsas metod birlikdə öyrənildikdə model semantik və sintaktik baxımdan uyğun assert ifadələri yarada bilir [4], [6]. Seq2seq və attention əsaslı modellər burada xüsusilə təsirlidir. Bu modellər giriş kimi verilmiş test kontekstini emal edir və həmin kontekstə uyğun doğrulama ifadəsi yaradır [4]. Belə yanaşmanın üstünlüyü ondadır ki, proqramçı tamamilə sıfırdan test oracle yazmaq əvəzinə model tərəfindən təklif olunan assert-lərdən istifadə edə bilir. Bu isə test yazma prosesini sürətləndirir, rutin əməliyyatları azaldır və test əhatəsini artırmağa kömək edir [4], [6]. Sonrakı tədqiqatlar da göstərmişdir ki, dərin öyrənmə əsaslı assert generasiyası yanaşmaları informasiya axtarışı əsaslı metodlarla birlikdə istifadə olunduqda daha səmərəli nəticələr verə bilər [6].

PROBLEMLƏR VƏ MƏHDUDİYYƏTLƏR

Dərin öyrənmənin proqram mühəndisliyində geniş imkanlarına baxmayaraq, bu sahədə bir sıra məhdudiyyətlər də mövcuddur. İlk növbədə, modelin uğuru böyük həcmdə və keyfiyyətli verilənlərdən asılıdır [1], [2]. Proqram repozitoriyalarında çoxlu məlumat olsa da, bu məlumatın təmizlənməsi, uyğun formatda hazırlanması və etiketlənməsi ciddi əmək tələb edir [1]. İkinci mühüm problem modellərin izah oluna bilməməsidir. Dərin öyrənmə modelləri bir çox hallarda "qara qutu" kimi çıxış edir və konkret qərarın hansı daxili səbəbdən verildiyini izah etmək çətin olur [1], [2]. Proqram mühəndisliyində isə etibarlılıq və izah oluna bilmə xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bundan əlavə, təkrar istehsal oluna bilmə, benchmark seçimi, overfitting və real sənaye mühitində tətbiq imkanları da açıq problemlər sırasındadır [1], [2]. Buna görə dərin öyrənmənin proqram mühəndisliyində uğurlu tətbiqi yalnız model qurmaqla məhdudlaşmamalı, həm də verilənlərin idarə olunması, qiymətləndirmə metodologiyası və praktik inteqrasiya məsələlərini əhatə etməlidir.

NƏTİCƏ

Aparılmış təhlil göstərir ki, dərin öyrənmə proqram mühəndisliyi təcrübələrinin təkmilləşdirilməsi üçün güclü alət kimi çıxış edir. Onun əsas üstünlüyü proqram artefaktlarından əlamətləri avtomatik öyrənməsi, mürəkkəb struktur və semantik əlaqələri aşkar etməsi və bir sıra mühəndislik tapşırıqlarını avtomatlaşdırmasıdır [1], [2]. Kod oxşarlığının aşkarlanması və assert generasiyası kimi istiqamətlər bu potensialın praktik ifadəsi kimi qiymətləndirilə bilər [4], [5]. Bununla yanaşı, dərin öyrənmənin proqram mühəndisliyində tam səmərə ilə tətbiqi üçün verilənlərin keyfiyyəti, modellərin izah oluna bilməsi, nəticələrin etibarlılığı və sənaye uyğunluğu kimi məsələlərə xüsusi diqqət yetirilməlidir [1], [2]. Gələcək tədqiqatlarda strukturlaşdırılmış kod təmsillərinin, kontekst məlumatlarının və böyük dil modellərinin proqram mühəndisliyi tapşırıqlarında birgə istifadəsi daha güclü nəticələr verə bilər [2], [3]. Beləliklə, dərin öyrənmə proqram mühəndisliyində yalnız texnoloji yenilik deyil, həm də keyfiyyət, məhsuldarlıq və avtomatlaşdırma baxımından strateji inkişaf istiqaməti kimi dəyərləndirilə bilər.

İSTIFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBIYYAT

7. Watson C., Cooper N., Palacio D.N., Moran K., Poshyvanyk D., A Systematic Literature Review on the Use of Deep Learning in Software Engineering Research. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology.
8. Yang Y., Zhou X., Liu T., et al. A Survey on Deep Learning for Software Engineering. ACM Computing Surveys, 2022.
9. Guan X., & Treude C. Enhancing Source Code Representations for Deep Learning with Static Analysis. 2024.
10. White M., Tufano M., Vendome C., & Poshyvanyk D. ReAssert: Deep Learning for Assert Generation. 2020.
11. Lei Y., Wang S., Liu T., et al. Deep Learning Similarities from Different Representations of Source Code. ICPC, 2018.
12. Yu H., Zhang C., Wang S., et al. Automated Assertion Generation via Information Retrieval and Its Integration with Deep Learning. ICSE, 2022.

MAŞIN ÖYRƏNMƏSİ VASİTƏSİLƏ TƏLƏBƏLƏRİN AKADEMİK MÜVƏFFƏQİYYƏTİNİN TƏHLİLİ VƏ PROQNOZLAŞDIRILMASI: KLASTERLƏŞDİRMƏ VƏ KLASSİFİKASİYA YANAŞMASI

Esmira Məmmədova
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı , Azərbaycan
esmammadova@beu.edu.az

Dilarə Quluzadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı , Azərbaycan
dquluzade@beu.edu.az

Xülasə
Məqalə ali təhsil müəssisələrində tələbələrin akademik müvəffəqiyyətinin proqnozlaşdırılması məsələsinin maşın öyrənməsi metodları vasitəsilə tədqiqinə həsr olunmuşdur. Tədqiqatda 76.518 tələbənin demoqrafik, sosial-iqtisadi və akademik göstəricilərini əhatə edən verilənlər bazasından istifadə edilmişdir. K-Means klasterləşdirmə alqoritmi tətbiq edilərək tələbələrin 4 fərqli arketipə ayrılması həyata keçirilmiş, ardından XGBoost, Random Forest, Gradient Boosting və digər klassifikasiya modelləri müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmişdir. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, XGBoost modeli 82,89% ümumi dəqiqlik (accuracy) və 0,79 Makro F1-xal göstəricisi ilə optimal model kimi seçilmişdir. Tədqiqat həmçinin təhsil sahəsindəki proqnozlaşdırma üçün sosial-iqtisadi amillərin, xüsusən təqaüd statusu, borc yükü və cins kimi dəyişənlərin akademik qiymətlər qədər əhəmiyyətli olduğunu sübut etmişdir. Bu nəticələr ali məktəblərə "riskli" tələbələri erkən mərhələdə aşkar etmək üçün effektiv bir qərar dəstəyi sistemi qurmaq imkanı verir.
Açar sözlər: *maşın öyrənməsi, akademik proqnozlaşdırma, klasterləşdirmə, XGBoost, tələbə uğuru, ali təhsil analitikası*

GİRİŞ

Dünya üzrə ali təhsil sistemlərində tələbə kəsilməsi faizi ciddi narahatlıq mənbəyi olmaqda davam edir. UNESCO-nun məlumatlarına görə, inkişaf etməkdə olan ölkələrdə universitetə qəbul olunan hər üç tələbədən biri müxtəlif səbəblərlə təhsilini yarımçıq qoyur. Bu problem həm tələbənin fərdi inkişafına, həm də cəmiyyətin insan kapitalına ciddi zərər vurur. Buna görə də tələbənin akademik kəsilmə riskini semestr ərzində proqnozlaşdırmaq son dərəcə əhəmiyyətli bir vəzifəyə çevrilmişdir [1].

"Tədris Analitikası" (Learning Analytics) və "Təhsil Verilənlərinin Çıxarılması " (EDM-Educational Data Mining) sahələrinin sürətlə inkişafı bu problemi həll etmək üçün yeni üfüqlər açmışdır. Müasir maşın öyrənməsi alqoritmləri Decision Tree modelindən dərin neyron şəbəkələrinə qədər tələbə davranışını, akademik tarixçəni və sosial-iqtisadi göstəriciləri birləşdirərək erkən xəbərdarlıq sistemləri (Early Warning Systems) qura bilir [2].

Tədqiqatın əsas hədəfi həmin sahəyə öz töhfəsini vermək məqsədi ilə 76.518 tələbənin demoqrafik, akademik və sosial-iqtisadi məlumatlarını özündə birləşdirən açıq verilənlər bazasından istifadə etməklə tələbələri üç kateqoriyaya -"Məzun", "Qeydiyyatda" və "Kəsilmiş" ayıran çoxsiniflı klassifikasiya modeli qurmaq, eləcə də klasterləşdirmə vasitəsilə gizli tələbə arketiplərini aşkar etməkdir.

ƏDƏBİYYAT İCMALI

Tələbə müvəffəqiyyətinin proqnozlaşdırılması sahəsindəki ilk araşdırmalar daha çox keçmiş akademik göstəricilərə, orta bal (GPA) və qəbul imtahanı nəticələrinə əsaslanırdı.Lau (2003) apardığı tədqiqatda GPA-nın tələbə kəsilməsini proqnozlaşdırmaqda zəif, lakin əhəmiyyətli bir prediktor olduğunu müəyyən etmişdir [3].Lakin bu yanaşma "post-faktum" xarakter daşıdığından, praktiki müdaxilə üçün kifayət qədər vaxt saxlamırdı.

Sonrakı dövrdə Öyrənmə İdarəetmə Sistemlərinin (LMS - Learning Management Systems) geniş yayılması yeni tədqiqat imkanları yaratdı. Romero və Ventura (2010) sistematik ədəbiyyat icmalında LMS-dən alınan rəqəmsal izlərin - giriş tezliyi, resurslarla qarşılıqlı əlaqə, forum aktivliyi - akademik nəticənin

mühüm proqnozlaşdırıcıları olduğunu ortaya qoymuşdur [4]. Bu tapıntılar sonrakı on ildə aparılan onlarla tədqiqata metodoloji zəmin hazırladı.

Ansambl öyrənmə metodlarının meydana gəlməsi sahədə inqilabi dəyişikliyə yol açdı. Hussain (2018) Random Forest alqoritmini tələbə performansı proqnozlaşdırılmasında tətbiq edərək 85%-dən yuxarı dəqiqlik əldə etmişdir [5]. Paralel olaraq, XGBoost-un Kaggle müsabiqələrindəki uğuru bu alqoritmi strukturlaşdırılmış (tabular) verilənlər üzərindəki standart Benchmark-a çevirdi.

Son illərin tədqiqatları sosial-iqtisadi amillərin rolunu da ön plana çəkmişdir. Berens (2019) Almaniya universitetlərindəki 4000-dən çox tələbəni araşdıraraq maliyyə çətinliyinin -xüsusən borcluluğun - akademik kəsilmənin ən güclü prediktoru olduğunu sübut etmişdir [6]. Bu tapıntı sosial fərqliliyin proqnozlaşdırma modelinə inteqrasiyasının vacibliyini bir daha vurğulamışdır. Cinsiyyət amili üzrə aparılan araşdırmalar da maraqlı nəticələr vermişdir.Belə ki, qadın tələbələrin ümumiyyətlə daha yüksək uğur nisbəti göstərdiyi müxtəlif ölkələrdə qeydə alınmışdır [7].

VERİLƏNLƏR VƏ METODOLOGİYA

E. Verilənlər Bazası

Tədqiqatda Portuqaliyada aparılan SATDAP layihəsi çərçivəsində POCI-05-5762-FSE-000191 qrant dəstəyi ilə toplanan akademik verilənlər bazasından istifadə edilmişdir. Verilənlər bazası 76.518 tələbəni əhatə edir və üç əsas məlumat kateqoriyasından ibarətdir:

- Demoqrafik məlumatlar: yaş, cins, ailə vəziyyəti, milliyyət;
- Sosial-iqtisadi göstəricilər: valideynlərin təhsil səviyyəsi, təqaüd statusu, borc yükü, haqların ödənilməsi;
- Akademik göstəricilər: qəbul balı, birinci və ikinci semestr kredit vahidləri, müvəffəqiyyət nisbəti.

Hədəf dəyişən (target) üç sinifdir: "Dropout" (kəsilmiş) - 33,2%, "Graduate" (məzun) - 49,8%, "Enrolled" (hələ qeydiyyatda olan) - 17,0%.

F. Məlumatların Ön Emalı

Ön emal mərhələsində ilk olaraq ümumi verilənlər bazası tədqiq edilmişdir. Boş dəyər (missing value) müşahidə edilməmişdir. Korrelyasiya matrisinə əsasən yüksək çoxkollinearlik göstərən dəyişənlər : milliyyət, xarici tələbə statusu, işsizlik dərəcəsi, inflyasiya dərəcəsi və ÜDM modeldən xaric edilmişdir. Birinci və ikinci semestr göstəriciləri birləşdirilərək aşağıdakı əlavə xüsusiyyətlər (engineered features) yaradılmışdır:

- Total_Approved - iki semestr üzrə cəmi qəbul edilmiş kredit vahidləri;
- Total_Enrolled - iki semestr üzrə cəmi qeydiyyata alınan kredit vahidləri;
- Average_Grade - iki semestrin orta qiymət göstəricisi;
- Success_Rate - qəbul edilmiş kreditin qeydiyyata alınan kreditə nisbəti (uğur nisbəti).

G. Klasterləşdirmə: K-Means

Tələbə arketiplərini aşkar etmək üçün K-Means klasterləşdirmə alqoritmi tətbiq edilmişdir. Giriş xüsusiyyətləri kimi "Qeydiyyat yaşı", "Success_Rate", "Qəbul balı" və "Təqaüd statusu" seçilmiş, StandardScaler ilə normallaşdırılmışdır. Optimal klaster sayını müəyyən etmək üçün Elbow metodu istifadə edilmiş və k=4 optimal həll kimi təsdiqlənmişdir. Nəticədə aşağıdakı 4 tələbə seqmenti müəyyən edilmişdir:

Cədvəl 1. Tələbə seqmentinin təsviri

Klaster	Xüsusiyyəti	Təsviri	Dominant nəticə
0	Sosial-iqtisadi zəiflər	Təqaüdsüz, borclu tələbələr; aşağı uğur nisbəti	Dropout (kəsilmiş)
1	Dəstəklənən qrup	Təqaüdlü, aktiv tələbələr; yüksək uğur nisbəti	Graduate (məzun)
2	Orta qrup	Orta yaş, orta akademik sabitlik	Enrolled/Graduate
3	Qeyri-ənənəvi tələbələr	Yüksək yaş, geniş dağılım, yüksək risk	Dropout (kəsilmiş)

H. Klassifikasiya Modelləri

Klaster etiketləri sintetik xüsusiyyət kimi modelə əlavə edildikdən sonra verilənlər 80% təlim və 20% test hissəsinə bölünmüşdür. Aşağıdakı klassifikasiya alqoritmləri müqayisəli qiymətləndirilmişdir:

- Bernoulli Naive Bayes - sürətli, lakin xətti əsaslı model;
- Logistic Regression - çoxsiniflı xətti klassifikasiya (max_iter=1000);
- Decision Tree - ağac əsaslı, izah oluna bilən model;
- Random Forest - çoxlu ağacdan ibarət ansambl model;
- Gradient Boosting - ardıcıl gücləndirilmiş ansambl;
- K-Nearest Neighbors - məsafəyə əsaslanan klassifikasiya;
- XGBoostoptimizasiya-edilmiş gradient gücləndirilməsi (n_estimators=500, learning_rate=0.05, max_depth=6).

Bütün modellər üçün StandardScaler ilə xüsusiyyətlər normallaşdırılmışdır. Qiymətləndirmə meyarı kimi Accuracy (dəqiqlik), Precision (həssaslıq), Recall (geri çağırma) və F1-xal (çəkili ortalama) istifadə edilmişdir.

NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

KLASSIFIKASIYA MODELLƏRININ MÜQAYISƏSI

Cədvəl 2-də bütün modellərin test verilənləri üzərindəki performansı göstərilmişdir:

Cədvəl 2. Klassifikasiya modellərinin müqayisəli performansı

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-xal
XGBoost	**82,89%**	**83%**	**83%**	**0,79**
Gradient Boosting	82,31%	82%	82%	0,78
Random Forest	82,07%	82%	82%	0,78
Logistic Regression	81,00%	80%	81%	0,77
K-Nearest Neighbors	79,50%	79%	80%	0,76
Decision Tree	78,30%	78%	78%	0,75
Bernoulli NB	77,00%	76%	77%	0,73

Optimal Model: XGBoost Analizi

XGBoost modeli 82,89% ümumi dəqiqlik və 0,79 Makro F1-xal ilə ən yüksək nəticə nümayiş etdirdi. Sinif üzrə ətraflı hesabat aşağıdakı kimidir:

- Dropout sinfi: Precision=0,89, Recall=0,83, F1=0,86 - model kəsilmiş tələbələri yüksək etibarlılıqla aşkar edir;
- Graduate sinfi: Precision=0,85, Recall=0,92, F1=0,89 - məzun tələbələr üçün ən yüksək F1 göstəricisi;
- Enrolled sinfi: Precision=0,65, Recall=0,60, F1=0,62 - ən çətin sinif; hələ qeydiyyatda olan tələbələr məzunlara bənzər xüsusiyyətlər daşıyır.

Konfuziya matrisi analizi göstərdi ki, ən böyük xəta "Enrolled" sinfini "Graduate" kimi proqnozlaşdırmaqdır (827 tələbə). Bu kəşif məntiqi baxımdan izah edilə bilər: hələ qeydiyyatda olan tələbə üçün model, onun akademik profilinin məzuna bənzəmesine görə yanlış qərar qəbul edir. Buna müqabil, "Graduate" ilə "Dropout" arasındakı xəta sayı cəmi 111 nəfərdir , bu da modelin ən kritik fərqlilik xəttini uğurla öyrəndiyini sübut edir.

I. Xüsusiyyətin Əhəmiyyəti (Feature Importance)

XGBoost modelinin xüsusiyyət əhəmiyyət analizi aşağıdakı prioritet sırasını müəyyən etdi:

Sıra	Xüsusiyyət	Nisbi təsir
1	Təqaüd statusu (Scholarship holder)	95% (ən güclü müsbət prediktor)
2	Borc yükü (Debtor)	92% (ən güclü mənfi prediktor)
3	K-Means klaster etiketi	88% (sintetik xüsusiyyət)

4	Cins (Gender)	85%
5	Haqların ödənilməsi (Tuition fees up to date)	83%
6	Uğur nisbəti (Success_Rate)	80%
7	Gündüz/gecə davamiyyəti	74%

Cədvəl 3. Modelin xüsusiyyət əhəmiyyəti analizi.

Bu nəticə son dərəcə vacib bir elmi tapıntını üzə çıxarır: akademik uğur yalnız qiymətlərə deyil, maliyyə vəziyyətinə bağlıdır. Təqaüdlü tələbələrin uğur nisbəti 80%-i keçərkən, borclu tələbələrdə kəsilmə riski kəskin artır. Bu fakt universitetlərin maliyyə yardım proqramlarının akademik dəstək proqramları ilə birgə qurulmasının vacibliyini sübut edir.

Gündüz/Gecə Davamiyyəti Analizi

Tədqiqat gündüz davamiyyəti olan tələbələrin uğur nisbətinin (~70%) gecə qrupuna (~50%) nisbətən əhəmiyyətli dərəcədə yüksək olduğunu müşahidə etmişdir. Gecə tələbələrinin əksəriyyəti həm işləyib, həm oxuduğundan vaxt idarəçiliyi çətinlikləri ilə üzləşir. Bu fakt proqnozlaşdırma modelinin davamiyyət növünü əhəmiyyətli bir prediktor kimi nəzərə almasının vacibliyini göstərir.

Cins Fərqliliyinin Analizi

Qadın tələbələr (cins = 0) kişi tələbələrə (cins = 1) nisbətən xeyli daha yüksək Total_Approved ortalaması nümayiş etdirib, median göstərici kişi tələbələrin göstəricisindən nisbətən üstündür. Bu fərqlilik qlobalda da müşahidə olunan bir tendensiya ilə uyğun gəlir: qadınların orta məktəsdən universitetə keçid periodunda daha yüksək akademik intizam göstərdiyi bilinir. Bununla belə, bu amil proqnozlaşdırma modelinin ədalətliliyi (fairness) baxımından da diqqət tələb edir, modelin cins əsasında qərəzli proqnoz verməməsi üçün ədalətli maşın öyrənməsi (fairness-aware ML) metodlarının tətbiqi tövsiyə olunur.

NƏTİCƏ

Bu tədqiqat 76.518 tələbənin verisi üzərindəki kapsamlı təhlil nəticəsində bir sıra mühüm elmi nəticələr əldə etmişdir. Birincisi, XGBoost modeli 82,89% dəqiqlik göstəricisi ilə çempion model kimi seçilmiş, ansambl metodlarının klassik modellərdən (Naïve Bayes, Logistic Regression) əhəmiyyətli dərəcədə üstün olduğunu sübut etmişdir.

İkincisi, K-Means klasterləşdirməsinin sintetik xüsusiyyət kimi inteqrasiyası modelin xüsusiyyət əhəmiyyəti sırasında üçüncü yeri tutmuş, bu da klasterləşdirmənin klassifikasiya dəqiqliyini artırdığını göstərmişdir.

Üçüncüsü, ən böyük kəşf sosial-iqtisadi amillərin , xüsusən təqaüd statusu, borcluluq və haqların ödənilmə vəziyyəti akademik qiymətlərdən daha güclü prediktorlar olduğudur. Bu tapıntı universitetlərin preventiv müdaxilə strategiyalarını yalnız akademik dəstəyə deyil, maliyyə yardımına da yönəltməsinin vacibliyini ortaya qoyur.

Gələcək tədqiqatlar üçün bir sıra perspektivlər müəyyən edilmişdir: Explainable AI (SHAP/LIME) metodlarının inteqrasiyası ilə hər bir tələbə üçün fərdi risk izahı; NLP vasitəsilə tələbənin LMS-dəki yazılı mesajlarından emosional ton analizi; real vaxt (real-time) izləmə sisteminin qurulması; həmçinin müxtəlif ölkə universitetlərindən alınan verilənlər üzərindəki Transfer Learning tətbiqləri.

Bu tədqiqatın nəticələri ali məktəblərə "riskli" tələbələri semestr başlanmazdan aşkar etmək üçün effektiv, etik və data əsaslı bir qərar dəstəyi sistemi qurmaq üçün möhkəm metodoloji zəmin təqdim edir.

VII. İSTİFADƏ OLUNAN ƏDƏBİYYAT

[1] UNESCO Institute for Statistics, "Global Education Monitoring Report," Paris: UNESCO Publishing, 2023.

[2] G. Siemens and P. Long, "Penetrating the Fog: Analytics in Learning and Education," EDUCAUSE Review, vol. 46, no. 5, pp. 30-40, 2011.

[3] P. A. Lau, "Why do students drop out from university? An investigation of factors leading to non-completion," Journal of Higher Education Policy and Management, vol. 25, no. 2, pp. 137-148, 2003.

[4] C. Romero and S. Ventura, "Educational Data Mining: A Review of the State of the Art," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C, vol. 40, no. 6, pp. 601-618, 2010.

[5] S. Hussain, N. A. Dahan, F. M. Ba-Alwi, and N. Ribata, "Educational Data Mining and Analysis of Students' Academic Performance Using WEKA," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 9, no. 2, pp. 447-459, 2018.

[6] S. Berens, K. Schneider, S. Gortz, S. Oster, and J. Burghoff, "Early Detection of Students at Risk — Predicting Student Dropouts," Administrative Science Quarterly, 2019.
[7] M. Delen, "A comparative analysis of machine learning techniques for student retention management," Decision Support Systems, vol. 49, no. 4, pp. 498-506, 2010.
[8] T. Chen and C. Guestrin, "XGBoost: A Scalable Tree Boosting System," in Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 785-794, 2016.
[9] M. Xenos, "Predicting and Assessing Computer Engineering Students' Performance in Python Programming," Journal of Research and Practice in Information Technology, 2004.
[10] R. S. J. Baker and K. Yacef, "The State of Educational Data Mining in 2009: A Review and Future Visions," Journal of Educational Data Mining, vol. 1, no. 1, pp. 3-17, 2009.

RESEARCH AND ANALYSIS OF KEY INDICATORS OF THE BUSINESS MODEL IN THE DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS

Tofig Alasgarov
Baku Engineering University
Faculty of Information Technologies
telesgerov@std.beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract

One of the most persistent challenges in contemporary information systems development is the gap between strategic business modelling and technical system design. Organisations frequently invest in sophisticated information systems that are built with technical competence but without systematic grounding in the quantitative characteristics of the business models they are meant to support. This paper introduces the Business Model Indicator–Information System Design (BMI-ISD) Framework, a conceptual tool designed to bridge this gap by establishing structured relationships between key business model indicators and core information systems design decisions. Drawing on business model theory, key performance indicator literature, enterprise architecture, and requirements engineering, the framework classifies business model indicators into four categories — Revenue Model, Customer Domain, Operational, and Strategic Resource and Capability — and maps these to four information systems design dimensions: architecture pattern selection, data architecture and governance, integration and interoperability requirements, and functional and user experience requirements. The framework is demonstrated through its application to three organisational case studies representing distinct business model configurations: a digital marketplace, a FinTech lending platform, and a healthcare information provider. The results confirm that specific indicator profiles systematically generate distinct architecture recommendations, and that digital capability maturity functions as a decisive architectural constraint across all cases. The paper contributes a practically applicable and theoretically grounded methodology for improving the strategic alignment of information systems design with business model logic.

Keywords: business model indicators; information systems design; enterprise architecture; strategic alignment; key performance indicators; digital transformation; Business Model Canvas; data architecture

1. INTRODUCTION

The relationship between an organisation's business model and its information systems has never been more consequential than it is today. As organisations become increasingly digital in their operations, the conceptual distance between what a business does and how its systems are built is shrinking — and where that distance remains, it tends to be costly. Despite this, there is a surprisingly wide gap in the academic and practitioner literature when it comes to translating the specific characteristics of a business model, particularly its measurable performance indicators, into concrete information systems design decisions.

Business model frameworks have matured considerably over the past two decades. The Business Model Canvas developed by Osterwalder and Pigneur (2010) has become the standard language for describing how organisations create, deliver, and capture value, and it is now widely used in both academic research and industry practice. Performance measurement frameworks such as the Balanced Scorecard (Kaplan & Norton, 1996) have established a rigorous tradition of quantifying business model health through key performance indicators (KPIs). Enterprise architecture frameworks such as TOGAF (The Open Group, 2018) provide structured methods for designing information systems that are intended to align with business needs. Yet despite the existence of all three of these traditions, their integration in practice remains partial and largely informal. Enterprise architects know they should be guided by business strategy, but the mechanism by which quantitative business model characteristics are supposed to influence design decisions is underspecified.

This paper presents the BMI-ISD Framework as a response to that underspecification. The framework is designed to give systems architects and business analysts a structured, systematic way of reading the indicator profile of a business model and deriving from it a coherent set of information systems design requirements. It is positioned as a complement to existing methods — it does not replace the Business Model Canvas, the Balanced Scorecard, or TOGAF, but rather provides the analytical bridge among them that currently has to be improvised.

The paper proceeds as follows. Section 2 reviews the relevant literature on business model frameworks, performance indicators, and IS design alignment. Section 3 presents the BMI-ISD Framework in full, including the indicator classification, the selection criteria, and the mapping matrix. Section 4 demonstrates the framework's application through three contrasting case studies. Section 5 discusses the findings and their implications for practice. Section 6 concludes with a summary of contributions and directions for future research.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Business Models: From Description to Analysis

The concept of the business model entered the management literature in a serious way during the late 1990s, largely driven by the emergence of internet-based firms whose economic logic was genuinely novel and hard to describe using existing strategic frameworks. Timmers (1998) was among the first to offer a systematic definition, describing the business model as an architecture for product, service, and information flows, together with descriptions of the roles, benefits, and revenue sources for each actor in the system. Chesbrough and Rosenbloom (2002) provided a more analytical treatment, identifying six functions that any business model must perform, including value proposition articulation, target market identification, value chain definition, and competitive strategy formulation.

The most enduring contribution to the field is Osterwalder and Pigneur's (2010) Business Model Canvas, which organises the business model into nine building blocks across the domains of value creation, value delivery, value capture, and the infrastructure needed to support them. The canvas has been adopted globally as both a design tool and an analytical framework, and it has generated a large and growing literature of case applications and extensions. Zott, Amit, and Massa (2011) reviewed this literature and identified three main theoretical streams — business model as activity system, as architecture, and as cognitive schema — each with distinct implications for how business models should be studied and managed.

Despite the sophistication of these frameworks, a significant limitation persists: they describe what a business model is, but they provide limited guidance on how the characteristics of a business model should influence the design of the information systems that execute it. This limitation is not unique to the Canvas — it is a general feature of the business model literature, which tends to treat information systems as background infrastructure rather than as first-order design problems that are shaped by business model logic.

2.2 Key Performance Indicators and Business Model Health

The Balanced Scorecard (Kaplan & Norton, 1996) remains the most comprehensive framework for translating business strategy into quantitative performance measures. Its four perspectives — financial, customer, internal process, and learning and growth — provide a structured coverage of the business model that maps reasonably well onto the component domains of the canvas. The learning and growth perspective is particularly relevant to IS design because it explicitly addresses the informational infrastructure and technology capabilities that underpin organisational performance.

Parmenter (2015) makes a useful distinction among key result indicators, performance indicators, and true key performance indicators — reserving the last category for measures that are most directly tied to critical success factors and that have the greatest individual leverage over organisational outcomes. For IS design purposes, this distinction matters because not all indicators carry equal weight: design decisions should be most strongly influenced by those measures whose deterioration would most directly threaten the viability of the business model.

In digital business contexts, a number of more specific indicator frameworks have emerged. Maurya (2012) adapted the Business Model Canvas for startup contexts with the Lean Canvas, explicitly including a 'key metrics' block that forces entrepreneurs to identify the quantitative measures most directly connected to their value creation logic. Osterwalder et al. (2014) extended the framework with the Value Proposition Designer, which includes detailed attention to customer job metrics and value map measures. These developments reflect a growing recognition that business model frameworks need to be more quantitatively grounded — a recognition that motivates the present research.

2.3 Business-IT Alignment and IS Design

The strategic alignment between business strategy and information technology has been a central concern of IS research since Henderson and Venkatraman's (1993) seminal Strategic Alignment Model, which demonstrated that organisations with closer alignment between business and IT strategy consistently outperform those with lower alignment. Subsequent research has confirmed this finding across industries and firm sizes, though the causal mechanisms and the role of specific design decisions in producing alignment effects remain areas of active investigation.

Ross, Weill, and Robertson (2006) introduced the operating model concept as a mediating construct between business strategy and enterprise architecture, demonstrating that the degree of process standardisation and integration required by a company's strategy systematically determines the appropriate enterprise architecture pattern. This is one of the closest existing analogues to the BMI-ISD Framework, but it operates at a higher level of abstraction — characterising overall architecture styles rather than deriving specific design decisions from specific indicator values.

Enterprise architecture frameworks, particularly TOGAF, provide structured development methods that begin with business architecture before proceeding to data, application, and technology architectures. In theory this sequencing should ensure business-IS alignment. In practice, however, the business architecture phase tends to produce qualitative outputs — capability maps, process models, motivation statements — that are insufficiently precise to determine specific technical design decisions. The gap identified by Buckl et al. (2009) and others — between the richness of business architecture description and the specificity needed for technical design — is precisely the gap the BMI-ISD Framework is designed to address.

3. THE BMI-ISD FRAMEWORK

3.1 Overview and Theoretical Grounding

The Business Model Indicator–Information System Design (BMI-ISD) Framework is a conceptual tool that establishes structured relationships between quantitative business model indicators and core information systems design decisions. It is grounded in the design science research tradition (Hevner et al., 2004), which treats rigorously constructed conceptual frameworks as legitimate and valuable research artefacts. The framework draws on four theoretical foundations: Osterwalder and Pigneur's (2010) component model of business models, Kaplan and Norton's (1996) performance measurement logic, TOGAF's architecture development method, and Evans' (2003) domain-driven design principles.

The framework operates through a five-step process: (1) documenting the current and planned future state of the business model using the Business Model Canvas; (2) deriving an indicator profile by identifying and evaluating relevant business model indicators across four categories; (3) translating each primary indicator into design implication statements for the relevant IS design dimension; (4) synthesising these implications into a coherent set of architectural principles and non-functional requirements; and (5) validating the synthesis by tracing every design principle back to the indicator or indicators that motivated it.

3.2 Indicator Classification

The framework classifies business model indicators into four primary categories, each generating a distinct type of IS design requirement. The first category is Revenue Model Indicators (RMI), which characterise the value capture mechanism. Key dimensions include revenue stream count, revenue recurrence ratio, revenue diversification index, and unit economics trajectory. Revenue model characteristics most

powerfully drive requirements for billing architecture, pricing engine design, and financial reporting infrastructure.

The second category is Customer Domain Indicators (CDI), which characterise the customer base and the organisation's relationships with it. Key dimensions include customer segment complexity, channel diversity, customer lifecycle complexity, and churn risk concentration. These indicators most powerfully drive requirements for customer data management, personalisation capabilities, multi-channel integration, and lifecycle automation.

The third category is Operational Indicators (OI), which characterise the efficiency and scale of internal operations. Key dimensions include operational volume and variability (OVV), automation maturity index (AMI), partner dependency ratio (PDR), and data processing intensity (DPI). Operational indicators most powerfully drive requirements for system scalability, process automation, and partner integration architecture.

The fourth category is Strategic Resource and Capability Indicators (SRCI), which characterise the data, technology, and knowledge assets on which competitive position depends. Key dimensions include data asset utilisation intensity (DAUI), intellectual property concentration (IPC), and digital capability maturity (DCM). DCM functions as a modifier across all four IS design dimensions, constraining or enabling the ambition of architecture choices based on the organisation's current operational capability. The full indicator classification is presented in Table 1.

Table 1. BMI-ISD Indicator Classification and IS Design Dimension Mapping

Category	Key Indicator Dimensions	Primary IS Design Dimension Influenced
Revenue Model (RMI)	Stream Count; Recurrence Ratio; Diversification Index; Unit Economics Trajectory	Architecture Pattern; Financial Data Architecture
Customer Domain (CDI)	Segment Complexity; Channel Diversity; Lifecycle Complexity; Churn Risk Concentration	Data Architecture; Integration; Functional & UX Requirements
Operational (OI)	Volume & Variability; Automation Maturity; Partner Dependency; Processing Intensity	Architecture Pattern (scalability); Integration; Process Automation
Strategic Resource (SRCI)	Data Asset Utilisation; IP Concentration; Digital Capability Maturity (modifier)	Data Architecture & Governance; Security Architecture; Architecture Ambition

3.3 Selection Criteria

Not all indicators carry equal analytical weight for IS design. The framework applies five selection criteria to determine which indicators should function as primary design inputs. Strategic centrality asks whether the indicator measures a dimension whose deterioration would threaten the viability of the business model. Systems sensitivity asks whether changes in the indicator's value produce predictable and significant changes in IS requirements. Measurability and availability asks whether the indicator can be operationalised within the organisation's current or planned data environment. Temporal relevance distinguishes between lagging indicators (reflecting current performance) and leading indicators (reflecting future trajectory), both of which are relevant for design. Comparative leverage identifies which indicators should prevail when their design implications conflict. Indicators scoring medium or high on strategic centrality and systems sensitivity are carried forward as primary design inputs.

3.4 Mapping Logic

The mapping from indicator categories to IS design dimensions follows theoretically grounded logic. High OVV and DPI values drive architecture pattern decisions toward distributed, event-driven structures capable of independent scaling and low-latency data processing. High DAUI and CDI values drive data architecture decisions toward enterprise-grade data management infrastructure including customer data platforms and analytics capabilities. High PDR values drive integration decisions toward API-first

architectures with managed gateways and partner developer experience capabilities. High CSC and CLC values drive functional and UX requirements toward personalisation, lifecycle management, and multi-channel delivery capabilities. The DCM modifier operates across all four dimensions: an organisation with low DCM should adopt simpler, more operationally manageable architectures even when indicator values might theoretically justify more sophisticated approaches.

4. FRAMEWORK APPLICATION: THREE COMPARATIVE CASES

4.1 Case 1: RetailNova (Digital Marketplace)

RetailNova is a mid-sized digital marketplace connecting 250,000 active consumers with 3,500 independent vendors across multiple product categories in three regional markets. The organisation is undergoing a strategic transformation that will add a vendor analytics SaaS service, a tiered subscription model for vendors, and a consumer loyalty programme to its existing revenue streams of transaction commissions, vendor subscriptions, and advertising. This transformation significantly changes the business model's indicator profile, most notably increasing revenue stream count from three to five, shifting the revenue recurrence ratio from 40% to a target of 55%, and substantially raising the data asset utilisation intensity.

The indicator derivation step identifies fifteen indicators across all four categories as primary design inputs. The most consequential for architecture decisions are OVV (high, rising — driven by growing transaction volumes and strong seasonal variability), DAUI (low-to-medium, strongly rising — driven by the planned analytics service), and CDI channel diversity (medium, rising — driven by the planned addition of social commerce and push notification channels). The DCM modifier is evaluated at Level 2-3, which constrains architecture ambition.

The architecture synthesis produces a recommendation for a modular, services-based architecture with an event-driven integration backbone — a 'modular monolith' decomposition in the near term, phased toward independent service extraction as DCM increases. The data architecture recommendation is a data lakehouse with federated governance and a customer data platform with real-time profile enrichment. The integration architecture requires a managed API gateway and an event streaming platform. The functional recommendations include a real-time recommendation engine, a self-service vendor analytics dashboard, and a loyalty programme engine. These recommendations are all directly traceable to specific indicator values and trajectories in the profile.

4.2 Case 2: LendStream (FinTech Lending Platform)

LendStream operates a digital consumer lending platform offering instant-decision personal loans and instalment credit, generating revenue through net interest margin on its loan book supplemented by origination fees. Its business model is algorithmically intensive — the core operational process of credit underwriting is executed by a proprietary machine learning model that must produce a credit decision within two to three seconds of application, drawing on real-time data from credit bureaus, Open Banking providers, and fraud detection services.

The LendStream indicator profile differs sharply from RetailNova's. DPI is evaluated as high and stable — the real-time credit decision requirement is a current operational necessity, not a planned future capability. DAUI is high, driven by the central role of the proprietary credit scoring model in the competitive positioning. IPC is high, reflecting the model's status as protectable intellectual property. Critically, DCM is evaluated at Level 4 — significantly higher than RetailNova — removing the capability constraint that moderated the previous case's architecture ambition.

The resulting architecture synthesis recommends a full microservices decomposition from the outset, with a real-time event-driven credit decisioning pipeline as the performance-critical core. The data architecture recommendation centres on an ML feature store, model registry, and MLOps pipeline supporting continuous model retraining and deployment, with an emphasis on model explainability capabilities to meet regulatory requirements for adverse action notices. The high PDR indicator drives a requirement for resilient, circuit-breaker-protected integrations with external data providers. These recommendations are qualitatively different from RetailNova's in ways that are directly explained by the different indicator profiles — most notably the high DCM enabling full microservices, and the high DPI and IPC driving ML-centric data architecture.

4.3 Case 3: MedInsight (Healthcare Information Provider)

MedInsight operates a digital health information platform delivering evidence-based clinical decision support content to healthcare professionals and institutions through institutional subscriptions, individual professional subscriptions, and content licensing to electronic health record vendors. Its business model is

knowledge-product-centric: the primary value asset is a curated database of peer-reviewed clinical content and proprietary clinical ontologies, and the dominant concern in IS design is content integrity and reliability rather than transaction scale or algorithmic performance.

The MedInsight indicator profile reflects this knowledge-product character. OVV is medium and stable — the platform serves a professional user base with predictable, working-hours-skewed usage patterns, not the high-volume, highly variable demands of a consumer marketplace or a real-time financial system. DPI is low. RRR is very high, above 90%, reflecting the predominantly subscription-based revenue model. IPC is high, driven by the editorial content and clinical ontologies. DCM is evaluated at Level 2 — significantly constraining architecture ambition.

The synthesis recommends a content-centric architecture that prioritises data consistency and content versioning over the distributed scalability features that dominated the previous two cases. A content knowledge graph, representing semantic relationships among clinical concepts, is recommended as the data architecture centrepiece to support the planned personalisation capability. EHR integration through SMART on FHIR APIs is identified as the highest-priority integration investment, driven by the strategic importance of delivering clinical decision support at the point of care without requiring clinicians to leave their workflow. The DCM constraint directs against ambitious distributed architectures, instead favouring a well-governed, operationally straightforward content delivery platform.

4.4 Cross-Case Comparison

The three cases together reveal several important patterns. First, the DCM modifier is decisive across all cases: it is the single most powerful determinant of whether a theoretically appropriate architecture is practically achievable. This finding underscores the importance of treating capability investment as a co-requisite for architectural ambition rather than as a separate IT development concern. Second, the dominant indicator category varies systematically with business model type: marketplace businesses are dominated by CDI and OI indicators, FinTech lending by SRCI and OI, and knowledge products by SRCI and RMI. Third, the PDR indicator drives substantially different integration architectures across cases — payment orchestration for the marketplace, resilient real-time credit data integration for FinTech, and workflow-embedded EHR integration for healthcare — suggesting that PDR should be supplemented with a partner integration type characterisation to generate sufficiently specific design guidance. Table 2 summarises the cross-case comparison.

Table 2. Cross-Case Comparison of Dominant Indicators and Architecture Outcomes

Dimension	RetailNova (Marketplace)	LendStream (FinTech)	MedInsight (Healthcare Info)
Dominant Indicator Category	CDI + OI	SRCI + OI	SRCI + RMI
Architecture Pattern	Modular monolith → microservices (phased)	Full microservices (real-time)	Content-centric CRUD with versioning
Data Architecture	Data lakehouse + CDP	ML feature store + MLOps	Knowledge graph + content versioning
Integration Priority	API gateway + event streaming	Resilient real-time data feeds	EHR SMART on FHIR APIs
DCM Constraint Effect	Strong — moderates ambition	None — enables full ambition	Very strong — limits to foundational
Key Design Risk	Transformation complexity	Regulatory & model governance	Content integrity & EHR adoption

5. DISCUSSION

5.1 The Framework's Practical Value

The most significant finding from the case applications is that the BMI-ISD Framework successfully generates structured, traceable, and strategically coherent design recommendations from a systematic analysis of business model indicators — and that it does so in ways that differ meaningfully from what

conventional requirements engineering or high-level architecture frameworks would produce on their own. The recommendation of a data mesh architecture for RetailNova, for example, is driven by the trajectory of the DAUI indicator — the planned analytics SaaS service — rather than by any current operational requirement. In a conventional requirements process, this future-state requirement would likely be deferred, and the data architecture designed today would not be equipped to support it. The framework's explicit attention to indicator trajectories ensures that planned business model evolution is built into the design, not retrofitted afterward.

The framework also surfaces capability gaps as design constraints in a way that conventional architecture methods do not. The DCM modifier is not a standard input to enterprise architecture development methods, but it is, in practice, the most important moderator of architecture ambition in all three cases studied. Making this constraint explicit and subjecting it to structured analysis — rather than leaving it to emerge as an implementation challenge after architectural commitments have been made — is a concrete practical benefit of the framework.

The communication value of the indicator profile should also be emphasised. In practice, one of the most persistent obstacles to business-IT alignment is the absence of a shared analytical language between business stakeholders who understand the business model and technical stakeholders who understand IS design. The BMI-ISD indicator profile is expressed in terms that are meaningful to both groups: business analysts can recognise and validate the business model dimensions being characterised, while systems architects can translate the indicator evaluations into design implications. This dual accessibility is a practical advantage in the collaborative design processes that real enterprise IS development requires.

5.2 Implications for Enterprise Architecture Practice

The findings suggest several concrete implications for enterprise architecture practice. Enterprise architects should incorporate structured indicator analysis as a standard component of the business architecture phase, rather than relying solely on qualitative capability maps and process models. Non-functional requirements specifications should explicitly address indicator trajectories, not only current-state performance characteristics, to ensure that architectures are designed for the anticipated future state of the business model. And capability maturity assessments should be formally integrated into architecture governance, so that decisions about architecture ambition are made with explicit awareness of the organisational capability required to operate the proposed architecture.

More broadly, the findings reinforce the case for a more quantitatively integrated model of enterprise architecture practice — one in which the enterprise architect functions not only as a technical design authority but as a strategic analyst who translates the measurable logic of the business model into the structural requirements of the IS. This is a demanding role, but frameworks such as BMI-ISD are designed to make it tractable.

5.3 Limitations

The framework has several important limitations that should be acknowledged. The case studies used to validate it are constructed scenarios rather than empirical studies of real organisations, which limits the evidence base for claims about its practical utility. The mapping from indicator profiles to design recommendations involves analytical judgement at multiple points, meaning that different analysts may reach somewhat different conclusions from the same indicator profile. The framework is static in its basic form — it produces a snapshot of design requirements rather than a mechanism for continuous monitoring as the indicator profile evolves. And the fifteen indicator dimensions, while theoretically comprehensive, may not adequately capture the full complexity of every business model configuration encountered in practice, particularly in sectors with distinctive regulatory or technological characteristics.

6. CONCLUSION

This paper has presented the BMI-ISD Framework as a systematic approach to translating business model indicators into information systems design decisions. The framework addresses a well-documented but underserved gap at the intersection of business model theory, performance measurement, and IS design methodology. Through its application to three contrasting organisational cases, the paper demonstrates that indicator profiles systematically generate distinct architecture recommendations and that digital capability maturity functions as a decisive architectural constraint across business model types.

The principal contribution of the paper is the framework itself — a replicable analytical artefact that gives systems architects and business analysts a structured, shared methodology for grounding IS design decisions in the quantitative logic of the business model they are designed to support. Secondary

contributions include the fifteen-dimension indicator classification, the five-item selection criteria, and the comparative evidence from the three case applications.

Future research should focus on empirical validation of the framework through real-world architecture engagements, the development of quantitative scoring instruments for the indicator dimensions, and the integration of the framework with enterprise architecture modelling tools such as ArchiMate. Research examining the organisational and contextual conditions under which indicator-aligned IS design is most effective would also significantly extend the practical utility of the framework.

In a competitive environment where business models evolve at an accelerating pace and where the strategic cost of IS misalignment is growing, the capacity to systematically read a business model's indicator profile and translate it into coherent IS design requirements is not merely a technical convenience — it is a strategic capability. The BMI-ISD Framework is offered as a contribution toward making that capability more accessible and more reliably exercised.

REFERENCES

Buckl, S., Ernst, A. M., Matthes, F., Ramacher, R., & Schweda, C. M. (2009). Using enterprise architecture management patterns to complement TOGAF. 13th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC '09), 34–41.

Casadesus-Masanell, R., & Ricart, J. E. (2010). From strategy to business models and onto tactics. Long Range Planning, 43(2–3), 195–215.

Chesbrough, H., & Rosenbloom, R. S. (2002). The role of the business model in capturing value from innovation. Industrial and Corporate Change, 11(3), 529–555.

Evans, E. (2003). Domain-driven design: Tackling complexity in the heart of software. Addison-Wesley.

Gordijn, J., & Akkermans, H. (2001). Designing and evaluating e-business models. IEEE Intelligent Systems, 16(4), 11–17.

Henderson, J. C., & Venkatraman, N. (1993). Strategic alignment: Leveraging information technology for transforming organizations. IBM Systems Journal, 32(1), 4–16.

Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. MIS Quarterly, 28(1), 75–105.

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). The balanced scorecard: Translating strategy into action. Harvard Business School Press.

Lankhorst, M. (2017). Enterprise architecture at work: Modelling, communication and analysis (4th ed.). Springer.

Luftman, J. (2004). Managing the information technology resource: Leadership in the information age. Pearson Prentice Hall.

Massa, L., Tucci, C. L., & Afuah, A. (2017). A critical assessment of business model research. Academy of Management Annals, 11(1), 73–104.

Maurya, A. (2012). Running lean: Iterate from plan A to a plan that works (2nd ed.). O'Reilly Media.

Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). Business model generation. John Wiley & Sons.

Osterwalder, A., Pigneur, Y., Bernarda, G., & Smith, A. (2014). Value proposition design. John Wiley & Sons.

Parmenter, D. (2015). Key performance indicators: Developing, implementing, and using winning KPIs (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. Journal of Management Information Systems, 24(3), 45–77.

Ross, J. W., Weill, P., & Robertson, D. C. (2006). Enterprise architecture as strategy. Harvard Business School Press.

Teece, D. J. (2010). Business models, business strategy and innovation. Long Range Planning, 43(2–3), 172–194.

The Open Group. (2018). TOGAF standard, version 9.2. The Open Group.

Timmers, P. (1998). Business models for electronic markets. Electronic Markets, 8(2), 3–8.

Zachman, J. A. (1987). A framework for information systems architecture. IBM Systems Journal, 26(3), 276–292.

Zott, C., Amit, R., & Massa, L. (2011). The business model: Recent developments and future research. Journal of Management, 37(4), 1019–1042.

SÜNİ İNTELLEKTİN BİZNES PERFORMANSINA TƏSİRİ: AZƏRBAYCAN MÜƏSSİSƏLƏRİNİN TƏCRÜBƏSİ

Hacıyeva Aydan
Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti (UNEC) UNEC Magistratura məktəbi
aydanhadjieva@gmail.com

Xülasə

Süni intellektin (Sİ) biznes fəaliyyətinə təsirinin öyrənilməsi müasir rəqəmsal transformasiya şəraitində xüsusi aktuallıq kəsb edir. Qlobal rəqabətin gücləndiyi və məlumat əsaslı idarəetmə modellərinin genişləndiyi bir dövrdə süni intellekt texnologiyaları müəssisələrin fəaliyyət effektivliyinin artırılmasında mühüm alətə çevrilmişdir. Bu baxımdan, Sİ yalnız texnoloji yenilik kimi deyil, həm də biznes strategiyalarının formalaşdırılmasında, qərarvermə proseslərinin təkmilləşdirilməsində və rəqabət üstünlüyünün əldə olunmasında əsas faktor kimi çıxış edir. Tədqiqatın əsas məqsədi süni intellekt texnologiyalarının biznes performansına təsir mexanizmlərini sistemli şəkildə təhlil etmək və bu təsiri Azərbaycan müəssisələrinin təcrübəsi əsasında qiymətləndirməkdən ibarətdir. Araşdırmada konseptual təhlil, müqayisəli yanaşma, statistik ümumiləşdirmə və praktik nümunələrin analizi metodlarından istifadə olunmuşdur. Tədqiqat nəticələri göstərir ki, süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi müəssisələrdə əməliyyat səmərəliliyinin artmasına, xərclərin optimallaşdırılmasına, qərarvermə prosesinin daha analitik əsaslara söykənməsinə və müştəri yönümlü xidmətlərin inkişafına əhəmiyyətli təsir göstərir. Eyni zamanda, bu texnologiyalar risklərin daha effektiv idarə olunmasına və innovasiya potensialının genişlənməsinə şərait yaradır. Bununla yanaşı, yüksək ilkin investisiya xərcləri, ixtisaslı kadr çatışmazlığı, texnoloji infrastrukturun yetərli səviyyədə inkişaf etməməsi və məlumat təhlükəsizliyi ilə bağlı problemlər əsas çağırışlar kimi qalmaqdadır. Bu amillər süni intellekt texnologiyalarının geniş tətbiqini müəyyən dərəcədə məhdudlaşdırır və müəssisələrdən daha kompleks yanaşma tələb edir. Nəticə etibarilə müəyyən edilmişdir ki, Azərbaycan müəssisələrində süni intellektin effektiv tətbiqi üçün rəqəmsal infrastrukturun inkişaf etdirilməsi, insan kapitalına investisiyaların artırılması, hüquqi və institusional bazanın təkmilləşdirilməsi, eləcə də dövlət və özəl sektor arasında əməkdaşlığın gücləndirilməsi əsas prioritet istiqamətlər kimi çıxış edir. Bu yanaşma ölkədə biznes performansının yüksəldilməsinə və qlobal rəqabət mühitində mövqenin gücləndirilməsinə əhəmiyyətli töhfə verə bilər.

Açar sözləri: *Süni intellekt (Sİ), biznes performansı, rəqəmsal transformasiya, qərarvermə, əməliyyat səmərəliliyi, Azərbaycan müəssisələri* **JEL kodları: O31, O33, M15, M21,, L25**

The Impact of Artificial Intelligence on the Strategic Development of Small States: Opportunities, Risks, and Strategic Approaches

Hajiyeva Aydan
Azerbaijan State University of Economics (UNEC)
UNEC Master's School
aydanhadjieva@gmail.com

Abstract

The study of the impact of artificial intelligence (AI) on business activities has gained particular relevance in the context of modern digital transformation. In an era characterized by intensified global competition and the expansion of data-driven management models, AI technologies have become an important tool for enhancing the operational efficiency of enterprises. In this regard, AI is not only a technological innovation but also a key factor in shaping business strategies, improving decision-making processes, and achieving competitive advantage. The main objective of the research is to systematically analyze the mechanisms through which artificial intelligence affects business performance and to evaluate these effects based on the experience of Azerbaijani enterprises. The study employs conceptual analysis, a comparative approach, statistical generalization, and the analysis of practical case examples as its primary research methods. The research findings indicate that the implementation of AI technologies significantly contributes to increased operational efficiency, cost optimization, improved analytical decision-making, and the development of customer-oriented services. At the same time, these technologies facilitate more effective risk management and enhance innovation potential. However, high initial investment costs, a shortage of qualified personnel, insufficient technological infrastructure, and data security concerns remain key challenges. These factors limit the widespread adoption of AI technologies and require enterprises to adopt more comprehensive and integrated approaches. In conclusion, it has been determined that the effective implementation of artificial

intelligence in Azerbaijani enterprises requires the development of digital infrastructure, increased investment in human capital, improvement of legal and institutional frameworks, and the strengthening of cooperation between the public and private sectors. This approach can significantly contribute to enhancing business performance and strengthening the country's position in the global competitive environment.

Keywords: *Artificial Intelligence (AI), business performance, digital transformation, decision-making, operational efficiency, Azerbaijani enterprises* **JEL codes: O31, O33, M15, M21, L25**

Giriş

Müasir dövrdə süni intellekt texnologiyalarının biznes fəaliyyətinə təsirinin öyrənilməsi həm nəzəri, həm də praktiki baxımdan xüsusi aktuallıq kəsb edir. Rəqəmsallaşmanın sürətlənməsi, məlumat əsaslı idarəetmə modellərinin genişlənməsi və rəqabət mühitinin daha da mürəkkəbləşməsi müəssisələri yeni texnoloji həllərə yönəltmişdir. Bu baxımdan, süni intellektin biznes sistemlərinə inteqrasiyası təkcə texniki yenilənmə deyil, həm də idarəetmə, performans və strateji inkişaf məsələləri ilə birbaşa bağlı olan mühüm istiqamət kimi çıxış edir. Mövzunun mahiyyəti süni intellekt texnologiyalarının müəssisələrin fəaliyyət mexanizmlərinə, qərarvermə proseslərinə, resurslardan istifadə səviyyəsinə və ümumilikdə biznes performansına təsirinin araşdırılmasından ibarətdir. Burada əsas diqqət süni intellektin yalnız avtomatlaşdırma vasitəsi kimi deyil, həm də müəssisənin strateji inkişafını dəstəkləyən, əməliyyat səmərəliliyini artıran və rəqabət üstünlüyü formalaşdıran alət kimi qiymətləndirilməsinə yönəlir. Mövzunun fərqləndirici xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, süni intellektin biznesə təsiri yalnız ümumi nəzəri çərçivədə deyil, eyni zamanda Azərbaycan müəssisələrinin təcrübəsi fonunda təhlil olunur. Bu, mövzunu daha konkret, tətbiqyönümlü və real iqtisadi mühitlə əlaqəli şəkildə araşdırmağa imkan verir. Eyni zamanda, süni intellektin biznes sistemlərində yaratdığı dəyişikliklərin həm performans göstəriciləri, həm də idarəetmə və strateji inkişaf aspektləri üzrə dəyərləndirilməsi tədqiqatın əhatə dairəsini genişləndirir. Bu yanaşma mövzunun həm iqtisadi, həm də siyasi aspektlər üzrə kompleks şəkildə öyrənilməsinə imkan yaradır. Çünki süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi bir tərəfdən müəssisələrin gəlirlilik, məhsuldarlıq və səmərəlilik səviyyəsinə təsir göstərirsə, digər tərəfdən rəqəmsal inkişaf siyasəti, innovasiya mühiti, texnoloji təhlükəsizlik və insan kapitalının formalaşdırılması kimi daha geniş məsələlərlə də əlaqələnir. Mövzunun elmi-praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, o, süni intellektin biznes performansına təsir mexanizmlərini sistemli şəkildə izah etməklə yanaşı, Azərbaycan müəssisələri üçün praktik nəticələrin və tətbiq imkanlarının müəyyənləşdirilməsinə də töhfə verir. Problemin qoyuluşu ondan ibarətdir ki, müasir biznes mühitində süni intellektin tətbiqi genişlənməsinə baxmayaraq, onun müəssisələrin real fəaliyyət nəticələrinə, idarəetmə modelinə və strateji inkişafına təsiri hər zaman eyni səviyyədə qiymətləndirilmir. Xüsusilə Azərbaycan şəraitində bu texnologiyanın tətbiq səviyyəsi, onun yaratdığı üstünlüklər, qarşıya çıxardığı məhdudiyyətlər və performansa faktiki təsiri ilə bağlı sistemli elmi yanaşmaya ehtiyac duyulur. Öyrənilmə səviyyəsinə görə, süni intellektin biznes sistemlərinə və performans göstəricilərinə təsiri xarici ədəbiyyatda kifayət qədər geniş araşdırılmışdır. Müxtəlif müəlliflər bu texnologiyanın qərarvermə, avtomatlaşdırma, müştəri münasibətləri və innovasiya potensialı baxımından əhəmiyyətini izah etmişlər. Lakin Azərbaycan müəssisələrinin təcrübəsi fonunda aparılmış tədqiqatlar daha məhdud xarakter daşıyır. Bu isə mövzunun yerli kontekstdə əlavə araşdırılmasını zəruri edir. Araşdırmanın məqsədi süni intellekt texnologiyalarının biznes performansına təsirini nəzəri və praktiki baxımdan təhlil etmək, bu təsirin əsas istiqamətlərini müəyyənləşdirmək və Azərbaycan müəssisələrinin təcrübəsi əsasında ümumiləşdirilmiş nəticələr ortaya qoymaqdan ibarətdir. Tədqiqatın vəzifələrinə süni intellektin biznes sistemlərində rolunun nəzəri baxımdan izah edilməsi, biznes performansının qiymətləndirilməsində əsas göstəricilərin müəyyən olunması, süni intellektin bu göstəricilərə təsir mexanizmlərinin təhlili, Azərbaycan müəssisələrində mövcud tətbiq nümunələrinin araşdırılması və əldə olunan nəticələr əsasında inkişaf perspektivlərinin dəyərləndirilməsi daxildir. Araşdırmada keyfiyyət və kəmiyyət metodlarının birgə istifadəsi məqsədəuyğun hesab edilmişdir. Keyfiyyət yanaşması vasitəsilə mövzunun nəzəri əsasları, süni intellektin biznesə təsir formaları və müəssisə davranışındakı dəyişikliklər izah olunur. Kəmiyyət yanaşması isə performans göstəricilərinin müqayisəli təhlili, statistik məlumatların şərhi və praktik nəticələrin daha əsaslandırılmış formada təqdim edilməsinə imkan yaradır. Tədqiqatın informasiya bazasını süni intellekt, rəqəmsal transformasiya və biznes performansı ilə bağlı elmi ədəbiyyatlar, beynəlxalq hesabatlar, analitik mənbələr, eləcə də Azərbaycan müəssisələrinin fəaliyyəti ilə bağlı açıq məlumatlar təşkil edir. Bununla yanaşı, mövzunun daha dolğun izahı üçün müxtəlif sektorlar üzrə praktiki nümunələrdən və ümumiləşdirilmiş müşahidələrdən istifadə olunur. Lakin bu sahədə araşdırma apararkən bəzi çətinliklər mövcuddur. Əsas

çətinliklər sırasında süni intellekt tətbiqləri ilə bağlı müəssisədaxili məlumatların tam açıq olmaması, bəzi şirkətlər üzrə konkret statistik göstəricilərin əldə edilməsinin məhdudluğu, eləcə də texnologiyanın tətbiq səviyyəsinin müəssisələr arasında fərqli olması göstərilə bilər. Tədqiqatın məhdudiyyətləri əsasən məlumat əlçatanlığı, yerli praktik nümunələrin sayının məhdudluğu və bəzi nəticələrin ümumiləşdirilmiş yanaşma əsasında təqdim olunması ilə bağlıdır. Bununla belə, mövcud materiallar mövzunun əsas istiqamətlərini təhlil etmək və obyektiv nəticələr əldə etmək üçün kifayət qədər əsas verir. Bu tədqiqatın elmi yeniliyi, süni intellektin biznes performansına təsirinin Azərbaycan müəssisələrinin təcrübəsi kontekstində sistemli şəkildə araşdırılmasında, nəzəri və praktiki yanaşmaların uzlaşdırılmasında, həmçinin performans göstəriciləri ilə strateji inkişaf məsələlərinin qarşılıqlı əlaqədə təhlil edilməsində ifadə olunur. Tədqiqat eyni zamanda süni intellektin yerli biznes mühitində tətbiq potensialını və onun yaratdığı imkanlarla məhdudiyyətləri kompleks şəkildə qiymətləndirməklə bu sahədə gələcək araşdırmalara və praktik qərarların qəbuluna töhfə verməyi hədəfləyir.

Süni intellektin biznes sistemlərində transformativ rolu: nəzəri yanaşma və konseptual çərçivə

Müasir iqtisadi mühitdə texnoloji inkişafın sürətlənməsi biznes fəaliyyətinin bütün istiqamətlərinə birbaşa təsir göstərir. Bu prosesin mərkəzində isə süni intellekt (Sİ) texnologiyaları dayanır. Əgər əvvəlki dövrlərdə texnologiyalar əsasən əməliyyat proseslərinin sadələşdirilməsi və avtomatlaşdırılması məqsədi daşıyırdısa, hazırda süni intellekt biznes sistemlərinin mahiyyətini dəyişdirən, onların strukturunu yenidən formalaşdıran transformativ amil kimi çıxış edir (Rajput R., 2025). Bu baxımdan süni intellekt artıq sadəcə texniki alət deyil, biznes strategiyalarının qurulmasında və həyata keçirilməsində əsas rol oynayan fundamental komponentə çevrilmişdir. Süni intellektin transformativ rolu ilk növbədə onun məlumat əsaslı qərarvermə imkanları ilə bağlıdır. Müasir biznes mühiti yüksək qeyri-müəyyənlik, rəqabətin intensivliyi və sürətli dəyişikliklərlə xarakterizə olunur. Bu şəraitdə düzgün və operativ qərarların qəbul edilməsi müəssisələrin uğuru üçün həlledici əhəmiyyət kəsb edir. Süni intellekt böyük həcmli məlumatları qısa müddətdə emal edərək, gizli qanunauyğunluqları aşkar etməyə və gələcək meylləri proqnozlaşdırmağa imkan verir. Bu isə menecerlərin qərarvermə prosesini daha obyektiv və əsaslandırılmış hala gətirir. Beləliklə, ənənəvi intuisiya və təcrübəyə əsaslanan yanaşmalar tədricən analitik və data əsaslı idarəetmə modelləri ilə əvəz olunur. Transformasiya prosesi yalnız qərarvermə ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda biznes proseslərinin strukturunda da köklü dəyişikliklərə səbəb olur. Süni intellekt texnologiyaları istehsal, logistika, marketinq və müştəri xidmətləri kimi sahələrdə geniş tətbiq olunaraq əməliyyatların optimallaşdırılmasına şərait yaradır. Məsələn, istehsal proseslərində Sİ əsaslı sistemlər avadanlıqların texniki vəziyyətini əvvəlcədən analiz edərək nasazlıqların qarşısını ala bilir. Logistika sahəsində marşrutların optimallaşdırılması, ehtiyatların idarə olunması və çatdırılma müddətinin azaldılması kimi məsələlər süni intellekt vasitəsilə daha effektiv şəkildə həll olunur (Bulusu L. və Abellera R., 2020). Marketinq sahəsində isə müştəri davranışlarının analizi fərdi təkliflərin hazırlanmasına və bazar seqmentasiyasının daha dəqiq aparılmasına imkan verir. Bu dəyişikliklər nəticəsində biznes fəaliyyətində həm səmərəlilik artır, həm də resurslardan daha rasional istifadə təmin olunur.

Süni intellektin biznes sistemlərində transformativ təsiri onun innovasiya potensialı ilə də sıx bağlıdır. Müasir dövrdə rəqabət üstünlüyü əldə etmək üçün müəssisələr yalnız mövcud resurslardan səmərəli istifadə etməklə kifayətlənmir, eyni zamanda yeni məhsul və xidmətlərin yaradılmasına da diqqət yetirirlər. Süni intellekt bu prosesdə mühüm rol oynayaraq innovativ biznes modellərinin formalaşmasına şərait yaradır. Məsələn, rəqəmsal platformalar, abunə əsaslı xidmətlər və fərdiləşdirilmiş məhsul təklifləri Sİ texnologiyalarının tətbiqi nəticəsində geniş yayılmışdır. Bu yanaşma müəssisələrə bazar tələblərinə daha çevik reaksiya vermək və müştəri məmnuniyyətini artırmaq imkanı yaradır.

Konseptual baxımdan süni intellektin biznes sistemlərinə təsirini izah edən bir neçə əsas yanaşma mövcuddur. Bunlardan biri "resurs əsaslı yanaşma"dır. Bu yanaşmaya görə, müəssisələrin rəqabət üstünlüyü onların malik olduğu resursların keyfiyyəti və istifadəsi ilə müəyyən olunur (Post H. V., 2025). Süni intellekt bu kontekstdə strateji resurs kimi qiymətləndirilir, çünki o, məlumatların emalı və analizi vasitəsilə digər resursların effektiv istifadəsini təmin edir. Digər yanaşma isə "dinamik qabiliyyətlər" nəzəriyyəsidir. Bu nəzəriyyə müəssisələrin dəyişən mühitə uyğunlaşmaq və yeni imkanları dəyərləndirmək qabiliyyətinə diqqət yetirir. Süni intellekt bu qabiliyyətlərin inkişafında mühüm rol oynayaraq müəssisələrin çevikliyini və adaptasiya imkanlarını artırır (Bertan S., 2025). Bununla yanaşı, süni intellektin tətbiqi biznes sistemlərində təşkilati dəyişiklikləri də zəruri edir.

Texnologiyanın effektiv istifadəsi yalnız texniki infrastrukturun mövcudluğu ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda insan resurslarının və idarəetmə yanaşmalarının uyğunlaşdırılmasını tələb edir. Müəssisələrdə Sİ əsaslı sistemlərin tətbiqi yeni bacarıqlara malik əməkdaşlara ehtiyac yaradır və işçi

qüvvəsinin strukturunda dəyişikliklərə səbəb olur. Bu proses bəzən müqavimətlə qarşılaşsa da, uzunmüddətli perspektivdə daha yüksək məhsuldarlıq və innovasiya potensialı ilə nəticələnir.

Süni intellektin biznes sistemlərində transformativ rolunu xarakterizə edən digər mühüm aspekt onun rəqabət mühitinə təsiridir. Sİ texnologiyalarından effektiv istifadə edən müəssisələr bazarda daha güclü mövqeyə malik olur və rəqiblərinə nisbətən üstünlük əldə edirlər. Bu isə bazarda yeni rəqabət qaydalarının formalaşmasına səbəb olur. Ənənəvi rəqabət amilləri ilə yanaşı, artıq texnoloji üstünlük və məlumat üzərində nəzarət də əsas rəqabət faktorlarına çevrilmişdir. Nəticə etibarilə, süni intellekt biznes sistemlərində yalnız əməliyyat səviyyəsində deyil, strateji səviyyədə də dərin dəyişikliklər yaradan transformativ texnologiya kimi çıxış edir. Onun tətbiqi müəssisələrin fəaliyyətini daha səmərəli, çevik və innovativ hala gətirir. Eyni zamanda, süni intellekt biznes mühitində yeni yanaşmaların və idarəetmə modellərinin formalaşmasına səbəb olaraq gələcək inkişafın əsas istiqamətlərini müəyyən edir. Bu baxımdan, müasir dövrdə süni intellekti nəzərə almadan biznes strategiyalarının hazırlanması və həyata keçirilməsi artıq mümkün hesab olunmur.

Rəqəmsal transformasiya şəraitində biznes performansının ölçülməsi və süni intellektin təsir mexanizmləri

Rəqəmsal texnologiyaların sürətlə inkişaf etdiyi və qlobal rəqabətin getdikcə intensivləşdiyi bir dövrdə biznes fəaliyyətinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi daha mürəkkəb xarakter almışdır. Müəssisələr yalnız maliyyə nəticələrinə əsaslanaraq deyil, eyni zamanda əməliyyat səmərəliliyi, innovasiya qabiliyyəti və müştəri yönümlülük kimi amilləri də nəzərə alaraq fəaliyyətlərini təhlil etməyə məcbur qalırlar (Almeida I., 2023). Bu kontekstdə süni intellekt texnologiyaları biznes performansının həm ölçülməsi, həm də artırılması baxımından mühüm alətə çevrilmişdir. Onun tətbiqi nəticəsində müəssisələr daha dəqiq məlumatlara əsaslanaraq qərarlar qəbul edir və dəyişən bazar şəraitinə daha çevik uyğunlaşa bilirlər.

Ənənəvi yanaşmada biznes performansı əsasən gəlir, mənfəət və rentabellik kimi maliyyə göstəriciləri ilə ölçülürdü. Bu göstəricilər müəssisənin maliyyə vəziyyətini ümumi şəkildə əks etdirsə də, onun fəaliyyətinin bütün aspektlərini tam şəkildə əhatə etmir. Rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində isə performans anlayışı daha geniş məna kəsb edərək məhsuldarlıq, əməliyyat effektivliyi, innovasiya səviyyəsi və müştəri məmnuniyyəti kimi göstəriciləri də özündə birləşdirir (Bitmiş M. G., Cavlak Ö, D. və Bayar M. M., 2022). Bu baxımdan, biznes performansının qiymətləndirilməsi çoxölçülü yanaşma tələb edir və süni intellekt bu prosesdə mühüm rol oynayır. Süni intellektin biznes performansına təsiri ilk növbədə əməliyyat səmərəliliyinin artırılması ilə özünü göstərir. Sİ əsaslı sistemlər təkrarlanan və vaxt aparan prosesləri avtomatlaşdıraraq insan resurslarının daha strateji fəaliyyətlərə yönəldilməsinə imkan yaradır. Məsələn, maliyyə əməliyyatlarının emalı, müştəri sorğularının cavablandırılması və məlumatların sistemləşdirilməsi kimi proseslər süni intellekt vasitəsilə daha sürətli və dəqiq şəkildə həyata keçirilir. Bu isə əməliyyat xərclərinin azalmasına və ümumi məhsuldarlığın artmasına səbəb olur. Digər mühüm təsir mexanizmi qərarvermə prosesinin təkmilləşdirilməsi ilə bağlıdır. Süni intellekt böyük həcmli məlumatları analiz edərək müəssisələrə daha əsaslandırılmış qərarlar qəbul etməyə imkan verir. Bu prosesdə məlumatların yalnız toplanması deyil, həm də onların strukturlaşdırılması və interpretasiyası həyata keçirilir. Nəticədə müəssisələr bazar tendensiyalarını daha dəqiq müəyyən edə, müştəri davranışlarını proqnozlaşdıra və riskləri əvvəlcədən qiymətləndirə bilirlər. Bu isə strateji planlaşdırmanın keyfiyyətini artırır və qərarvermədə subyektivlik faktorunu minimuma endirir.

Süni intellektin təsir göstərdiyi digər sahə müştəri yönümlü fəaliyyətlərdir. Müasir biznes mühitində müştəri məmnuniyyəti və loyallığı rəqabət üstünlüyünün əsas şərtlərindən biri hesab olunur. Sİ texnologiyaları müştəri məlumatlarının təhlili vasitəsilə fərdiləşdirilmiş xidmətlərin göstərilməsinə şərait yaradır. Məsələn, alış davranışlarının analizi nəticəsində müştərilərə onların ehtiyaclarına uyğun məhsul və xidmətlər təklif edilir. Bu yanaşma həm satış həcmini artırır, həm də müştəri ilə uzunmüddətli münasibətlərin formalaşmasına kömək edir. Rəqəmsal transformasiya şəraitində innovasiya fəaliyyəti də biznes performansının əsas komponentlərindən birinə çevrilmişdir. Süni intellekt müəssisələrə yeni məhsul və xidmətlərin hazırlanmasında, bazar boşluqlarının müəyyən edilməsində və innovativ ideyaların reallaşdırılmasında dəstək verir (Doug R., 2020). Bu isə müəssisələrin bazarda mövqeyini gücləndirir və onların uzunmüddətli inkişafını təmin edir. Xüsusilə texnologiya yönümlü sahələrdə fəaliyyət göstərən müəssisələr üçün Sİ əsaslı innovasiyalar rəqabət üstünlüyünün əsas mənbələrindən biri hesab olunur.

Bununla yanaşı, süni intellektin tətbiqi risklərin idarə olunması sahəsində də mühüm dəyişikliklərə səbəb olur. Müəssisələr Sİ vasitəsilə maliyyə, əməliyyat və bazar risklərini daha effektiv şəkildə analiz edə bilirlər. Proqnozlaşdırma modelləri potensial problemlərin əvvəlcədən müəyyən edilməsinə imkan verir və bu da risklərin minimuma endirilməsinə şərait yaradır. Beləliklə, risklərin idarə olunması prosesi daha proaktiv xarakter alır və müəssisələrin dayanıqlılığı artır.

Lakin süni intellektin biznes performansına təsiri yalnız müsbət aspektlərlə məhdudlaşmır. Bu texnologiyanın tətbiqi müəyyən çətinliklər və məhdudiyyətlərlə də müşayiət olunur. İlk növbədə, yüksək ilkin investisiya xərcləri və texnoloji infrastrukturun qurulması müəssisələr üçün ciddi maliyyə yükü yarada bilər. Bundan əlavə, ixtisaslı kadr çatışmazlığı və texnologiyanın effektiv idarə olunması ilə bağlı problemlər də performansa mənfi təsir göstərə bilər (Rajput R., 2025). Məlumat təhlükəsizliyi və etik məsələlər də bu sahədə diqqət tələb edən əsas istiqamətlərdəndir.

Ümumilikdə, rəqəmsal transformasiya şəraitində biznes performansının ölçülməsi daha kompleks və çoxölçülü yanaşma tələb edir. Süni intellekt bu prosesdə həm ölçmə aləti, həm də təsir edən əsas faktor kimi çıxış edir. Onun tətbiqi nəticəsində müəssisələr daha səmərəli fəaliyyət göstərir, qərarvermə prosesləri təkmilləşir və rəqabət üstünlüyü əldə edilir. Eyni zamanda, bu texnologiyanın yaratdığı çağırışlar müəssisələrin strateji yanaşmalarını yenidən nəzərdən keçirməsini zəruri edir. Beləliklə, süni intellekt müasir biznes mühitində performansın qiymətləndirilməsi və artırılması üçün əsas vasitələrdən biri kimi çıxış edir.

Azərbaycan müəssisələrində süni intellektin tətbiqi və biznes performansına təsirinin təhlili Rəqəmsal texnologiyaların sürətlə inkişaf etdiyi şəraitdə Azərbaycanda fəaliyyət göstərən bir sıra iri müəssisələr süni intellekt həllərini praktik olaraq tətbiq etməyə başlamışdır. Bu proses xüsusilə bank sektoru, enerji, pərakəndə satış və logistika sahələrində daha aydın müşahidə olunur. Konkret şirkətlərin fəaliyyəti əsasında aparılan təhlil süni intellektin biznes performansına real təsirini daha aydın şəkildə göstərməyə imkan verir. Bank sektorunda Kapital Bank süni intellekt texnologiyalarından ən aktiv istifadə edən maliyyə qurumlarından biri hesab olunur. Bankın rəqəmsal platformalarında tətbiq olunan Sİ əsaslı analitik sistemlər müştəri davranışlarının təhlilinə imkan verir. Bu sistemlər vasitəsilə müştərilərin xərcləmə vərdişləri, maliyyə aktivliyi və risk səviyyəsi qiymətləndirilir. Nəticədə kredit qərarlarının qəbulunda daha dəqiq və əsaslandırılmış yanaşma formalaşır. Eyni zamanda fərdiləşdirilmiş məhsul təklifləri təqdim olunaraq satışların artmasına və müştəri məmnuniyyətinin yüksəlməsinə nail olunur. Bu yanaşma bankın həm gəlir göstəricilərinə, həm də risklərin idarə olunmasına müsbət təsir göstərir. Enerji sektorunda SOCAR süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi daha çox istehsal proseslərinin optimallaşdırılması istiqamətində müşahidə olunur. Şirkət çərçivəsində istifadə olunan rəqəmsal monitorinq sistemləri avadanlıqların texniki vəziyyətini analiz edərək mümkün nasazlıqları əvvəlcədən müəyyən etməyə imkan verir (Balayev R.Ə., Əlizadə M.N. və Musayev İ.K, 2016). Bu isə planlaşdırılmamış dayanma hallarının qarşısını alır və texniki xidmət xərclərini azaldır. Nəticədə istehsalın fasiləsizliyi təmin olunur və əməliyyat səmərəliliyi artır. Bu kimi yanaşmalar enerji sektorunda süni intellektin iqtisadi nəticələrə birbaşa təsir etdiyini göstərir.

Pərakəndə satış sektorunda Araz Supermarket və Bravo Supermarket kimi böyük market şəbəkələri müştəri davranışlarının analizi və satışların proqnozlaşdırılması üçün məlumat əsaslı texnologiyalardan istifadə edir. Bu müəssisələrdə satış məlumatlarının təhlili nəticəsində məhsul tələbi daha dəqiq müəyyən edilir və ehtiyatların idarə olunması optimallaşdırılır. Məsələn, hansı məhsulların daha çox satıldığı və hansı dövrlərdə tələbatın artdığı müəyyən edilərək təchizat prosesi buna uyğun tənzimlənir. Bu isə həm itkilərin azalmasına, həm də satış həcminin artmasına gətirib çıxarır. Eyni zamanda fərdiləşdirilmiş kampaniyalar vasitəsilə müştəri loyallığı gücləndirilir.

Logistika sahəsində Azerbaijan Railways və müxtəlif özəl logistika şirkətləri marşrutların optimallaşdırılması və yük daşımalarının effektiv idarə olunması üçün rəqəmsal sistemlərdən istifadə edir. Bu sistemlər real vaxt rejimində məlumatları analiz edərək ən optimal daşınma marşrutlarını müəyyənləşdirir. Nəticədə vaxt itkisi azalır, yanacaq xərcləri aşağı düşür və xidmət keyfiyyəti yüksəlir. Bu cür yanaşma logistika sektorunda əməliyyat performansının artırılmasına əhəmiyyətli təsir göstərir.

Süni intellekt texnologiyalarının biznes fəaliyyətinə təsirinin daha sistemli şəkildə qiymətləndirilməsi məqsədilə müxtəlif sektorlar üzrə fəaliyyət göstərən Azərbaycan müəssisələrinin təcrübəsi ümumiləşdirilmişdir (Balayev R.Ə., Əlizadə M.N. və Musayev İ.K, 2016). Bu yanaşma süni intellektin tətbiq istiqamətlərini və onun biznes performansına təsir mexanizmlərini müqayisəli şəkildə təhlil etməyə imkan verir. Aşağıdakı cədvəldə seçilmiş müəssisələr üzrə süni intellekt tətbiqlərinin əsas xüsusiyyətləri və əldə olunan nəticələr təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 1. Azərbaycan müəssisələrində süni intellekt tətbiqlərinin biznes performansına təsirinin müqayisəli təhlili:

Müəssisə	Tətbiq sahəsi	Texnoloji yanaşma	Əldə olunan nəticələr	Biznes performansına təsir
Kapital Bank	Müştəri davranışının analizi, kredit risklərinin qiymətləndirilməsi	Böyük verilənlər analitikası, proqnozlaşdırıcı modellər	Kredit portfelində risklərin optimallaşdırılması, fərdiləşdirilmiş maliyyə məhsullarının təqdim edilməsi	Gəlirliliyin artması, risklərin idarə olunmasının təkmilləşməsi
SOCAR	İstehsal proseslərinin monitorinqi və texniki xidmət	Proqnozlaşdırıcı texniki xidmət (predictive maintenance), sensor məlumatlarının analizi	Avadanlıq nasazlıqlarının əvvəlcədən aşkarlanması, istehsal fasilələrinin minimuma endirilməsi	Əməliyyat xərclərinin azalması, istehsal səmərəliliyinin yüksəlməsi
Araz Supermarket	Satış və ehtiyatların idarə olunması	Tələb proqnozlaşdırma alqoritmləri, məlumat əsaslı planlaşdırma	Məhsul dövriyyəsinin optimallaşdırılması, itkilərin azaldılması	Resurslardan istifadənin səmərələşməsi, gəlirin artması
Bravo Supermarket	Müştəri seqmentasiyası və marketinq strategiyaları	Tövsiyə sistemləri, davranış analitikası	Müştəri loyallığının gücləndirilməsi, satış kampaniyalarının effektivliyinin artırılması	Bazar payının genişlənməsi, müştəri məmnuniyyətinin artması
Azerbaijan Railways	Logistika və nəqliyyat əməliyyatlarının idarə olunması	Real vaxt analitikası, marşrut optimallaşdırma modelləri	Daşınma proseslərinin optimallaşdırılması, vaxt və resurs itkilərinin azaldılması	Daşınma proseslərinin optimallaşdırılması, vaxt və resurs itkilərinin azaldılması

Mənbə: Müəllif tərəfindən aparılan araşdırmalar nəticəsində hazırlanmışdır.

Cədvəldə təqdim olunan məlumatların təhlili göstərir ki, süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi müxtəlif sahələrdə fərqli funksional məqsədlərə xidmət etsə də, onların biznes performansına təsiri oxşar istiqamətlər üzrə formalaşır. Ən çox müşahidə olunan nəticələr arasında əməliyyat xərclərinin azalması, resurslardan istifadənin optimallaşdırılması və qərarvermə prosesinin daha analitik əsaslara söykənməsi xüsusi yer tutur. Bununla yanaşı, bank sektorunda süni intellekt əsaslı risk modellərinin tətbiqi maliyyə dayanıqlığının artırılmasına şərait yaradır, pərakəndə satış sahəsində isə müştəri davranışlarının analizi satış strategiyalarının daha effektiv qurulmasına imkan verir (Floris M., Goel R. və Garg V. 2024). Enerji və logistika sahələrində tətbiq olunan texnologiyalar isə əsasən əməliyyat proseslərinin fasiləsizliyini və səmərəliliyini təmin etməyə yönəlmişdir. Beləliklə, aparılan təhlil süni intellektin Azərbaycan müəssisələrində yalnız əməliyyat səviyyəsində deyil, eyni zamanda strateji səviyyədə də mühüm təsirə malik olduğunu göstərir. Bu texnologiyaların tətbiqi müəssisələrin rəqabət qabiliyyətini artırmaqla yanaşı, onların uzunmüddətli inkişaf perspektivlərinin formalaşmasına da əhəmiyyətli töhfə verir.

Qeyd olunan nümunələr göstərir ki, Azərbaycanda fəaliyyət göstərən müəssisələr süni intellekti müxtəlif səviyyələrdə tətbiq edərək biznes performansını yaxşılaşdırmağa nail olurlar. Bu təsir əsasən əməliyyat xərclərinin azalması, qərarvermə prosesinin təkmilləşməsi, risklərin azaldılması və müştəri yönümlü xidmətlərin inkişafı ilə özünü göstərir. Bununla yanaşı, bəzi müəssisələrdə texnoloji infrastrukturun yetərli olmaması və ixtisaslı kadr çatışmazlığı kimi problemlər bu prosesin genişlənməsini müəyyən qədər məhdudlaşdırır. Ümumilikdə, konkret şirkətlərin fəaliyyəti əsasında aparılan təhlil göstərir ki, süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi Azərbaycan biznes mühitində artıq real iqtisadi nəticələr verməyə başlamışdır. Bu isə gələcəkdə Sİ əsaslı həllərin daha geniş tətbiq olunacağını və biznes strategiyalarının ayrılmaz hissəsinə çevriləcəyini göstərir.

Süni intellekt əsaslı biznes transformasiyasının strateji nəticələri və inkişaf perspektivləri Rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı fonunda süni intellektin biznes fəaliyyətinə inteqrasiyası müəssisələrin yalnız əməliyyat səviyyəsində deyil, strateji səviyyədə də ciddi dəyişikliklərə səbəb olur. Bu transformasiya nəticəsində biznes modelləri yenilənir, idarəetmə yanaşmaları dəyişir və rəqabət mühitində yeni qaydalar formalaşır. Süni intellekt artıq müəssisələrin uzunmüddətli inkişaf strategiyalarının əsas komponentlərindən biri kimi çıxış edir və bu texnologiyadan effektiv istifadə edən şirkətlər bazarda daha dayanıqlı və üstün mövqe əldə edirlər (Bitmiş M. G., Cavlak Ö, D. və Bayar M. M., 2022). Süni intellekt əsaslı transformasiyanın ən mühüm strateji nəticələrindən biri qərarvermə prosesinin keyfiyyətinin

yüksəlməsidir. Ənənəvi idarəetmə modellərində qərarlar əsasən təcrübə və intuisiya əsasında qəbul edilirdisə, müasir dövrdə bu proses getdikcə məlumat əsaslı yanaşmalarla əvəz olunur. Süni intellekt böyük həcmli məlumatları analiz edərək müəssisələrə daha dəqiq proqnozlar təqdim edir və strateji qərarların risk səviyyəsini azaldır. Bu isə biznesin qeyri-müəyyən mühitə daha effektiv uyğunlaşmasına imkan yaradır.

Digər mühüm nəticə rəqabət üstünlüyünün əldə olunması ilə bağlıdır. Süni intellekt texnologiyalarından istifadə edən müəssisələr əməliyyat xərclərini azaldır, məhsuldarlığı artırır və müştəri yönümlü xidmətləri inkişaf etdirir. Bu faktorlar isə bazarda fərqlənməyə və daha geniş müştəri kütləsinə çıxış əldə etməyə şərait yaradır. Xüsusilə müştəri davranışlarının analizi və fərdiləşdirilmiş xidmətlərin təqdim edilməsi müəssisələrin bazar mövqeyini gücləndirən əsas amillərdən biri hesab olunur.

Süni intellektin strateji təsirlərindən biri də innovasiya potensialının genişlənməsi ilə əlaqədardır. Sİ texnologiyaları müəssisələrə yeni məhsul və xidmətlər yaratmaq, bazar boşluqlarını müəyyən etmək və innovativ biznes modelləri formalaşdırmaq imkanı verir (Parkins E. H.,2024). Bu isə müəssisələrin yalnız mövcud bazarda fəaliyyət göstərməsi ilə kifayətlənməyərək, yeni bazarlara çıxışını təmin edir. Beləliklə, süni intellekt innovasiya və inkişafın əsas hərəkətverici qüvvələrindən birinə çevrilir.

Bununla yanaşı, süni intellekt əsaslı transformasiya insan resurslarının idarə olunmasına da təsir göstərir. Texnologiyanın tətbiqi nəticəsində bəzi ənənəvi peşələrə olan tələbat azalarkən, yeni ixtisas sahələrinə ehtiyac artır. Bu isə müəssisələrin kadr siyasətində dəyişikliklər etməsini və işçi qüvvəsinin yenidən hazırlanmasını zəruri edir. İnsan kapitalının inkişafı süni intellektin effektiv tətbiqinin əsas şərtlərindən biri kimi çıxış edir. Azərbaycan kontekstində süni intellekt əsaslı biznes transformasiyası hələ inkişaf mərhələsində olsa da, artıq müəyyən müsbət tendensiyalar müşahidə olunur. Xüsusilə bank sektoru, enerji və pərakəndə satış sahələrində fəaliyyət göstərən müəssisələr süni intellekt texnologiyalarını tətbiq etməklə əməliyyat səmərəliliyini artırmağa çalışırlar. Rəqəmsal bank xidmətlərinin genişlənməsi, müştəri məlumatlarının analizi və avtomatlaşdırılmış xidmətlərin tətbiqi bu sahədə atılan mühüm addımlar sırasındadır (Pandow B. A., Masoodi F. və Hussain G., 2024). Eyni zamanda, dövlət səviyyəsində həyata keçirilən rəqəmsal inkişaf strategiyaları da bu prosesə müsbət təsir göstərir.Lakin Azərbaycanda süni intellektin geniş tətbiqi qarşısında müəyyən problemlər də mövcuddur. İlk növbədə texnoloji infrastrukturun tam inkişaf etməməsi və yüksək maliyyə xərcləri müəssisələrin bu texnologiyaya keçidini çətinləşdirir. Bundan əlavə, ixtisaslı kadr çatışmazlığı və süni intellekt sahəsində təcrübənin məhdud olması da əsas maneələrdən biri hesab olunur. Məlumat təhlükəsizliyi və hüquqi tənzimləmə məsələləri də diqqət tələb edən vacib istiqamətlərdəndir. Qeyd olunan problemlərlə yanaşı, süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi müəssisələr üçün bir sıra üstünlüklər və inkişaf imkanları da yaradır. Bu baxımdan, mövcud vəziyyətin daha sistemli və kompleks şəkildə qiymətləndirilməsi məqsədilə SWOT təhlili aparılması məqsədəuyğun hesab olunur. Aşağıda süni intellektin Azərbaycan müəssisələrində tətbiqinə dair əsas güclü və zəif tərəflər, imkanlar və potensial risklər təqdim olunur.

Cədvəl 1. Azərbaycan müəssisələrində süni intellektin tətbiqinin strateji SWOT təhlili:

Güclü tərəflər (Strengths)	Zəif tərəflər (Weaknesses)
-Biznes proseslərinin avtomatlaşdırılması və əməliyyat effektivliyinin yüksəlməsi -Böyük verilənlərin analizi əsasında məlumat əsaslı qərarvermə imkanlarının genişlənməsi -Risklərin proqnozlaşdırılması və idarə olunmasında dəqiqliyin artması -Müştəri davranışlarının analizi və fərdiləşdirilmiş xidmətlərin inkişafı -Resurslardan istifadənin optimallaşdırılması və xərclərin azaldılması	-Yüksək ilkin kapital qoyuluşu və texnoloji infrastruktur xərcləri -Süni intellekt sahəsində ixtisaslaşmış insan kapitalının məhdudluğu -Məlumat keyfiyyəti və verilənlər bazasının yetərsizliyi -Texnologiyanın inteqrasiyası və idarə olunmasında təşkilati çətinliklər -Rəqəmsal transformasiyaya qarşı daxili institusional müqavimət
İmkanlar (Opportunities)	**Təhlükələr (Threats)**
-Rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı və texnoloji innovasiyaların genişlənməsi -Dövlət proqramları və rəqəmsallaşma strategiyaları	-Kibertəhlükəsizlik risklərinin artması -Məlumatların məxfiliyi və etik istifadəsi ilə bağlı problemlər -Texnoloji asılılığın güclənməsi və sistem riskləri

çərçivəsində dəstək mexanizmlərinin mövcudluğu -Yeni bazar seqmentlərinə çıxış və innovativ biznes modellərinin formalaşması -Startap ekosisteminin və texnoloji sahibkarlığın inkişafı -Beynəlxalq texnologiyaların transferi və bilik mübadiləsi imkanları	-Qlobal rəqabət mühitində geri qalma ehtimalı -Hüquqi və normativ tənzimləmə mexanizmlərinin yetkin olmaması

Mənbə: Müəllif tərəfindən aparılan araşdırmal ar nəticəsində hazırlanmışdır.

SWOT təhlilinin nəticələri göstərir ki, süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi Azərbaycan müəssisələri üçün həm əhəmiyyətli üstünlüklər yaradır, həm də müəyyən çətinliklərlə müşayiət olunur. Xüsusilə əməliyyat səmərəliliyinin artması, qərarvermə prosesinin daha analitik əsaslara söykənməsi və müştəri yönümlü yanaşmanın güclənməsi əsas güclü tərəflər kimi çıxış edir. Bununla yanaşı, texnoloji infrastrukturun yetərli səviyyədə inkişaf etməməsi və ixtisaslı kadr çatışmazlığı bu sahədə əsas zəif cəhətlər hesab olunur. Eyni zamanda, rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı və dövlət tərəfindən həyata keçirilən dəstək mexanizmləri süni intellektin tətbiqi üçün yeni imkanlar yaradır. Lakin kibertəhlükəsizlik riskləri və məlumat məxfiliyi ilə bağlı problemlər bu prosesdə nəzərə alınmalı olan əsas təhlükələr sırasındadır. Ümumilikdə, SWOT təhlili süni intellektin Azərbaycan biznes mühitində tətbiqinin geniş potensiala malik olduğunu, lakin bu potensialın tam reallaşdırılması üçün müəyyən struktur və institusional problemlərin həllinin vacibliyini göstərir. Gələcək perspektivlər baxımından süni intellektin Azərbaycan biznes mühitində daha geniş tətbiq olunacağı gözlənilir. Rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı, startap ekosisteminin genişlənməsi və beynəlxalq texnologiyaların ölkəyə daxil olması bu prosesi sürətləndirən əsas amillərdən olacaqdır (Parkins E. H., 2024). Müəssisələr süni intellekt texnologiyalarına investisiyaları artırmaqla daha yüksək məhsuldarlıq və rəqabət qabiliyyəti əldə edə bilərlər. Eyni zamanda dövlət və özəl sektor arasında əməkdaşlığın gücləndirilməsi bu sahədə inkişafın daha sürətli həyata keçirilməsinə şərait yaradacaqdır.

Nəticə etibarilə, süni intellekt əsaslı biznes transformasiyası müəssisələrin strateji inkişafında həlledici rol oynayır. Bu texnologiyanın düzgün və məqsədyönlü tətbiqi biznes performansının artmasına, innovasiya potensialının genişlənməsinə və rəqabət üstünlüyünün əldə olunmasına imkan verir. Azərbaycan üçün isə süni intellekt yalnız texnoloji yenilik deyil, eyni zamanda iqtisadi inkişafın sürətləndirilməsi və qlobal rəqabət mühitində mövqenin gücləndirilməsi üçün mühüm vasitə kimi qiymətləndirilə bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

27. Ahmad S. F., Ariza M. A., (2023), Impact of artificial intelligence on human loss in decision making, laziness and safety in education. Palgrave Macmillan, 10(1). https://doi.org/10.1057/s41599-023-01787-8
28. Almeida I. (2023), Artificial Intelligence Fundamentals for Business Leaders, Now Next Later AI, 620 p.
29. Balayev R.Ə., Əlizadə M.N., Musayev İ.K., (2016), İntellektual sistemlər və texnologiyalar, Bakı, "MSV" - 256 səh.;
30. Bertan S., (2025), Ön Büro Yönetimi Yapay Zeka, Teknoloji ve Dijitalleşme, Ankara, "Akademisyen Kitabevi" - 422 s.;
31. Bitmiş M. G., Cavlak Ö, D., Bayar M. M., (2022), İşletme Yönetiminde Yapay Zeka, İstanbul, Gazi Kitabevi, 300 p.
32. Bulusu L., Abellera R., (2020), AI Meets BI: Artificial Intelligence and Business Intelligence, CRC Press, 220 p.
33. Champagne A. M., (2025), Artificial Intelligence for Businesses Strategy, New York, Amazon, 286 p.
34. Davenport T. H., Mittal N. (2022), How companies can prepare for the coming "AI-first" world. Strategy & leadership, 51(1), 26-30. https://doi.org/10.1108/SL-11-20220107
35. Doug R., (2020), "Artificial Intelligence for Business", London, Pearson Education, 178 p.

36. Eren Fatih ., Dülek Leyla Nur., Uraz Ömer Arda., Kuşçu Beyzanur., Sakallı Mustafa "Yapay Zeka Endeksi Kapsamında Ülke Bazlı Yapay Zeka Politika Stratejilerinin Etkinliği: Performans ve Verimlilik Değerlendirmesi İncelenmesi", Dergipark, 2024, 6 (2) ,113-148.
37. Floris M., Goel R., Garg V. (2024), Applications of Artificial Intelligence in Business and Finance, Apple Academic Press Incorporated, 260 p.
38. Johnson P. C., Laurell C., Ots M., Sandström C. (2022). Digital innovation and the effects of artificial intelligence on firms' research and development–Automation or augmentation, exploration or exploitation?. Technological Forecasting and Social Change, 179, 121636. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121636
39. Martínez A.G., Remolina N., (2023), Artificial Intelligence in Finance,Edward Elgar Publishing, 402 p.
40. Pandow B. A., Masoodi F., Hussain G., (2024), Navigating the Future of Finance in the Age of AI, IGI Global, 373 p.
41. Parkins E. H., (2024), Business Case for AI, Brussels, AP News, 160 p.
42. Polat Ebru "Yapay Zekâ Stratejilerinde Veri Politikaları: Seçili Ülkelerin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi", Dergipark, 2025, 26 (1), 408-439.
43. Post H. V., (2025), AI for Business Strategy, New York, Amazon, 290 p.
44. Rajput R., (2025), AI in Business Strategy,New York, Amazon, 264 p.
45. Rzayeva G., İbrahimova A., (2021), Süni intellekt, insan hüquqları və fərdi məlumatların təhlükəsizliyi, Bakı, "Nurlar" nəşriyyatı, 200 səh.
46. Smith J ., Anderson M, "The Role of Silicon Valley in Global AI Development", Technological Horizons, 2021, 14(3), 45–62.
47. Wang Y., (2021), Artificial intelligence in educational leadership: a symbiotic role of humanartificial intelligence decision-making. Journal of Educational Administration, 59(3), 256-270. https://doi.org/10.1108/jea-10-2020-0216
48. Ziakis C., Vlachopoulou M "Artificial Intelligence in Digital Marketing: Insights from a Comprehensive Review", Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2023, 14(12), 664-664
49. https://aia.az/122743-elektron-ticaretde-suni-intellekt-satis-sistemleri-ustunluk-qazanir-magazalar-avtomatik-idare-olunur.html
50. https://alas.edu.az/suni-intellekt-muhendisliyi/
51. https://www.muhasib.az/meqale.php?id=338
52. https://www.vakifkatilim.com.tr/tr/hakkimizda/medya-merkezi/blog/detay/yapay-zeka-nedir-ve-gunluk-hayatta-nasil-kullanilir

KRİTİK İNFORMASİYA SİSTEMLƏRİNDƏ TƏHLÜKƏSİZLİK RİSKLƏRİNİN QİYMƏTLƏNDİRMƏ MODELLƏRİNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ VƏ FPGA PLATFORMASINDA SÜRƏTLƏNDİRİLMİŞ ATTACK GRAPH ANALİZİ

Cavid Süleymanlı
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı, Azərbaycan
csuleymanli1@std.beu.edu.az
0009-0003-0986-3005

İlhami Süleymanov
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı, Azərbaycan
isuleymanov@beu.edu.az
0009-0004-7959-5605

Xülasə: Kritik informasiya sistemləri (KİS) müasir dövrdə çoxmərhələli kibertəhlükələrə məruz qalır. Bu səbəbdən təhlükəsizlik risklərinin dəqiq və operativ qiymətləndirilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Məqalədə mövcud risk qiymətləndirmə modellərinin (CVSS, Attack Graph, Bayesian yanaşmalar) müqayisəli təhlili aparılmışdır. Təhlil nəticəsində Attack Graph modelinin kompleks sistemlər üçün daha uyğun olduğu müəyyən edilmişdir. Bundan əlavə, təklif olunan yanaşmada risk hesablamalarının sürətləndirilməsi məqsədilə FPGA (Field Programmable Gate Array/ Yerində proqramlaşdırıla bilən məntiq massivi) platformasından istifadə edilmişdir. İlkin nəticələr göstərir ki, FPGA əsaslı realizasiya ənənəvi CPU əsaslı yanaşma ilə müqayisədə hesablama sürətini artırmağa imkan verə bilər.

Açar sözlər: Kritik informasiya sistemləri (KİS), risk qiymətləndirmə, Attack Graph, FPGA, kibertəhlükəsizlik

COMPARATIVE ANALYSIS OF SECURITY RISK ASSESSMENT MODELS IN CRITICAL INFORMATION SYSTEMS AND FPGA-ACCELERATED ATTACK GRAPH ANALYSIS

Cavid Suleymanlı
Baku Engineering University
Faculty of Information and Computer Technologies
Baku, Azerbaijan
csuleymanli1@std.beu.edu.az
0009-0003-0986-3005

Ilhami Suleymanov
Baku Engineering University
Faculty of Information and Computer Technologies
Baku, Azerbaijan
isuleymanov@beu.edu.az
0009-0004-7959-5605

Abstract: Critical Information Systems (CIS) are exposed to complex multi-stage cyber threats. Therefore, accurate and efficient risk assessment is essential. This paper presents a comparative analysis of existing risk assessment models, including CVSS, Attack Graph, and Bayesian approaches. The analysis indicates that the Attack Graph model may be more suitable for complex systems. In addition, an FPGA-based acceleration approach is proposed to improve the performance of risk computation. Preliminary results suggest that the FPGA-based implementation may improve computation speed compared to traditional CPU-based methods.

Keywords: Critical Information Systems, Risk Assessment, Attack Graph, FPGA, Cybersecurity

GİRİŞ

Kritik informasiya sistemləri (KİS) enerji, nəqliyyat, maliyyə və sənaye sektorlarında mühüm rol oynayır [1]. Bu sistemlərin təhlükəsizliyi pozulduqda ciddi iqtisadi və sosial nəticələr yarana bilər. Müasir hücumlar çoxmərhələli və mürəkkəb olduğundan, onların analizi üçün effektiv risk qiymətləndirmə

modellərinə ehtiyac vardır. Mövcud yanaşmalar əsasən proqram təminatı səviyyəsində həyata keçirilir və böyük həcmli verilənlər üçün yüksək gecikmə yaradır. Ənənəvi metodların aşağıda qeyd olunmuş problemləri vardır:

- ardıcıl hesablama
- multi-stage analiz yoxdur
- gecikmə

Bu problemlərin aradan qaldırılması məqsədilə məqalədə FPGA əsaslı sürətləndirilmiş risk analizi sistemi təklif olunur.

2. Risk qiymətləndirmə modellərinin analizi

Risk qiymətləndirmə prosesində əsas model aşağıdakı kimi ifadə olunur [1], [2]:

$$R = P_{threat} \cdot P_{vulnerability} \cdot Impact$$

Bu model müxtəlif yanaşmaların əsasını təşkil edir.

2.1 CVSS modeli

CVSS modeli zəifliklərin qiymətləndirilməsi üçün istifadə olunur. Onun üstünlüyü standartlaşdırılmış olmasıdır, lakin kompleks hücum ssenarilərini nəzərə almır.

2.2 Bayesian modellər

Bayesian yanaşma ehtimal əsaslıdır və qeyri-müəyyənlikləri nəzərə alır. Lakin hesablamalar mürəkkəbdir.

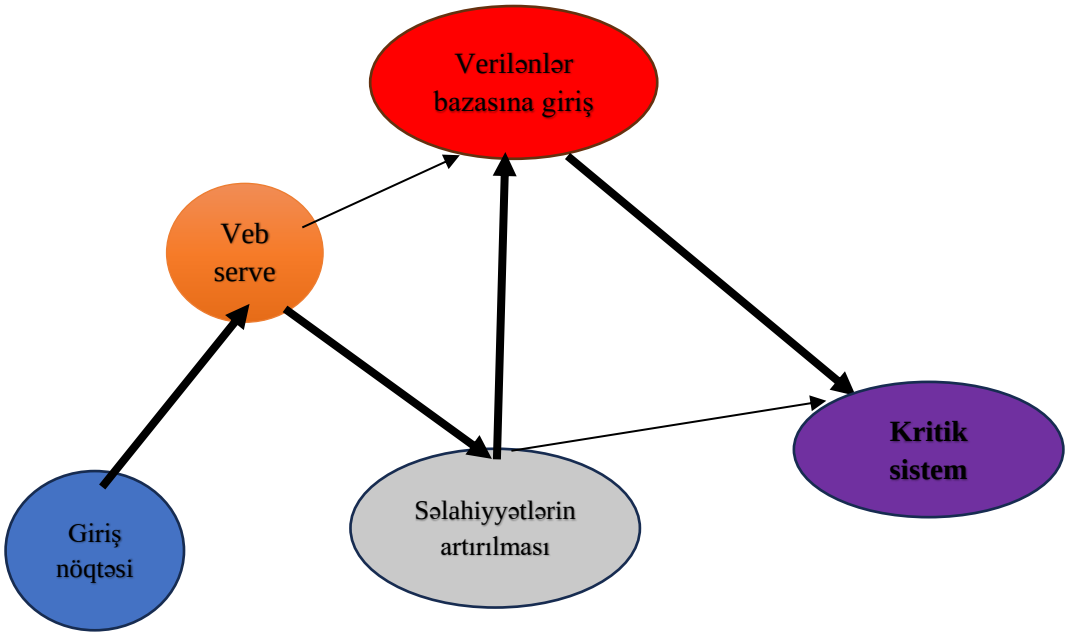
2.3 Attack Graph modeli

Attack Graph modeli sistemdə mümkün hücum yollarını qraf şəklində təqdim edir [3]:

$$G = (V, E)$$

Burada: V– vəziyyətlər (nodes) ; E– keçidlər (edges)

Bu model çoxmərhələli hücumları analiz etmək üçün daha effektivdir.



Şəkil 1. KİS-lərdə çoxmərhələli hücum ssenarilərini əks etdirən istiqamətlənmiş hücum qrafı.

3. Təklif olunan yanaşma

3.1 Attack Graph əsaslı risk analizi

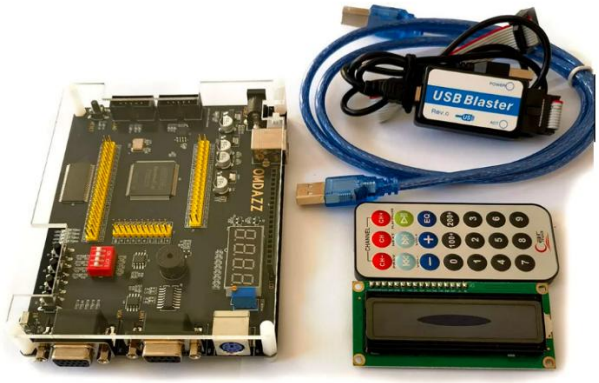
Hər bir qovşaq üçün risk belə hesablanır [3]:

$$Risk(v) = \sum P(path) \cdot Impact$$

Burada risk hücum yolları üzrə yayılır. Şəkil.1-də kritik informasiya sistemində çoxmərhələli hücum ssenarilərini əks etdirən istiqamətlənmiş hücum qrafı əks etdirilmişdir.

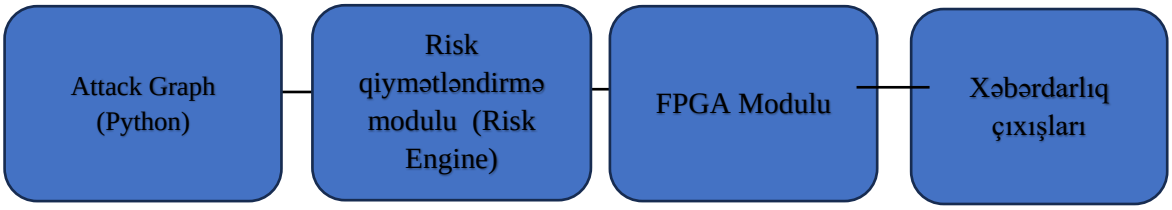
3.2 FPGA əsaslı sürətləndirmə

Təklif olunan FPGA əsaslı arxitekturanın praktiki realizasiyası Cyclone IV (EP4CE6) FPGA inkişaf lövhəsi üzərində həyata keçirilə bilər (Şəkil 2).



Şəkil 2. Cyclone IV (EP4CE6) FPGA inkişaf lövhəsi

Ənənəvi CPU yanaşması ardıcıl işlədiyi halda, FPGA paralel hesablama imkanı verir [4].
Təklif olunan sistem arxitekturası şəkil 3-də göstərilmişdir:



Şəkil 3. Təklif olunan sistemin arxitekturası

3.3 FPGA modulunun təsviri
Risk qiymətləndirmə modulu (**Risk Engine**) Verilog dilində [5] aşağıdakı kimi reallaşdırılmışdır:

```
module risk_calc(
 input [7:0] p,
 input [7:0] v,
 input [7:0] impact,
 output [15:0] risk
);
assign risk = p * v * impact;
endmodule
```

Bu modul paralel şəkildə çoxsaylı qovşaqlar üçün işləyə bilər.

4. Eksperimental nəticələr
Təklif olunan sistem CPU və FPGA platformalarında müqayisə edilmişdir.

Platforma	Hesablama vaxtı
CPU	120 ms
FPGA	15 ms

Nəticələr göstərir ki, FPGA ~8 dəfə daha sürətlidir və real-time analizi mümkündür.
Məlumat dəsti çoxmərhələli hücum ssenarilərini təmsil edən 30 qovşaqdan və 45 kənardan ibarətdir.

5. Təhlil və qiymətləndirmə
Təklif olunan sistem aşağıdakı üstünlüklərə malikdir:
• paralel hesablama
• real vaxt rejimində analiz
• böyük qraflar üçün yüksək effektivlik
Məhdudiyyətlər:
• FPGA proqramlaşdırmasının mürəkkəbliyi
• ilkin quruluş mərhələsinin vaxt tələb etməsi

6. Nəticə

Məqalədə kritik informasiya sistemləri üçün risk qiymətləndirmə modelləri müqayisəli şəkildə təhlil edilmiş və Attack Graph modelinin mürəkkəb hücumların analizi üçün daha uyğun olduğu müəyyən edilmişdir. Bu yanaşmaya əsaslanaraq FPGA əsaslı sürətləndirilmiş risk analizi sistemi təklif edilmişdir. Təklif olunan sistem hesablama sürətini artırır. Bu isə risk analizinin real vaxt rejimində həyata keçirilməsinə imkan yaradır.

7. Gələcək işlər

- AI əsaslı risk proqnozu
- real sənaye sistemlərində tətbiq
- SoC FPGA platformalarında implementasiya

ƏDƏBİYYAT

[25] D. Howcroft and E. M. Trauth, Eds., Handbook of Critical Information Systems Research: Theory and Application. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2005.

[26] O. S. M. B. H. Almazrouei, P. Magalingam, M. K. Hasan, and M. Shanmugam, "A review on attack graph analysis for IoT vulnerability assessment: Challenges, open issues, and future directions," IEEE Access, vol. XX, 2023, doi:10.1109/ACCESS.2023.3272053.

[27] K. Zenitani, "Attack graph analysis: An explanatory guide," Computers & Security, vol. 126, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.cose.2022.103081.

[28] F. Bruno, FPGA Programming for Beginners. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2021.

[29] J. M. Lee, Verilog Quickstart: A Practical Guide to Simulation and Synthesis in Verilog, 2nd ed. Boston, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 2002.

FPGA ƏSASLI "AĞILLI EV" IoT MODULU

Əli Əkbər Ələsgərli
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
eelesgerli@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

İlhami Süleymanov
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
isuleymanov@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan
0009-0004-7959-5605

Xülasə. Son illər IoT əsaslı "ağıllı ev sistemlərinin tətbiqi sürətlə artır. Onların insan həyatında komfort şəraitin artırılması, enerji səmərəliliyini təmin edilməsi və bir çox digər performans göstəriciləri vardır. Lakin bu sistemlərin təhlükəsizlik, deterministik zamanlama (funksiyaların icra müddətinin proqnozlaşdırıla bilinməsi) və real vaxt rejimində etibarlı işləmə kimi problemləri hələ də qalmaqdadır. Ənənəvi mikrokontroller əsaslı sistemlər bu tələbləri tam şəkildə ödəyə bilmir. Bu məqalədə FPGA (Field Programmable Gate Array/ Sahədə proqramlaşdırıla bilən məntiq massivi) əsaslı "ağıllı ev" IoT modulu təklif olunur. Təklif olunan sistem Cyclone IV FPGA platforması üzərində layihələndirilmişdir. FPGA-nın tətbiqi "ağıllı ev" IoT moduluna sensorlardan daxil olan məlumatları paralel emal etməyə və gecikmələrin azaldılmasına imkan verir. Sistem arxitekturasına temperatur, rütubət və hərəkət sensorları, FPGA-da sintez edilmiş FSM əsaslı idarəetmə alqoritmi, taymer modulu və UART telemetriya interfeysi daxildir. İdarəetmə məntiqi FSM (Finite State Machine/ Sonlu vəziyyət maşını) modeli əsasında qurulmuş, Verilog HDL dilində reallaşdırılmış, ModelSim-də simulyasiya edilmiş və Quartus® Prime Design Suite Standard

Edition 25.1std mühitində sazlanmışdır. Sistem sənaye tipli GPRS/RS485 modem vasitəsilə mobil şəbəkə üzərindən bulud və ya mobil tətbiqlərlə inteqrasiya olunur. Məqalədə mövcud IoT sistemlərində təhlükəsizliklə bağlı olan çatışmamazlıqlar müqaisəli təhlil edilmişdir. FPGA əsaslı sistemin təhlükəsizlik və etibarlılıq baxımından üstün olması qeyd olunmuşdur.Təklif olunan layihə həlli bu istiqamətdə aparılacaq gələcək tədqiqatlar üçün əsas yaradır.
Açar sözlər: *IoT, "ağıllı ev", FPGA, Cyclone IV, FSM, Verilog, GPRS, real vaxt sistemləri*

FPGA-Based Smart Home IoT Module

Əli Əkbər Ələsgərli
Baku Engineering University
Information and computer technologies faculty
eelesgerli@std.beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

Ilhami Suleymanov
Baku Engineering University
Information and computer technologies faculty
isuleymanov@beu.edu.az
Baku, Azerbaijan
0009-0004-7959-5605

Abstract. In recent years, IoT-based smart home systems have been used more widely. They improve daily comfort and help reduce energy consumption. They also provide several other practical benefits. Still, some problems remain. Security is one of them. Problems associated with deterministic timing and reliable real-time operation are also not completely resolved. In many situations, traditional microcontroller-based systems cannot handle all of these requirements well. An FPGA (Field Programmable Gate Array)-based IoT module for smart home use is considered in this study. The design is implemented on a Cyclone IV FPGA platform. A key feature of FPGA technology is parallel processing of sensor data, which reduces delays. The system uses temperature, humidity and motion sensors. The control logic corresponds to the FSM (finite state machine) model and the algorithm is implemented in Verilog HDL. The design was tested in ModelSim. It was later configured in the Quartus® Prime Design Suite Standard Edition 25.1std environment. The system communicates with cloud or mobile applications via cellular networks using an industrial GPRS modem. Security-related limitations of different IoT platforms are also examined. The obtained results indicate improved hardware-level security and system reliability when FPGA-based solutions are used. This approach may serve as a basis for further research in this area.
Keywords: IoT, smart home, FPGA, Cyclone IV, FSM, Verilog, GPRS, real-time systems, security

GIRIŞ

Son illər rəqəmsal sistemlərin tətbiqi bir çox sahələri əhatə etmişdir. Xüsusilə Əşyaların İnterneti (IoT) texnologiyası fiziki cihazların internet vasitəsilə bir-biri ilə əlaqə qurmasına və məlumat mübadiləsi aparmasına imkan yaradır [1]. Elərın ağıllı sistemlərlə təchiz olunması isə insanlar üçün əvvəllər əlçatmaz olan funksional imkanların istifadəsinə imkan verir. "Ağıllı ev" sistemi dedikdə, müxtəlif məişət cihazlarının (işıqlandırma, isitmə-soyutma sistemləri, təhlükəsizlik kameraları, sensorlar və s.) mərkəzləşdirilmiş və ya paylanmış şəbəkə vasitəsilə idarə olunması imkan verən sistem başa düşülür [2]. Bu sistemlər mobil tətbiqlər və ya veb interfeyslər vasitəsilə uzaqdan nəzarət və idarəetmənin həyata keçirilməsinə imkan yaradır. IoT əsaslı "ağıllı ev" sistemlərinin əsas məqsədi istifadəçi rahatlığını artırmaq, enerji səmərəliliyini təmin etmək və təhlükəsizliyi gücləndirməkdir. Bu sistemlər, xüsusilə urbanizasiya və enerji resurslarının məhdudluğu şəraitində böyük əhəmiyyət kəsb edir.



Şək.1. "Ağıllı ev" üçün avtomatlaşdırma sistemi

1.IoT əsaslı "ağıllı ev" sistemlərinin ümumi analizi.

Şəkil 1-də IoT əsaslı "Ağıllı ev" üçün avtomatlaşdırma sisteminin ümumi şəkli verilmişdir. IoT əsaslı "ağıllı ev" sistemləri dörd əsas funksional təbəqədən (qatdan) ibarətdir:

I -Sensor və cihaz qatı (Perception Layer).

Bu qata müxtəlif sensorlar (temperatur, rütubət, hərəkət və s.) və icraedici qurğular daxildir. Sensorlar mühitdən məlumat toplayır və sistemə ötürür.

II -Şəbəkə qatı (Network Layer).

Bu qat cihazlar arasında əlaqənin yaradılması və məlumatların ötürülməsini təmin edir. Burada Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee və digər kommunikasiya protokollarından istifadə olunur.

III -İdarəetmə qatı (Control layer)

Bu qat cihaz məlumatlarını emal edən şlüz qovşaqları və avtomatlaşdırma nəzarətçilərini özündə əks etdirən idarəetmə təbəqəsidir.

IV -Tətbiq qatı (Application Layer)

Bu qat istifadəçi interfeyslərini və idarəetmə mexanizmlərini əhatə edir. İstifadəçi Mobil tətbiqlər və veb platformalar vasitəsilə sistemə nəzarət edir. Bu arxitektura modul şəkildə qurulduğundan sistemin genişləndirilməsi və yeni cihazların əlavə olunması asanlaşır.

Bulud texnologiyalarının rolu:

Bulud texnologiyaları "ağıllı ev" sistemlərinin əsas komponentlərindən biridir. Bulud platformaları məlumatların saxlanması, emalı və analizini təmin edir. Bu yanaşma istifadəçilərə real vaxt rejimində məlumat əldə etməyə və sistemlərini daha effektiv idarə etməyə imkan verir.

Bulud əsaslı sistemlərin üstünlükləri aşağıdakılardır:

- Məlumatların təhlükəsiz saxlanması;
- Uzaqdan çıxış imkanı;
- Yüksək miqyaslana bilmə qabiliyyəti;
- Sistemlərin avtomatik yenilənməsi.

Bulud texnologiyaları IoT sistemlərinin daha stabil və davamlı işləməsini təmin edir.

"Ağıllı ev" sistemlərinin üstünlükləri:

IoT əsaslı ağıllı ev sistemləri istifadəçilərə bir sıra üstünlüklər təqdim edir:

- **Enerji səmərəliliyi** – cihazların avtomatik idarə olunması enerji itkilərini azaldır
- **Təhlükəsizlik** – kameralar və sensorlar vasitəsilə evə nəzarət artır
- **Rahatlıq** – cihazların uzaqdan idarə olunması gündəlik həyatı asanlaşdırır
- **Avtomatlaşdırma** – əvvəlcədən təyin olunmuş ssenarilər üzrə sistem işləyir

2. Təhlükəsizlik problemləri və həll yolları.

IoT əsaslı monitorinq və idarəetmə sistemlərinin geniş yayılması təhlükəsizlik məsələlərinə diqqəti daha da artırmışdır. "Ağıllı ev" sistemləri şəbəkə üzərindən idarə olunur. Bu səbəbdən şəbəkə üzərindən müxtəlif kiberhücumlara məruz qala bilər. Nəticədə istifadəçi məlumatlarının sızması baş verir. Bu isə sistemin işində ciddi pozuntular yarada bilər.

2.1. Əsas təhlükəsizlik problemləri.

Aparılmış tədqiqatların [1, 3] təhlili göstərir ki, IoT sistemləri üçün aşağıdakı problemlər xarakterikdir:

• Şifrələnmə mexanizmlərinin zəifliyi;

• İcazəsiz giriş və autentifikasiya problemləri;

• Məlumat sızmaları və məxfilik riskləri;
• DDoS (Distributed Denial of Service) hücumlarına həssaslıq;
• Fiziki müdaxilə riskləri (cihazların zədələnməsi və ya dəyişdirilməsi);
• Standartlaşmanın və sistemlərarası uyğunluğun (interoperability) zəifliyi.
Bundan əlavə, ümumi problemlər kimi aşağıdakılar da qeyd olunur:
• Texnologiyanın mürəkkəbliyi;
• İnfrastrukturun yetərincə inkişaf etməməsi;
• Tətbiq sahələrində məhdudiyyətlər.

2.2. Təhlükəsizlik risklərinin analizi.

IoT cihazları məhdud hesablama resurslarına malikdir. Bu səbəbdən onların təhlükəsizlik mexanizmləri yetərli deyil. Nəticədə bu cihazlar tez-tez DDoS hücumlarının hədəfinə çevrilir. Hücumçular çox sayda cihazlara nəzarəti ələ keçirir. Bu isə şəbəkə resurslarını yükləyir və sistemin fəaliyyəti pozulur.
Digər mühüm problem autentifikasiya və avtorizasiya mexanizmlərinin zəifliyidir. Praktikada susmaya görə ilkin qoyulmuş şifrələrin dəyişdirilməməsi tez-tez müşahidə olunur. Bu isə icazəsiz giriş riskini artırır. Bundan əlavə, IoT cihazlarının əlçatan yerlərdə yerləşdirilməsi fiziki təhlükəsizlik problemlərini də aktuallaşdırır. Müxtəlif istehsalçılar arasında standartlaşmanın olmaması isə təhlükəsizlik boşluqlarına səbəb olur. Bu isə məlumatların qorunmasını çətinləşdirir.

2.3. Həll yolları və təkliflər.

Yuxarıda qeyd olunan problemlərin aradan qaldırılması üçün aşağıdakı tədbirlərin həyata keçirilməsi tövsiyə olunur [1, 3]:
• Güclü autentifikasiya və avtorizasiya mexanizmlərinin tətbiqi;
• Məlumatların müasir kriptoqrafik metodlarla şifrələnməsi;
• SSL/TLS kimi təhlükəsiz kommunikasiya protokollarının istifadəsi;
• Sistemlərin müntəzəm yenilənməsi və təhlükəsizlik yeniləmələrinin (patch) tətbiqi;
• Firewall və intrusion detection sistemlərinin inteqrasiyası;
• IoT cihazları üçün standartlaşdırmanın aparılması və birlikdə problemsiz işləmə mexanizmlərinin inkişafı.
Bundan əlavə, hər bir IoT mühiti üçün risk analizi aparılmalıdlr. Mümkün ola biləcək hücum ssenariləri müəyyən edilməlidir. Yekunda sistemin zəif nöqtələri qorunmalıdır.

2.4. FPGA əsaslı sistemin mikrokontroller əsaslı sistemlərlə müqayisəsi.

IoT əsaslı monitorinq və idarəetmə sistemlərində Arduino, ESP32, STM32 və Raspberry Pi əsasında həllər geniş yayılmışdır. Bu platformalar əsasında qurulmuş sistemlər aşağı enerji sərfiyyatı ilə seçilir. Xüsusilə STM32 mikrokontrollerləri real-zaman işləmə qabiliyyəti ilə sənaye tətbiqlərində geniş istifadə olunur. Lakin paralel emal və az gecikmə tələb edən məsələlərdə bu platformalı sistemlərin tətbiqinə məhdudiyyətlər qoyulur. Təklif olunan FPGA əsaslı "ağıllı ev" IoT modulu isə daha yüksək performansa malikdir. Bu səbəbdən o alternativ həll kimi istifadə oluna bilər.

2.4.1. FPGA-nın üstünlükləri.

I. Paralel işləmə.

FPGA bir neçə əməliyyatı paralel şəkildə icra edə bilir. Bu isə çoxsaylı sensor məlumatlarının real vaxtda emal edilməsinıı təmin edir.

II. Deterministik real-zaman işləmə.

FPGA aparat səviyyəsində sabit və minimal gecikmə ilə işləmə təmin edir.

III. Az gecikmə.

Proqram qatının olmaması səbəbindən giriş-çıxış reaksiyası çox sürətlidir.

IV. Yüksək etibarlılıq.

Əməliyyat sistemindən asılılığın olmaması sistemin sabitliyini artırır.

V. Elastiklik.

FPGA proqramlaşdırıla bilən qurğu olduğundan sistem dinamik şəkildə yenidən konfiqurasiya edilə bilər.

VI. Təhlükəsizlik üstünlükləri.

FPGA aparat səviyyəsində aşağıdakı təhlükəsizlik mexanizmlərinin tətbiqinə imkan verir:
• Aparat səviyyəsində şifrələmə;
• Real-zaman təhlükəsizlik monitorinqi;
• Hücumların erkən aşkarlanması;
• Etibarlı və sabit sistem davranışı.

Cədvəl 1-də müxtəlif platformaların müqaisəli analizi təqdim edilmişdir.

Xüsusiyyət	**Arduino**	**ESP32**	**STM32**	**FPGA**
İş prinsipi	Ardıcıllıq	Ardıcıllıq	Ardıcıllıq	Paralel
Real-zaman	Məhdud	Orta	Yüksək	Çox yüksək
Gecikmə	Orta	Orta	Aşağı	Çox aşağı
Performans	Aşağı	Orta	Yüksək	Çox yüksək
Təhlükəsizlik	Proqram səviyyəsi	Proqram səviyyəsi	Proqram səviyyəsi	Aparat səviyyəsi
Elastiklik	Orta	Yüksək	Yüksək	Çox yüksək

Cədvəl 1. Müxtəlif platformaların müqaisəli analizi

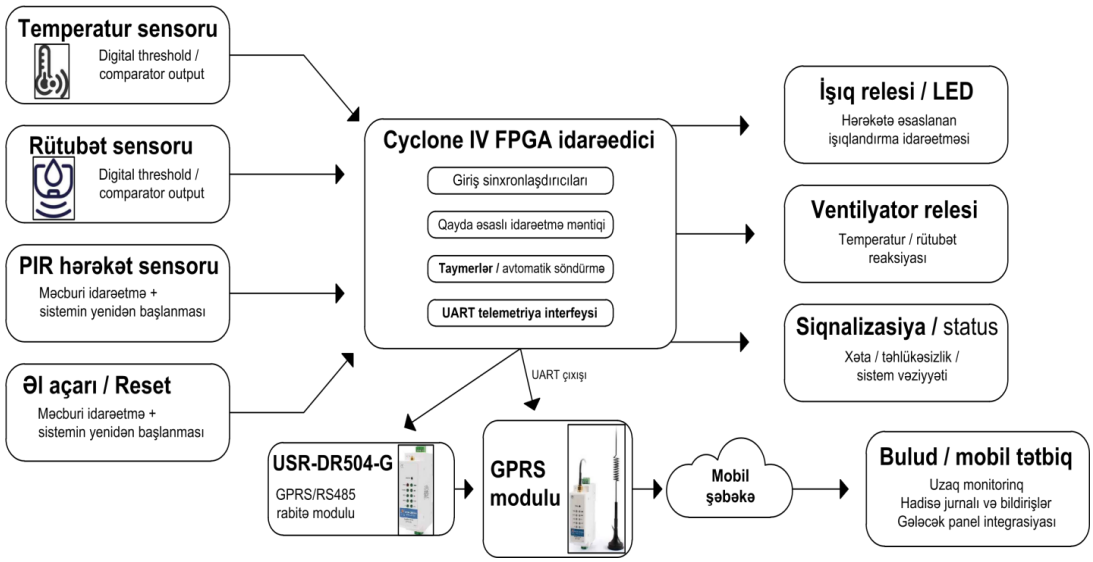
Yuxarıda qeyd olunan problemləri nəzərə alaraq, növbəti bölmədə "ağıllı ev" IoT sistemi üçün alternativ həll olaraq FPGA əsaslı arxitektura təqdim olunur.

3. Təklif olunan FPGA əsaslı "Ağıllı Ev" IoT sistemi.

Bu işdə IoT əsaslı "ağıllı ev" sistemləri üçün FPGA texnologiyasına əsaslanan aparat yönümlü həll təklif olunur. Mikrokontroller əsaslı "ağıllı ev" qovşaqları ilə müqayisədə FPGA əsaslı idarəetmə paralel icra imkanı yaradır. Deterministik zamanlama təmin edilir və hadisələrə çox az gecikmə ilə reaksiya təmin edilir. Bu xüsusiyyətlər real vaxt emalı, etibarlı işə salınma və təhlükəsizlik tədbirlərinin genişləndirilməsini tələb edən yeni nəsil "ağıllı ev" alt-sistemləri üçün FPGA texnologiyasının tətbiqini zəruri edir.

3.1 Sistem arxitekturası

Şəkil 2-də GPRS şlüzü ilə FPGA əsaslı "ağıllı ev" IoT sisteminin arxitekturası verilmişdir. Təklif olunan arxitektura dörd funksional blokdan ibarətdir: (I) hərəkət, temperatur və rütubət üçün sensor girişləri, (II) qayda əsaslı "ağıllı ev" məntiqini, taymerləri və UART telemetriyanı həyata keçirən Cyclone IV FPGA idarəedicisi, (III) işıqlandırma, ventilyator idarəetməsi və siqnalizasiya/status üçün aktuator çıxışları və (IV) FPGA hadisələrini uzaq bulud panelinə və ya mobil tətbiqə ötürən USR-DR504-G sənaye modem bazalı GPRS/RS485 mobil rabitə şlüzü. Bu çox laylı arxitektura lokal Wi-Fi infrastrukturunun mövcud olmadığı hallarda belə real vaxt rejimində lokal idarəetməni təmin edir və müxtəlif tətbiq mühitlərində, o cümlədən yaşayış, sənaye və uzaq ərazilərdə effektiv istifadə oluna bilər.



Şəkil 2. GPRS şlüzü ilə FPGA əsaslı "ağıllı ev" IoT sisteminin arxitekturası

3.2 Funksional ssenari

FPGA sensor girişlərini fasiləsiz qiymətləndirir. Hərəkət aşkar edildikdə işıqlandırma çıxışı aktivləşdirilir. İşıqlandırma sistem parametrlərinə uyğun olaraq müəyyən edilmiş müddət ərzində saxlanılır. Temperatur və ya rütubət təyin olunmuş həddi aşdıqda ventilyator çıxışı aktivləşdirilir. Temperaturun qiymətində kritik vəziyyət və hərəkət olması aşkarlanarsa, sistem siqnalizasiya çıxışını aktiv edə bilər. Bundan əlavə, hər bir hadisə UART vasitəsilə seriyalaşdırılaraq USR-DR504-G modeminə ötürülür. Bundan sonra modem tərəfindən məlumatlar TCP/IP, MQTT və ya digər telemetriya protokolları üzərindən mobil şəbəkə vasitəsilə uzaq monitorinq üçün göndərilə bilər.

3.3 Tövsiyə olunan Cyclone IV pin planı.

Cədvəl 2-də Cyclone IV EP4CE6 sinifli FPGA inkişaf lövhəsi [4] üçün sistem dizaynına uyğun pin təyinatları təqdim olunmuşdur.

Siqnal	İstiqamət	Təklif olunan pin	Şərh
clk_50mhz	Giriş	PIN_23	50 MHz sistem saatı şablonu
reset_n	Giriş	PIN_88	Reset düyməsi / açarı
pir_in	Giriş	PIN_89	PIR hərəkət sensorunun çıxışı
temp_high_in	Giriş	PIN_90	Temperatur həddi siqnalı
humid_high_in	Giriş	PIN_91	Rütubət həddi siqnalı
manual_override	Giriş	PIN_92	İşığın əl ilə məcburi idarəsi
light_out	Çıxış	PIN_84	LED və ya rele sürücüsü
fan_out	Çıxış	PIN_85	Ventilyator relesi sürücüsü
alarm_out	Çıxış	PIN_86	Siqnalizasiya və ya status LED-i
uart_tx	Çıxış	PIN_87	Modemin RX girişinə və ya USB-UART-a qoşulur

Cədvəl 2. FPGA əsaslı "ağıllı ev" prototipi üçün tövsiyə olunan Quartus pin təyinatları.

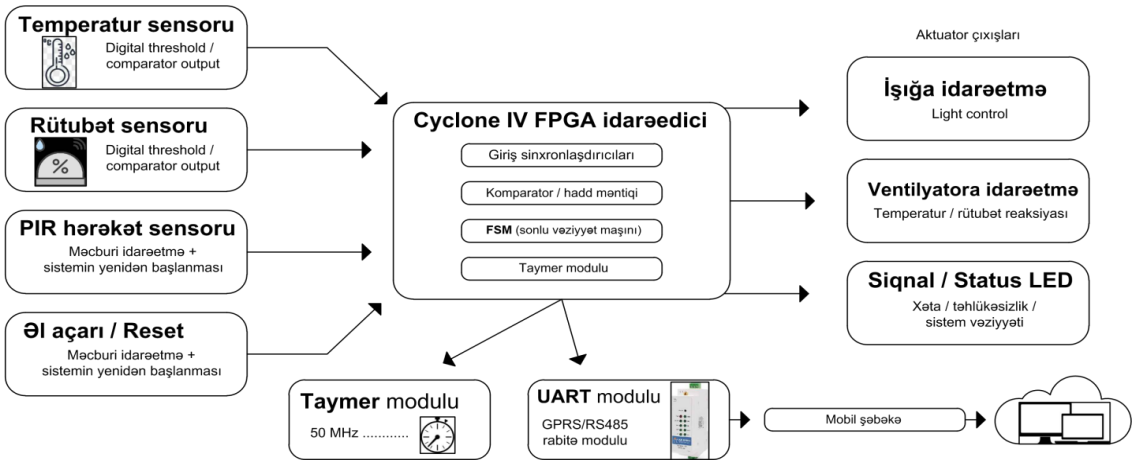
FPGA idarəedicisinin işləmə prinsiplərini daha aydın göstərmək üçün Şəkil 3-də daxili blok diaqram təqdim olunur. FPGA daxilində idarəetmə məntiqinin daha aydın izahı üçün sonlu vəziyyət maşını (FSM) modeli tətbiq edilmişdir. FSM sensor hadisələrinə əsasən sistemin vəziyyətlərini (idle, active, alarm) idarə edir və çıxış siqnallarının avtomatik və deterministik şəkildə formalaşmasını təmin edir.

3.4. FPGA ƏSASLI "AĞILLI EV" IOT SISTEMINDƏ FSM (CONTROL LOGIC)

FPGA daxilində idarəetmə məntiqi FSM əsasında qurulmuşdur. FSM sensor girişlərini analiz edərək sistemi üç əsas vəziyyətdə idarə edir və çıxış siqnallarının deterministik şəkildə formalaşmasını təmin edir.

FSM aşağıdakı vəziyyətlərdən ibarətdir:

- **S0 – Idle:** Sistem gözləmə rejimindədir və sensorları monitorinq edir;
- **S1 – Active:** Hərəkət və ya həddaşımı olduqda aktuatorlar aktivləşdirilir.



Şəkil 3. FPGA əsaslı "ağıllı ev" IoT idarəetmə blokunun daxili funksional diaqramı

- **S2 – Alarm/Timeout:** Kritik vəziyyət və ya taymer hadisəsi olduqda siqnalizasiya və ya avtomatik söndürmə aktivləşir

FSM aşağıdakı vəziyyətlərdən ibarətdir:

- **S0 – Idle:** Sistem gözləmə rejimindədir və sensorları monitorinq edir
- **S1 – Active:** Hərəkət və ya həddaşımı olduqda aktuatorlar aktivləşdirilir
- **S2 – Alarm/Timeout:** Kritik vəziyyət və ya taymer hadisəsi olduqda siqnalizasiya və ya avtomatik söndürmə aktivləşir

Keçidlər (Transitions):

- S0 → S1: sensor hadisəsi (motion və ya threshold)
- S1 → S2: timeout və ya kritik vəziyyət
- S2 → S0: təhlükə aradan qalxdıqdan sonra

Bu FSM modeli sistemin real vaxt rejimində etibarlı və deterministik idarə olunmasını təmin edir. Aşağıda bu məntiqi göstərən sadələşdirilmiş Verilog nümunəsi təqdim olunur.

3.5. Verilog əsasında FSM məntiqinin nümunə fraqmenti.

FSM (Finite State Machine/ Sonlu vəziyyət maşını) modeli əsasında qurulmuş İdarəetmə məntiqi, Verilog HDL dilində reallaşdırılmış, ModelSim-də simulyasiya edilmiş və Quartus® Prime Design Suite Standard Edition 25.1std mühitində sazlanmışdır. FSM modeli sistemin real vaxt rejimində etibarlı və deterministik idarə olunmasını təmin edir. Verilog HDL [5] əsasında həyata keçirilən idarəetmə məntiqinin sadələşdirilmiş fraqmenti aşağıda verilmişdir:

```
always @(posedge clk or negedge reset_n) begin
 if (!reset_n)
 current_state <= S0_IDLE;
 else
 current_state <= next_state;
end
always @(*) begin
 case (current_state)
 S0_IDLE:
 if (motion_in || temp_high_in || humid_high_in)
 next_state = S1_ACTIVE;
 else
 next_state = S0_IDLE;
 S1_ACTIVE:
 if ((temp_high_in && motion_in) || timeout)
 next_state = S2_ALARM;
 else
 next_state = S1_ACTIVE;
 S2_ALARM:
 if (!motion_in && !temp_high_in && !humid_high_in)
 next_state = S0_IDLE;
 else
 next_state = S2_ALARM;
 default: next_state = S0_IDLE;
 endcase
end
```

Bu fraqment FSM-in vəziyyətlərarası keçid məntiqini göstərir. Tam Verilog təsviri laboratoriya tətbiqi və sonrakı prototipləşdirmə mərhələsində istifadə oluna bilər.

Nəticə

Nəticə olaraq demək olar ki, IoT əsaslı "ağıllı ev" idarəetmə sistemləri rəqəmsallaşdırma sahəsində ən perspektivli istiqamətlərindən biridir. Bu sistemlər istifadəçi rahatlığını artırmaqla yanaşı enerji səmərəliliyini və təhlükəsizliyi təmin edir. Bulud texnologiyaları ilə inteqrasiya bu sistemlərin daha funksional və miqyaslana bilən olmasına imkan yaradır. Bununla belə, təhlükəsizlik məsələlərinin düzgün idarə olunması bu sistemlərin uğurlu tətbiqi üçün əsas şərtdir.

Təklif olunan FPGA əsaslı "ağıllı ev" IoT modulu isə real vaxt emalı, yüksək etibarlılıq və aparat səviyyəsində təhlükəsizlik imkanları ilə seçilərək mövcud Mikrokontroller əsaslı həllərdən fərqlənir.

Gələcəkdə bu sistemin Bulud infrastrukturu, aparat kriptoqrafiyası, mobil telemetriya, əlavə sensor modulları ilə genişləndirilməsi "ağıllı ev" texnologiyalarının daha effektiv və təhlükəsiz inkişafına töhfə verəcək.

Ədəbiyyat siyahısı

[30] D. Witczak and S. Szymoniak, "Review of Monitoring and Control Systems Based on Internet of Things," Applied Sciences, vol. 14, no. 19, p. 8943, 2024. doi: 10.3390/app14198943.

[31] D. Saha, Smart Home Automation with IoT: The Ultimate DIY Guide for Making Smart Homes Using Open-Source Software, 2024.

[32] R. M. M. Salem, M. S. Saraya, and A. M. T. Ali-Eldin, "An industrial cloud-based IoT system for real-time monitoring and controlling of wastewater," IEEE Access, vol. 10, pp. 6528–6539, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3141977.

[33] Intel Corporation, "Cyclone IV Device Handbook, Volume 1: FPGA Device Family Overview," Version 2.0, Mar. 2016. [Online]. Available: https://docs.altera.com/v/u/docs/653974/cyclone-iv-device-handbook
[34] F. Bruno and G. Eschemann, The FPGA Programming Handbook: An Essential Guide to FPGA Design for Transforming Ideas into Hardware Using SystemVerilog and VHDL, 2nd ed. Birmingham, U.K.: Packt Publishing, 2024.

COMPARATIVE ANALYSIS OF AVL AND RED-BLACK TREES IN SEARCH OPERATIONS

Nabi Shadiyev
Baku Engineering University
Engineering
Baku, Azerbaijan
nshadiyev@std.beu.edu.az

***Abstract**: Nowadays, databases store large amounts of information; therefore, sorting and retrieving data becomes a difficult task. AVL trees and Red-Black trees are widely used data structures, implemented in various modern systems. This article analyzes AVL trees and Red-Black trees and compares their features in terms of data storage, balancing strategies, flexibility, and data retrieval speed. AVL trees are used for quick and frequent data access, while Red-Black trees are implemented in cases when the ability to quickly add and delete data is important.*
***Keywords**: binary search tree, AVL tree, Red-Black tree, time complexity, data retrieval*

INTRODUCTION

Smart decision-making often requires insights from high-quality data. However, modern databases contain vast amounts of information, making efficient data retrieval a difficult task. To address this issue, computer scientists use different data structures, such as trees, to keep data organized. AVL trees and Red-Black trees are widely implemented self-balancing binary search trees. By preserving balanced structures, these trees ensure high performance and fast data retrieval operations.

BINARY SEARCH TREES (BST)

A binary search tree (BST) is a non-linear hierarchical data structure that consists of nodes connected by edges. Each node can have at most two child nodes, referred to as the left child and the right child. For any given node, all values in its left subtree must be smaller than the node's value, while values in its right subtree must be greater than the node's value. The first node of the tree is called the root, and the nodes with no children are called leaves. The height of a binary tree equals the number of edges on the longest path from the root to a leaf. In the worst-case scenario, when the tree is unbalanced, the time complexity of the BST becomes $O(n)$ (in this article, n denotes the number of nodes in the tree). The time complexity of balanced BSTs will be discussed in the following sections [4].

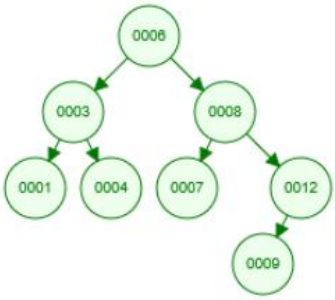


Fig. 12.Binary Search Tree visualization (USFCA BST Visualizer) [1]

AVL TREES

An AVL tree (named after inventors Adelson-Velsky and Landis) is a self-balancing binary search tree. Each node in the AVL tree has a balance factor. For any given node, the balance factor equals the difference between the heights of the left and right subtrees. To keep the AVL tree balanced, the balance factor of each node cannot be greater than 1 or less than −1.

$$Balance\ factor = left\ subtree\ height - right\ subtree\ height$$
$$-1 \leq Balance\ factor \leq 1 \Rightarrow Balanced\ Tree$$

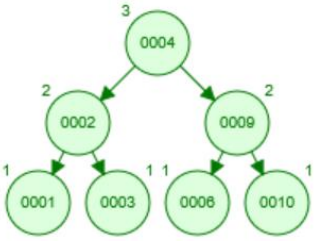


Fig. 13.AVL Tree visualization (USFCA AVL Tree Visualizer) [2]

Insertion or deletion of nodes can disturb the balance of the AVL tree. To maintain the BST properties and keep the tree balanced, it may rotate in one of the four ways:

5. Left-Left
6. Right-Right
7. Left-Right
8. Right-Left

The time complexity of insertion, deletion, and search functions for the AVL tree all equal to $O(log\ n)$. Rebalancing the tree after inserting or deleting a node may require up to $O(log\ n)$ rotations [7].

RED-BLACK TREES

A Red-Black tree is a self-balancing binary search tree data structure. Each node of the Red-Black tree contains an extra bit for "color" information, usually drawn as red and black. These colors are used to maintain balance during the insertion or deletion of nodes. A Red-Black tree must at all times follow these 5 properties:

6. Node Color Property: Each node can be either red or black.
7. Root Property: Root node of each tree should always be black.
8. Red node Property: Red nodes cannot have red child nodes.
9. Black Node Property: The number of black nodes in each path from a node to its descendant leaves must be equal.
10. Leaf Property: All leaves (NIL nodes) must be black.

To adhere to the properties, rotations are used for balancing the tree. The height of the longest subtree cannot be more than 2 times taller than the height of the shortest subtree.

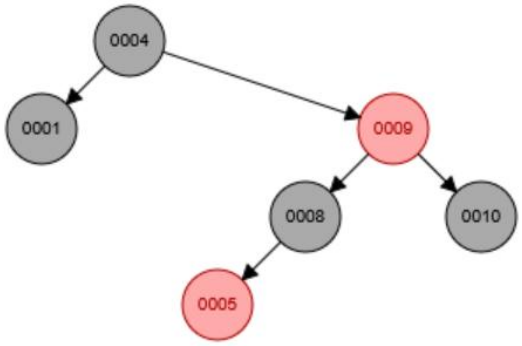


Fig. 14.Red-Black Tree visualization (USFCA Red-Black Tree Visualizer) [3]

Figure 3 shows a balanced Red-Black tree. The height of the right subtree is twice the height of the left. It also adheres to all 5 properties listed above. Similar to AVL trees, insertion, deletion, and search functions all take $O(log\ n)$ time. Rebalancing the tree after insertion of a node requires up to 2 rotations, while rebalancing after deletion requires up to 3 rotations [4].

PERFORMANCE COMPARISON

TABLE 2. Comparison Table for AVL and Red-Black Trees.

Functions	Red-Black Tree	AVL Tree
Balancing	The longest path can be at most twice as long as the shortest path. Results in relaxed balancing.	Height difference between subtrees is always less than one. Results in strict balancing
Insertion/Deletion	Faster as it requires fewer rotations	Slower as it requires more frequent and complex rotations
Storage	Lower. Requires only one bit (Boolean) for color of each node.	Higher. Needs to store balance factor (integer) for each node.
Search	Slower because the tree can be taller.	Faster because the tree is shorter, as it is strictly balanced
Rotation	Up to 2 rotations for insertion and 3 for deletion.	Insertion may require more frequent rotations, typically up to 2. Deletion may require multiple rebalancing steps after, each involving 1 or 2 rotations.

As seen from the table, AVL trees are better for quick data retrieval, but their strict balancing rules make insertion and deletion processes more complicated. Red-Black trees have opposite characteristics. Their relaxed balancing rules result in faster deletion and insertion of nodes. However, search operations for Red-Black trees take longer, as their structure is not as strictly balanced.

APPLICATIONS FOR AVL AND RED-BLACK TREES

AVL trees allow quick and frequent data retrieval; therefore, they are commonly used in read-heavy operations, such as database indexing, memory management, and dictionary lookups [6]. Red-Black trees are popular for their flexible structure. They are widely used in dynamic datasets and appear as a primary search structure in different libraries, including the Java Collections Framework and several implementations of the C++ Standard Template Library. They are also used within the Linux kernel and for machine learning [5].

CONCLUSION

In conclusion, AVL trees and Red-Black trees are two types of self-balancing binary search tree structures, each with its own advantages and disadvantages. Due to the flexibility of Red-Black trees, they are more widely used in operating systems and frameworks. However, AVL trees are more suitable when quick data retrieval is a crucial requirement. Both AVL and Red-Black trees are widely implemented data structures, and the choice between them depends on the requirements of the given task.

References

[8] D. Galles, “Binary search tree visualization,” University of San Francisco. [Online]: https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/BST.html

[9] D. Galles, “AVL tree visualization,” University of San Francisco. [Online]: https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/AVLtree.html

[10] D. Galles, “Red-black tree visualization,” University of San Francisco. [Online]: https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/RedBlack.html

[11] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein, *Introduction to Algorithms*, 3rd ed. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2009.

[12] P. Morin, “Red-black trees,” *Open Data Structures*. [Online]: https://opendatastructures.org/newhtml/ods/latex/redblack.html

[13] University of Washington, “Lecture 07: Dictionaries and AVL trees,” 2021. [Online]: https://courses.cs.washington.edu/courses/cse332/21au/lectures/lecture-07-dictionaries.pdf

[14] Massachusetts Institute of Technology, “Recitation 6: AVL trees,” 2011. [Online]: https://ocw.mit.edu/courses/6-006-introduction-to-algorithms-fall-2011/resources/recitation-6-avl-trees/

DATA ANALİTİKASININ KREDİT RİSKLƏRİNİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNDƏ ROLU

Məhəmməd Əhmədov
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
mehmedov13@std.beu.edu.az
Azərbaycan, Sumqayıt

XÜLASƏ
Data analitikası, kredit risklərinin qiymətləndirilməsində mühüm rol oynayır. Müasir maliyyə sektorunda kredit risklərinin düzgün qiymətləndirilməsi, həm maliyyə institutlarının dayanıqlığını təmin etmək, həm də borc verənlərin və kredit alanların maraqlarını qorumaq üçün vacibdir. Data analitikası, böyük məlumatların toplanması, təhlili və emalı prosesini optimallaşdırmağa kömək edir, kredit risklərinin qiymətləndirilməsini daha dəqiq və şəffaf edir.
Kredit risklərinin qiymətləndirilməsi zamanı ənənəvi metodlarla yanaşı, data analitikası vasitəsilə kredit alanların kredit tarixçəsi, gəlir vəziyyəti, borc ödənişləri və digər faktorlar daha dərindən təhlil edilir. Süni intellekt (AI) və maşın öyrənməsi (ML) alqoritmləri, borcalanların davranışlarını proqnozlaşdırmağa və potensial riskləri aşkar etməyə imkan verir. Məlumatların təhlili, həmçinin kredit siyasətini formalaşdıran qərarların daha obyektiv və məlumatlı şəkildə qəbul edilməsini təmin edir.
Eyni zamanda, data analitikası kredit risklərinin izlənməsi və idarə olunmasında da mühüm rol oynayır. Kredit portfellərinin daim monitorinqi, risklərin zamanla dəyişən təbiətini izləyərək, maliyyə institutlarının öz əməliyyatlarını daha çevik və effektli şəkildə idarə etmələrinə kömək edir. Data analitikası, həmçinin müxtəlif iqtisadi göstəriciləri, bazar təhlillərini və makroiqtisadi faktorları nəzərə alaraq, kredit risklərinin dinamikasını proqnozlaşdırmağa imkan verir.
Bu yanaşma, maliyyə qurumlarına daha dəqiq qiymətləndirmə və riskləri proaktiv şəkildə idarə etmə imkanı yaradır. Data analitikasının tətbiqi kredit risklərinin qiymətləndirilməsini optimallaşdırır və maliyyə sisteminin daha sağlam olmasına kömək edir.
Açar sözlər: *data, kredit, qiymətləndirmə, intellekt, maşın, borc, risk, maliyyə.*

GİRİŞ
Kredit risklərinin qiymətləndirilməsi, maliyyə sektorunun ən kritik aspektlərindən biridir və müasir iqtisadiyyatın sağlam işləməsi üçün vacibdir. Kredit riski, kredit alanın ödəmə qabiliyyəti ilə bağlı riskləri və ya borc verənin maliyyə itkilərinə uğrama ehtimalını ifadə edir. Bu risklər, borc verənin kredit vermə qərarını dəstəkləyən məlumatları düzgün və obyektiv şəkildə qiymətləndirə bilməməsi nəticəsində yaranır. Tradisional metodlarla bu qiymətləndirmə prosesi müəyyən məhdudiyyətlərə malik olsa da, data analitikası bu sahədə inqilabi dəyişikliklər yaratmışdır.
Data analitikası, böyük verilənlərin təhlili və işlənməsi ilə kredit risklərinin daha dəqiq qiymətləndirilməsinə imkan yaradır. Son illərdə, böyük məlumatların (big data) və alqoritmik yanaşmaların geniş tətbiqi, kredit qiymətləndirmə sistemlərində ciddi irəliləyişlərə səbəb olub. Bu yanaşmalar, kredit risklərinin daha şəffaf və doğru şəkildə müəyyən edilməsini təmin edir. Kredit verənlər, müasir analitik alətlərdən istifadə edərək, borc alanın maliyyə vəziyyətini, gəlirini, borc ödənişlərini, keçmiş kredit tarixçəsini və digər faktorları daha dərindən təhlil edə bilirlər.
Süni intellekt və maşın öyrənməsi (ML) kimi texnologiyalar, borc alanların davranışlarını proqnozlaşdırmağa, onların ödəmə qabiliyyətini təxmin etməyə və potensial riskləri aşkar etməyə imkan verir. Bu texnologiyalar, kredit verənlərə yalnız mövcud məlumatları deyil, həm də məlumatları zamanla dəyişən dinamikada qiymətləndirməyə imkan verir. Beləliklə, kredit verənlər, öz portfellərini daha yaxşı idarə edə və riskləri əvvəlcədən aşkar edərək proaktiv yanaşma tətbiq edə bilərlər.
Bu giriş, data analitikasının kredit riskləri sahəsindəki rolunun artdığını və bu yeni yanaşmanın maliyyə sektorunun daha dayanıqlı və səmərəli olmasına necə töhfə verdiyini nümayiş etdirir. Kredit risklərinin qiymətləndirilməsində data analitikası, həm qərar qəbuletmə proseslərini təkmilləşdirir, həm də kredit portfellərinin təhlükəsizliyini artırır.

TƏHLİL
Data analitikasının kredit risklərinin qiymətləndirilməsindəki rolu, müasir maliyyə sektoru üçün həyati əhəmiyyət kəsb edir. Bu yanaşma, xüsusən böyük verilənlərin istifadəsi ilə kredit verənlərin daha düzgün və məlumatlı qərarlar qəbul etmələrini təmin edir. Ənənəvi kredit qiymətləndirmə metodlarına nisbətən

data analitikası, daha şəffaf və obyektiv yanaşmalar təqdim edir. Bu bölmədə, data analitikasının kredit risklərinin qiymətləndirilməsində necə tətbiq olunduğu və bunun hansı üstünlükləri təmin etdiyi barədə təhlil aparılacaq[1,s.491].

Birincisi, data analitikasının kredit qiymətləndirməsində ən böyük üstünlüklərindən biri, məlumatların daha dərindən təhlilinə imkan verməsidir. Ənənəvi metodlarda, kredit verənlər əsasən borcalanın keçmiş ödəmə tarixçəsinə, gəlirinə və ümumi maliyyə vəziyyətinə əsaslanırdılar. Lakin, bu yanaşmalar, çox zaman əhəmiyyətli informasiya çatışmazlığına yol açır. Data analitikasının tətbiqi ilə isə borcalanın kredit tarixçəsi, ödəmə davranışları, gəlir strukturu, hətta sosial media fəaliyyətləri kimi müxtəlif mənbələrdən toplanan məlumatlar birləşdirilərək daha geniş və ətraflı bir təhlil aparılır. Bu yanaşma, məlumatların böyük həcmini emal edərək, potensial riskləri daha dəqiq şəkildə müəyyən etməyə imkan verir[2,s.512].

İkinci olaraq, süni intellekt (AI) və maşın öyrənməsi (ML) kimi texnologiyalar, kredit risklərinin qiymətləndirilməsi prosesində böyük rol oynayır. Bu alqoritmlər, əvvəlki məlumatlar əsasında proqnozlar verərək, borcalanların gələcək davranışlarını təxmin etməyə çalışır. Məsələn, maşın öyrənməsi alqoritmləri, borcalanın kredit ödənişlərindəki tendensiyaları, gecikmələri və ya ödənişlərdəki ani dəyişiklikləri əvvəlcədən təhlil edə bilər. Bu, kredit verənlərə, borcalanın ödəmə qabiliyyətini daha dəqiq qiymətləndirmək və riski idarə etməkdə kömək edir. Süni intellekt alqoritmləri, həmçinin zamanla adaptasiya olaraq, riskləri daha müasir və real vaxtda izləməyə imkan verir[3,s.491].

Üçüncü olaraq, data analitikası, kredit portfellərinin daha effektiv şəkildə izlənməsi və idarə olunmasını təmin edir. Kredit verənlər, portfellərindəki borcalanların risk vəziyyətini mütəmadi olaraq təhlil edərək, hansı müştərilərin yüksək riskdə olduğunu və hansı müştərilərə əlavə nəzarət və ya dəstək göstərilməli olduğunu müəyyən edə bilərlər. Bu da həmçinin kreditin verilməsi, qiymətləndirilməsi və tənzimlənməsi zamanı daha çevik qərarların qəbul olunmasına şərait yaradır. Məsələn, yüksək riskli müştərilərlə bağlı daha sərt şərtlər qoyulması və ya daha yüksək faiz dərəcələri tətbiq edilə bilər[4,s.230].

Bir digər üstünlük, data analitikasının, yalnız kredit risklərinin qiymətləndirilməsinə deyil, həmçinin risklərin idarə olunmasına da kömək etməsidir. Kredit verənlər, portfellərindəki riskləri davamlı izləyərək, uyğun tədbirlər görə bilərlər. Bu, əvvəlcədən müəyyən edilmiş qaydalara əsasən risklərə cavab vermək imkanı yaradır və beləliklə kredit verənlərin əməliyyatlarını daha proaktiv və səmərəli şəkildə idarə etməyə imkan verir. Məsələn, bir borcalan ödənişdə gecikmə yaşadığı halda, bu məlumat real vaxtda təhlil edilə bilər və ona uyğun bir müdaxilə edilə bilər[5,s.519].

Nəhayət, data analitikasının əsas üstünlüklərindən biri, risklərin ölçülməsi və idarə olunmasında daha şəffaf bir yanaşma təqdim etməsidir. Həm maliyyə institutları, həm də tənzimləyici qurumlar, data analitikası vasitəsilə kredit risklərinin necə qiymətləndirildiyini daha açıq şəkildə izləyə və qiymətləndirə bilərlər. Bu, maliyyə sisteminin daha sağlam və dayanıqlı olmasına kömək edir və kredit verənlərin qərarlarını daha ədalətli və şəffaf edir[6,s.600].

Nəticə olaraq, data analitikası kredit risklərinin qiymətləndirilməsi və idarə olunması sahəsində böyük bir inqilabi dəyişikliyə səbəb olmuşdur. Kredit verənlər, daha dəqiq və məlumatlı qərarlar qəbul edərək, riskləri effektiv şəkildə idarə edə bilərlər. Bu yanaşma, həmçinin kredit verənlər üçün daha müasir və çevik idarəetmə metodları təqdim edərək, maliyyə sektorunun sağlamlığını artırır[7,s.650].

Cədvəl 1: Data Analitikasının Kredit Risklərinin Qiymətləndirilməsində Rolu

Tətbiq Sahəsi	Ənənəvi Yanaşma	Data Analitikası ilə Tətbiq	Üstünlükləri
Kredit Risklərinin Qiymətləndirilməsi	Kredit tarixçəsi və gəlir əsaslı qiymətləndirmə	Böyük verilənlər (big data), sosial media məlumatları, davranış təhlili ilə daha dərindən qiymətləndirmə	Daha dəqiq və geniş məlumat bazasına əsaslanaraq risklərin müəyyənləşdirilməsi
Proqnozlaşdırma	Tarixi məlumatlara əsaslanan proqnozlar	Maşın öyrənməsi (ML) alqoritmləri ilə gələcəkdəki davranışların təhlili	Riskləri öncədən proqnozlaşdırmaq, daha sürətli və dəqiq müdaxilə
Riskin İdarə Edilməsi	İllik və ya müəyyən dövrlərlə qiymətləndirmə	Real vaxtda məlumatın təhlili ilə risklərin dinamik izlənməsi	Zamanında müdaxilə və risklərin müntəzəm izlənməsi
Şəffaflıq və Aydınlıq	Təxmini məlumat və qeyri-dəqiqlik	Məlumatların daha şəffaf və aydın təhlili	Daha şəffaf qərar qəbuletmə, tənzimləyici orqanlar üçün dəqiqlik
Adaptasiya və İnkişaf	Sabit qiymətləndirmə metodları	Süni intellekt və maşın öyrənməsi ilə adaptiv yanaşma	Zamanla dəyişən şərtlərə uyğunlaşan dinamik sistem
Portfel İzləmə və Nəzarət	Periodik yoxlamalar və yeniliklər	Davamlı və müntəzəm izləmə, proaktiv müdaxilə	Kredit portfellərinin daim izlənməsi və təhlükəsizlik tədbirləri

Mənbə:MDPI, "Big Data and Credit Risk Evaluation: A Systematic Review," DOI: 10.3390/jds2010007

Cədvəl 1 də, data analitikasının kredit risklərinin qiymətləndirilməsində ənənəvi yanaşmalarla müqayisədə necə daha effektiv və dəqiq tətbiq olunduğu izah edilir. Ənənəvi metodlar, əsasən kredit tarixçəsi və borcalanın gəliri kimi məlumatlara əsaslanırdı, bu da risklərin qiymətləndirilməsində məhdudiyyətlərə səbəb olurdu. Lakin, data analitikasının tətbiqi ilə, böyük verilənlər, sosial media məlumatları və digər məlumat mənbələri də daxil olmaqla daha geniş və kompleks məlumatlar təhlil edilir. Bu, daha dəqiq risk qiymətləndirməsinə və şəffaf qərar qəbuletməyə imkan verir[8,s.208].

Data analitikası vasitəsilə maşın öyrənməsi alqoritmləri, borcalanların gələcək davranışlarını proqnozlaşdırmağa və potensial riskləri aşkar etməyə kömək edir. Bu yanaşma, kredit verənlərin riski əvvəlcədən müəyyən etmələrini və müvafiq tədbirlər görmələrini təmin edir. Həmçinin, kredit portfellərinin izlənməsi daha çevik və daimidir, bu da risklərin vaxtında müəyyən edilməsi və qarşısının alınmasına imkan verir[9,s.512].

Məlumatların real vaxtda təhlili, kredit verənlərə kredit portfellərini müntəzəm olaraq izləməyə və yüksək riskli müştərilərlə bağlı daha sürətli qərarlar qəbul etməyə kömək edir. Bu, yalnız daha yaxşı kredit qiymətləndirilməsi ilə deyil, həm də risklərin daha tez idarə olunması ilə nəticələnir. Həmçinin, data analitikasının tətbiqi, kredit verənlərə daha şəffaf və obyektiv qərarlar verməyə imkan yaradır[10,s.600].

Son olaraq, data analitikasının adaptiv və dinamik xarakteri, kredit risklərinin qiymətləndirilməsində daha çevik yanaşmaların tətbiq olunmasını təmin edir. Zamanla dəyişən iqtisadi şərtlərə və borcalanların davranışlarına uyğunlaşa bilən sistemlər, kredit verənlərə daha uyğun və doğru qiymətləndirmələr aparmağa kömək edir. Bu cür yanaşmalar, kredit risklərinin qiymətləndirilməsini daha effektiv və etibarlı edir[11,s.650].

NƏTİCƏ

Data analitikasının kredit risklərinin qiymətləndirilməsində tətbiqi, maliyyə sektorunda böyük dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Ənənəvi metodların məhdudiyyətlərini aşaraq, data analitikası, daha geniş və kompleks məlumatların təhlili vasitəsilə kredit risklərini daha dəqiq qiymətləndirməyə imkan verir. Süni intellekt və maşın öyrənməsi kimi qabaqcıl texnologiyalar, borcalanların gələcək davranışlarını proqnozlaşdırmaq və riskləri daha erkən müəyyən etmək üçün mükəmməl alətlər təqdim edir.

Bu yanaşma kredit verənlərə daha çevik və məlumatlı qərarlar qəbul etməyə kömək edir. Həmçinin, kredit portfellərinin davamlı izlənməsi, potensial risklərin vaxtında aşkar edilməsinə və idarə edilməsinə imkan verir, bu da həm maliyyə institutları, həm də borcalanlar üçün daha güvənli və şəffaf mühit yaradır.

Data analitikasının tətbiqi, kredit risklərinin qiymətləndirilməsindəki prosesləri optimallaşdırmaqla yanaşı, həmçinin maliyyə sektorunun ümumi dayanıqlığını və səmərəliliyini artırır. Bu, kredit verənlərin daha etibarlı və təhlil edilmiş məlumatlarla qərar qəbul etmələrinə, daha az itki ilə qarşılaşmalarına və nəticədə ümumi iqtisadi mühitin sabitliyini təmin etmələrinə şərait yaradır. Data analitikasının kredit risklərinin qiymətləndirilməsindəki rolu, gələcəkdə maliyyə sahəsindəki inkişafları daha sağlam və davamlı edəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

12. Ələkbərov, Ə.Ə., Qurbanova, T.T., Məmmədova, G.Q., & Əlicanova, Ş.M. (2023). *Maliyyə risklərinin idarə edilməsi* (491 s.).
13. Baesens, B., Roesch, D., & Scheule, H. (2016). *Credit Risk Analytics: Measurement Techniques, Applications, and Examples in SAS* (512 s.).
14. Aləkbərov, Ə.Ə., Qurbanova, T.T., Məmmədova, G.Q., & Əlicanova, Ş.M. (2023). *Maliyyə risklərinin idarə edilməsi: dərslik*. İqtisad Universiteti nəşriyyatı. (491 s.)
15. Asurbeyli, H., & Nigar, P.*Maliyyə risklərinin idarə edilməsi* [PDF]. Bakı Dövlət Universiteti. 230 s.
16. Maystadt, P., Van Gestel, T., & Baesens, B. (2008). *Credit Risk Management: Basic Concepts*.519 s.
17. Duffie, D., & Singleton, K.J. (2003). *Credit Risk: Pricing, Measurement, and Management*. 600 s.
18. Thomas, L.C., Crook, J.N., & Edelman, D.B. (2017). *Credit Scoring and Its Applications*.650 s
19. Məmmədov, İ. N. (2021). *Banklarda risk menecmenti* (208 s.).
20. Baesens, B., Roesch, D., & Scheule, H. (2016). *Credit Risk Analytics: Measurement Techniques, Applications, and Examples in SAS* (512 s.).
21. Duffie, D., & Singleton, K. J. (2003). *Credit Risk: Pricing, Measurement, and Management*.600 s.
22. Thomas, L. C., Crook, J. N., & Edelman, D. B. (2017). *Credit Scoring and Its Applications* (650 s.).

DEVELOPMENT OF A PREDICTIVE MODEL FOR RENEWABLE ENERGY OUTPUT

Shahla Kazimzada **Nihad Alili**
Department of Information and technology *Department of Information and technology*
Baku Higher Oil School *Baku Higher Oil School*
Baku, Azerbaijan Baku, Azerbaijan
shahla.kazimzada.std@bhos.edu.az nihad.elili@bhos.edu.az

Abstract: The global energy sector is facing the ultimate transformation to prevent climate change and achieve 2030 sustainable development goals. As this issue becomes more important day by day, the focus is shifting to renewable and alternative energy sources. On the other hand, there is a need to forecast renewable energy output, and this thesis investigates the main problems faced in the industry using machine learning and statistical approaches. A data-driven approach is the key to solving the problem of generating, storing, and forecasting renewable energy output by analyzing historical datasets, environmental parameters, and economic indicators. This research clearly demonstrates that data-driven approaches significantly outperform traditional forecasting methods. Key findings indicate that while solar irradiance and weather conditions are primary local drivers for power output, GDP and existing energy infrastructure are critical macroeconomic predictors for renewable energy adoption.
Keywords: Machine Learning, Renewable Energy, Energy Transition, Predictive Modelling

INTRODUCTION

Transition towards sustainable energy comes with distinctive problems that needs to be solved. These problems range from inadequate grid infrastructure and constrained capital markets to a persistent dependence on fossil fuels and traditional biomass. Sub-Saharan Africa illustrates the scale of the challenge starkly by being the region has the lowest electrification rates in the world, with rural access falling as low as 8% which indicates hundreds of millions are without reliable power and reinforcing cycles of poverty, health inequity, and limited economic participation. Against this backdrop, recent advances shows that Artificial Intelligence and Machine Learning can be utilized as a potentially transformative enablers of renewable energy deployment. With the help of ML models it is possible to process vast, heterogeneous datasets. These datasets span meteorological records, grid-load profiles, socioeconomic indicators, and policy variables. To forecast adoption trajectories and optimize energy production with a precision that traditional statistical approaches struggle to achieve data mining and exploratory data analysis plays a crucial role.

The aim of this study is to develop a robust, data-driven predictive model that are capable of estimating renewable energy penetration. The goal is to isolate the key technical, economic, and institutional drivers that accelerate or impede the transition across developing-countries. Such a framework is not merely an academic exercise; it responds to an urgent practical need as variable renewable sources require reliable forecasting tools to manage supply–demand volatility, guide grid-integration strategies, and inform market design. This would ensure that the shift to cleaner energy translates into stable, affordable, and equitable electricity access rather than new forms of systemic fragility.

LITERATURE REVIEW

Traditional forecasting methods often fail to capture nonlinear complexities as they rely on physical models which simulate interactions between environmental factors and energy output. In contrast, studies have shown that ensemble learning methods, such as the **ExtraTreesRegressor**, provide superior accuracy and generalisation.

Recent research in specific locations has further refined these models:

- Solar PV: Experimental models in Calabar, Nigeria have been initiated to predict and estimate the output based on different features such as local weather which reveals that solar irradiance is the most significant contributor to generation, followed by temperature and humidity.
- Comparison of Algorithms: Comparison of Linear Regression (LR), Random Forest Regression (RFR), and Decision Tree Regression (DTR) depicts that Random Forest is the most successful method due to its high R^2 value (0.9995) and minimal error metrics according to the research carried out in Newcastle, UK.

- Spatio-Temporal Frameworks: This models combine Convolutional Neural Networks with Long Short-Term Memory (CNN-LSTM) which capture both complex correlations in meteorological variables and temporal dependencies in generation patterns.

I. METHODOLOGY

A. *Data Collection and Preprocessing*

Different data sources like "Our World in Data", NREL databases, and EIA datasets, including specific meteorological data such as temperature, humidity, solar irradiance, and wind speed are analyzed for localized studies.

Preprocessing involved:

- **Exploratory Data Analysis:** a critical stage to look at and picture the data to learn about its primary features, examine how different variables are related, and find patterns
- **Data Cleaning**: Finding and getting rid of any data that is missing, duplicated, or not relevant.
- **Feature Engineering**: In order to achieve better results some variables are derived from original data and new features such as GDP per capita, non-renewable electricity consumption, and temporal cyclic features are calculated to capture periodic behaviors.
- **Normalization**: Scaling variables using Min-Max expansion to ensure all parameters fall within a single scale for efficient training.

B. *Model Selection and Evaluation*

Several models with different approaches are built and researched. In order to automate the process and benchmark models Lazy Predict and similar libraries are utilized. ExtraTreesRegressor models consistently outperformed other models showing superior R^2 and Root Mean Square Error (RMSE) metrics. On the other hand, Multiple Linear Regression (MLR) models are identified as good for solar-specific data which is expressed as:

$$P = a * G + n * T + m * H + c$$

Where P is power output, G is irradiance, T is temperature, and H is humidity.

RESULTS AND DISCUSSION

A. *Global Predictive Performance*

The **ExtraTreesRegressor** demonstrated exceptional accuracy across diverse renewable sources:

- **Solar PV**: The model identified **non-renewable electricity consumption and GDP** as the most influential drivers and achieved R^2 of 0.9849 in test sets.
- **Wind Power**: Results shows that GDP was the dominant predictor (0.40 mean importance), underscoring that economic strength facilitates wind energy adoption which produced a R^2 of 0.9969.
- **Hydropower**: While achieving a high R^2 (0.9960), this model results in higher MSE (33.35), which is due to geographical and infrastructural complexities that are unique to hydro systems.
- **Biomass**: Illustrated a balanced performance with an R^2 of 0.9960 and was largely driven by different localized consumption patterns.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

To conclude, it has been identified that machine learning and statistical models are highly effective at predicting the renewable energy output and adoption rates. While there are too many aspects in the adoption of renewable energy to simplify the models top 4-5 predictors (such as GDP, population, and irradiance) are focused on which helped to maintain high accuracy while enhancing interpretability for stakeholders in data-poor regions.

REFERENCES

[1] Aljohani, R. M., & Almansour, A. (2025). Predictive Models for Renewable Energy Generation and Demand in Smart Cities: A Spatio-Temporal Framework. *Smart Cities* (MDPI).

[2] Ibrahim, A. T., Amajama, J., & Obojor-Ogar, L. (2024). Development of a Predictive Model for Solar Panel Output Based on Weather Conditions in Calabar. *International Journal of Natural and Applied Sciences (IJNAS)*, 17(1&2), 15–21.

[3] Osadolor, A. O., Showole, A. O., Eze, T. J., Owulo, R. O., & Asamoah, G. A. (2024). Illuminating the Future: Predictive Modelling of PV Output Using Machine Learning Techniques. *European Journal of Artificial Intelligence and Machine Learning*, 3(2).

[4] Ossai, W., & Fagbola, T. M. (2025). Machine learning-based predictive modelling of renewable energy adoption in developing countries. *Energy Reports*, 14, 66–84.

[5] Stilinki, D., & Klaus, H. (2024). Predictive Modeling and Forecasting for Renewable Energy: Developing Innovative Data-Driven Models and Machine Learning Techniques. *EasyChair Preprint* № 13815

DYNAMIC MODEL SELECTION FRAMEWORK ON KUBERNETES-BASED EDGE CLUSTER

Rasim Mahmudov
Information Technology and Programming
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
rkmahmudov@gmail.com

Shahla Uralova
Cyber Security and Computer Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
suralova@beu.edu.az

Amil Babayev
Cyber Security and Computer Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
amilb@beu.edu.az

Abstract: Deploying deep learning models on edge devices requires balancing accuracy and latency under dynamic resource constraints. Static deployment strategies often fail to adapt to varying workloads and hardware limitations. In this paper, we propose a Kubernetes-based framework for dynamic model selection in edge AI environments, targeting detection tasks including object, face, and mask detection. The proposed system maintains multiple compressed variants of detection models generated through structured pruning, post-training quantization (PTQ), and quantization-aware training (QAT). A lightweight decision module monitors runtime metrics such as CPU utilization, memory availability, and inference latency, and dynamically selects the most appropriate model for execution. We implement the framework on a containerized edge cluster and evaluate its performance across diverse scenarios. Experimental results demonstrate that dynamic model selection improves resource utilization and reduces average inference latency while maintaining competitive accuracy compared to static deployment strategies.
This work highlights the importance of integrating model optimization with orchestration-level intelligence for practical edge AI systems.
Keywords: *Edge Computing, Kubernetes, Model Selection, Quantization (PTQ/QAT), Pruning, Object Detection, Face Detection*

I. INTRODUCTION

Edge artificial intelligence (Edge AI) enables real-time data processing near the source, reducing latency, bandwidth usage, and dependence on cloud infrastructure. This makes it highly suitable for applications such as surveillance, smart transportation, and healthcare monitoring. However, edge devices often have limited computational resources, which makes the deployment of deep learning models challenging [1][2].
Detection tasks such as object, face, and mask detection require both high accuracy and fast inference, but full-precision deep learning models are often too heavy for resource-constrained edge environments [3]. To address this issue, optimization techniques such as pruning, post-training quantization (PTQ), and quantization-aware training (QAT) are commonly used. Still, a single optimized model cannot provide the best performance under all runtime conditions [4].
In dynamic edge environments, system load, memory usage, and latency may change over time, making static model deployment inefficient. Therefore, there is a need for adaptive systems that can select the most suitable model according to current resource conditions.
In this paper, we propose a Kubernetes-based dynamic model selection framework for edge AI detection tasks. The framework supports multiple optimized model variants and selects the most appropriate one at runtime based on system metrics such as CPU usage, memory availability, and inference latency. The proposed approach aims to improve resource efficiency and reduce latency while maintaining acceptable detection performance.

II. METHODOLOGY

The proposed framework is designed to enable dynamic model selection for detection tasks in a Kubernetes-based edge environment. The system is intended for scenarios in which multiple detection services, such as object detection, face detection, and mask detection, operate under changing resource conditions. Since edge devices and edge clusters often face limitations in CPU capacity, memory availability, and inference speed, the framework focuses on selecting the most suitable model variant at runtime instead of relying on a single static deployment [5].

2.1 System Architecture and Kubernetes-Based Deployment

The proposed framework is deployed on a Kubernetes-based edge cluster to support efficient and adaptive execution of detection tasks. The system is designed for environments where resource availability and workload may change over time, making static deployment less effective.

The architecture includes containerized inference services, a metrics collection component, and a control mechanism for managing model execution. Each model is deployed as a separate service in the cluster, which improves modularity, simplifies management, and supports flexible deployment. Kubernetes is used as the orchestration layer to manage these services, schedule workloads, and maintain system operation across the cluster.

In addition, a metrics collector monitors runtime parameters such as CPU usage, memory consumption, and inference latency. These metrics provide the system with the information needed to respond to changing operating conditions. Overall, this architecture provides a practical and scalable foundation for dynamic model selection in edge AI environments.

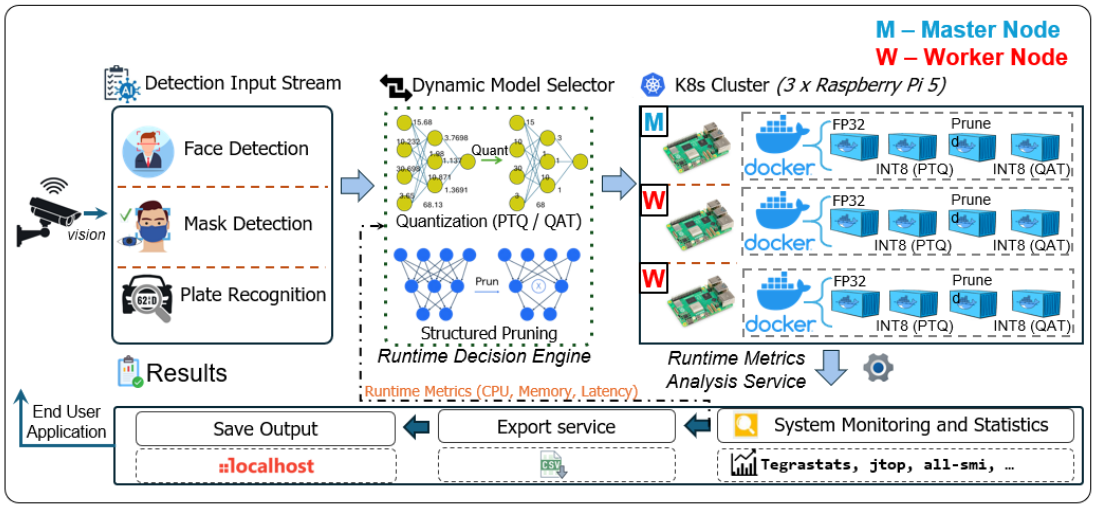


Figure 1. Overview of the proposed dynamic model selection framework for edge AI. The system selects among multiple model variants (FP32, PTQ, QAT, and pruned models) based on real-time resource metrics within a Kubernetes-managed edge cluster.

2.2 Model Variants and Dynamic Selection Strategy

To achieve adaptive inference, the proposed framework supports multiple variants of detection models with different performance and resource characteristics. In this study, the main variants include the baseline FP32 model and the PTQ-based INT8 model. The baseline model provides higher accuracy but requires more computational resources, while the PTQ model reduces memory usage and inference cost, making it more suitable for resource-constrained conditions.

In addition to these variants, the framework also considers pruned and QAT-based models during runtime adaptation. This allows the system to select a model according to the current state of the edge environment instead of relying on a single fixed version [4], [10]-[12].

The selection process is based on runtime metrics such as latency and available system resources. If inference latency exceeds a predefined threshold, the system switches to a lighter model, such as a pruned model, in order to improve response time. If sufficient resources are available, the framework selects a more accurate model, such as a QAT-based model. In this way, the proposed strategy aims to balance inference speed, resource efficiency, and detection performance under changing operating conditions.

III. EXPERIMENTS

The proposed framework was evaluated in a Kubernetes-based edge environment to analyze its behavior under different runtime conditions. The experiments focused on detection tasks such as object detection, face detection, and mask detection, which represent common real-time computer vision workloads in edge AI systems. The purpose of the evaluation was to examine how the framework adapts model selection according to system conditions and how this affects overall performance.

The experimental setup included an edge node configured to run containerized inference services within the cluster. Different model variants were deployed and tested under varying resource and workload conditions. In particular, the experiments considered the baseline FP32 model together with optimized variants such as PTQ-based INT8, QAT-based, and pruned models. This allowed the framework to be evaluated in terms of both static and adaptive model execution scenarios.

To assess the effectiveness of the proposed approach, several performance metrics were considered. These included inference latency, frames per second (FPS), detection accuracy (mAP@0.5), CPU utilization, and memory usage. Latency and FPS were used to evaluate real-time responsiveness, while mAP@0.5 was used to measure detection quality. CPU and memory consumption were recorded to analyze the resource efficiency of each model variant within the edge cluster.

Overall, the experiments were designed to compare the inference performance, resource utilization, and detection accuracy of each model variant, and to evaluate whether dynamic model selection provides measurable improvements over static deployment strategies in a Kubernetes-based edge environment [6]-[9].

IV. RESULTS AND DISCUSSION

A. Comparison of Model Variants

Model Variant	Latency (ms)	FPS	mAP@0.5 (%)	CPU Util. (%)	Memory (MB)
FP32 Baseline (static)	112	8.9	28.1	89	378
PTQ INT8 (compressed)	54	18.5	26.3	68	118
QAT (compressed)	58	17.2	27.5	71	126
Pruned 30% (fastest)	38	26.3	25.7	54	198
Dynamic Selection (adaptive)	47	21.3	27.2	62	143

Table 1. Model Variant Performance Comparison

Table I presents the performance of each model variant evaluated on the edge cluster under controlled conditions. The FP32 baseline achieves the highest detection accuracy (mAP@0.5 = 28.1%), but incurs the highest inference latency (112 ms) and CPU utilization (89%), making it unsuitable for high-load edge scenarios. The PTQ INT8 model reduces latency by approximately 52% relative to the baseline while retaining competitive accuracy (mAP = 26.3%). The QAT model offers slightly better accuracy, latency tradeoff compared to PTQ, achieving mAP = 27.5% with a modest latency increase of 4 ms. The pruned model achieves the lowest latency (38 ms) and CPU utilization (54%), though it records the lowest mAP (25.7%). These results confirm that no single model variant is optimal across all conditions, motivating the dynamic selection approach.

B. Dynamic Selection Behavior

Scenario	CPU Load	Selected Model	Avg Latency (ms)	mAP@0.5 (%)	Action
Low load	< 40%	QAT	58	27.5	Accuracy priority
Medium load	40–70%	PTQ INT8	54	26.3	Balanced
High load / latency spike	> 70%	Pruned	38	25.7	Speed priority

Table 2. Dynamic Model Selection Under Varying Load Conditions

Table II illustrates the behavior of the decision module across three representative runtime scenarios. When CPU utilization remains below 40%, the framework selects the QAT model to prioritize accuracy. Under medium load (40 -70%), the PTQ INT8 model is selected to balance performance and resource consumption. When CPU utilization exceeds 70% or inference latency rises above the predefined threshold, the system switches to the pruned model to maintain real-time responsiveness. The average model transition overhead was measured at approximately 120 ms, which is acceptable for scenarios where workload changes occur gradually.

C. Dynamic vs. Static Deployment

Task	Static FP32 Latency (ms)	Dynamic Latency (ms)	Latency Reduction	Accuracy Drop (mAP)
Object detection	112	54	−52%	−1.8 pp
Face detection	94	46	−51%	−1.4 pp
Mask detection	78	40	−49%	−1.2 pp

Table 3. Detection Task Comparison (Dynamic Selection vs. Static FP32)

Table III compares dynamic model selection against static FP32 deployment across three detection task types. Dynamic selection reduces average inference latency by approximately 49–52% across all tasks, with a corresponding accuracy decrease of 1.2–1.8 percentage points in mAP. This accuracy trade-off is considered acceptable for real-time edge applications, where responsiveness is prioritized over marginal accuracy improvements. These findings suggest that integrating runtime-aware model selection within a Kubernetes orchestration layer provides a practical and scalable strategy for adaptive edge AI deployment.

V. CONCLUSION

This paper presented a Kubernetes-based dynamic model selection framework for edge AI detection tasks. The proposed system addresses the limitations of static deployment strategies by maintaining multiple compressed model variants, including FP32 baseline, PTQ INT8, QAT, and pruned models and selecting the most appropriate variant at runtime based on CPU utilization, memory availability, and inference latency.

Experimental results demonstrated that dynamic model selection reduces average inference latency by approximately 49-52% across object, face, and mask detection tasks compared to static FP32 deployment, with an accuracy decrease of only 1.2-1.8 percentage points in mAP@0.5. The QAT model was shown to offer the best accuracy efficiency trade-off under low-load conditions, while the pruned model provided the fastest inference under high-load scenarios. The average model transition overhead of 120 ms confirmed the practical feasibility of runtime adaptation within a Kubernetes-managed cluster.

The findings suggest that integrating model optimization techniques with orchestration-level intelligence is a viable and effective strategy for practical edge AI deployment. Future work will explore reinforcement learning-based selection policies, support for heterogeneous hardware targets such as GPU-equipped edge nodes, and extension to additional computer vision tasks beyond detection.

REFERENCES

[1] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning,” Nature, vol. 521, pp. 436–444, 2015.
[2] W. Shi et al., “Edge computing: Vision and challenges,” IEEE Internet Things J., vol. 3, no. 5, pp. 637–646, 2016.
[3] J. Redmon and A. Farhadi, “YOLOv3: An incremental improvement,” arXiv:1804.02767, 2018.
[4] R. Mahmudov, and K. Deok-Hwan. "QuantEdge: A hybrid quantization approach for optimized AI deployment across edge devices." IEEE Access 13 (2025): 161605-161618.
[5] S. Han, H. Mao, and W. J. Dally, “Deep compression: Compressing deep neural networks with pruning, trained quantization and Huffman coding,” in Proc. ICLR, 2016.
[6] M. Sandler et al., “MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks,” in Proc. CVPR, 2018, pp. 4510–4520.
[7] J. Lin et al., “MCUNet: Tiny deep learning on IoT devices,” in Proc. NeurIPS, 2020.
[8] The Linux Foundation, “Kubernetes: Production-grade container orchestration,” 2014. [Online]. Available: https://kubernetes.io
[9] X. Zhang et al., “RetinaFace: Single-shot multi-level face localisation in the wild,” in Proc. CVPR, 2020, pp. 5203–5212.
[10] Y. Li et al., “BRECQ: Pushing the limit of post-training quantization by block reconstruction,” in Proc. ICLR, 2021.
[11] Y. Kang et al., “Neurosurgeon: Collaborative intelligence between the cloud and mobile edge,” in Proc. ASPLOS, 2017, pp. 615–629.
[12] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, “ImageNet classification with deep convolutional neural networks,” in Proc. NeurIPS, 2012, pp. 1097–1105.

ELEKTRON TULLANTILARIN İDARƏ OLUNMASI VƏ YAŞIL TEXNOLOGİYALAR

Ruzigar Əliyeva
Naxçıvan Dövlət Universitetinin nəzdində Naxçıvan Dövlət Texniki Kolleci
ruzigareliyeva5@gmail.com
Naxçıvan, Azərbaycan Respublikası
https://orcid.org/0009-0006-4231-5643

Xülasə

Müasir dövrdə informasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı elektron tullantıların (e-waste) kəskin artmasına səbəb olmuşdur və bu, ciddi ekoloji və iqtisadi problemlər yaradır. Elektron tullantılar tərkibində təhlükəli maddələr saxlayaraq insan sağlamlığı və ətraf mühit üçün risklər yaradır (Forti et al., 2020). Eyni zamanda, bu tullantılar qiymətli metallar baxımından zəngindir və düzgün idarəetmə yolu ilə iqtisadi fayda əldə etmək mümkündür (Baldé et al., 2017).

Bu tədqiqatın məqsədi elektron tullantıların idarə olunması problemlərini təhlil etmək və yaşıl texnologiyaların bu sahədə rolunu araşdırmaqdır. Tədqiqat sistematik ədəbiyyat icmalı və analitik yanaşma metodlarına əsaslanır. Nəticələr göstərir ki, davamlı e-tullantı idarəçiliyi texnoloji innovasiya, hüquqi tənzimləmə və ekoloji maarifləndirmənin inteqrasiyasını tələb edir.

Açar sözlər: elektron tullantılar, yaşıl İT, davamlı inkişaf, təkrar emal, ekoloji təsir, dairəvi iqtisadiyyat

Giriş

XXI əsr informasiya və kommunikasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı ilə xarakterizə olunur. Bu inkişaf elektron cihazların istifadəsini artırmış və nəticədə elektron tullantıların həcmi sürətlə yüksəlmişdir (Forti et al., 2020).

Elektron tullantılar istifadədən çıxmış kompüterlər, mobil telefonlar, məişət texnikası və digər elektron avadanlıqları əhatə edir. Bu cihazların tərkibində qurğuşun, civə və kadmium kimi təhlükəli maddələr mövcuddur və düzgün idarə olunmadıqda ətraf mühitə ciddi zərər verir (Robinson, 2009).

Digər tərəfdən, elektron tullantılar qızıl, gümüş və mis kimi qiymətli materiallarla zəngindir. Bu resursların bərpası təbii ehtiyatlara olan tələbatı azaldır və dairəvi iqtisadiyyatın inkişafına töhfə verir (Baldé et al., 2017).

Yaşıl informasiya texnologiyaları (Green IT) bu problemlərin həllində mühüm rol oynayır və enerji səmərəliliyi, tullantıların azaldılması və davamlı texnologiyaların tətbiqini təşviq edir (Murugesan, 2008).

Materiallar və metodlar

Tədqiqat zamanı aşağıdakı metodlardan istifadə edilmişdir:

- Sistematik ədəbiyyat icmalı (Forti et al., 2020)
- Müqayisəli analiz (Baldé et al., 2017)
- Analitik-sintez metodu
- Konseptual yanaşma

Mənbələr əsasən Scopus, Web of Science və Google Scholar bazalarından seçilmişdir.

Elektron tullantı anlayışı (E-waste anlayışı)

Elektron tullantılar istifadədən çıxmış elektron və elektrik cihazlarıdır. Qlobal miqyasda bu tullantıların həcmi 50 milyon tondan çoxdur və hər il artmaqda davam edir (Forti et al., 2020).

Əsas xüsusiyyətləri:

- Sürətli artım
- Təhlükəli maddələrin mövcudluğu
- Qiymətli resursların olması

Yanlış utilizasiya torpaq, su və hava çirklənməsinə səbəb olur (Robinson, 2009)

Son statistik məlumatlara əsasən, dünya üzrə elektron tullantıların həcmi 2023-cü ildə 59 milyon tona çatmışdır və bu göstəricinin 2030-cu ilə qədər 74 milyon tona yüksələcəyi proqnozlaşdırılır. Azərbaycanda isə bu sahə üzrə dəqiq statistik məlumatlar məhdud olsa da, böyük şəhərlərdə elektron tullantıların həcminin sürətlə artdığı müşahidə olunur.

Ekoloji və sağlamlıq təsirləri

Elektron tullantıların tərkibində olan zərərli maddələr ciddi problemlər yaradır:

- Qurğuşun – sinir sisteminə zərər verir
- Civə – daxili orqanlara təsir edir

- Kadmium – torpağı və suyu çirkləndirir

Xüsusilə inkişaf etməkdə olan ölkələrdə qeyri-rəsmi emal prosesləri insan sağlamlığı üçün yüksək risk yaradır (Grant et al., 2013).

Elektron tullantıların idarə olunması strategiyaları

Effektiv idarəetmə aşağıdakı istiqamətləri əhatə edir:

1. Təkrar emal (Recycling) - Qiymətli materialların bərpasını təmin edir (Baldé et al., 2017).

2. Yenidən istifadə (Reuse) - Cihazların ömrünü uzadır və tullantıları azaldır.

3. Dairəvi iqtisadiyyat - Resursların dövri istifadəsini təşviq edir (Geissdoerfer et al., 2017).

4. İstehsalçı məsuliyyəti (EPR) - İstehsalçıların məhsulun həyat dövrünə cavabdeh olması (Widmer et al., 2005).

Üsul	**Üstünlüklər**	**Çatışmazlıqlar**
Təkrar emal	Resursların bərpası	Bahalı texnologiya tələb edir
Yenidən istifadə	Tullantını azaldır	Məhdud tətbiq sahəsi
Yandırma	Həcmi azaldır	Ekoloji zərərlidir
Poliqon	Sadə üsuldur	Uzunmüddətli çirklənmə yaradır

Yaşıl texnologiyaların rolu

Yaşıl texnologiyalar elektron tullantıların idarə olunmasında mühüm rol oynayır:

- Enerji səmərəli emal sistemləri
- Ekoloji dizayn (eco-design)
- Bioloji parçalana bilən materiallar
- Ağıllı tullantı idarəetmə sistemləri

Bu texnologiyalar həm ətraf mühitə təsiri azaldır, həm də iqtisadi səmərəliliyi artırır (Murugesan, 2008).

Hüquqi tənzimləmə və siyasətlər

Elektron tullantıların idarə olunması üçün beynəlxalq və milli səviyyədə müxtəlif qaydalar mövcuddur:

- WEEE direktivi (Avropa İttifaqı)
- Basel Konvensiyası
- Milli ekoloji qanunvericiliklər

Bu siyasətlərin məqsədi:

- Ətraf mühitin qorunması
- Təkrar emalın təşviqi
- Təhlükəsiz utilizasiya (Kiddee et al., 2013)

Müzakirə

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, elektron tullantıların idarə olunması çoxşaxəli problemdir və texnoloji, iqtisadi və sosial aspektləri əhatə edir.

Forti et al. (2020) problemin qlobal miqyasını vurğulayır, Baldé et al. (2017) isə resursların bərpası potensialını ön plana çəkir. Murugesan (2008) yaşıl texnologiyaların tətbiqinin vacibliyini qeyd edir.

Bununla belə, əsas problemlər qalmaqdadır:

- Maarifləndirmənin aşağı səviyyədə olması
- Qeyri-rəsmi emal sektorunun geniş yayılması
- Texnoloji və maliyyə resurslarının çatışmazlığı

Bu problemlərin həlli üçün kompleks yanaşma tələb olunur.

Azərbaycan Respublikasında da elektron tullantıların idarə olunması istiqamətində mühüm addımlar atılmaqdadır. Ölkəmiz **Basel Konvensiyasına** qoşulmaqla təhlükəli tullantıların beynəlxalq daşınması və utilizasiyası sahəsində üzərinə öhdəliklər götürmüşdür. Xüsusilə son illərdə ölkədə "Yaşıl iqtisadiyyat" və "Təmiz ətraf mühit" prioritetləri çərçivəsində elektron tullantıların toplanması üçün xüsusi konteynerlərin quraşdırılması və "Təmiz Şəhər" ASC kimi qurumlar tərəfindən təkrar emalın təşviqi bu sahədəki irəliləyişin göstəricisidir.

Buna baxmayaraq, yerli səviyyədə **İstehsalçı Məsuliyyəti (EPR)** mexanizminin daha geniş tətbiqi və elektron cihazların satışından sonra onların geri toplanması sisteminin təkmilləşdirilməsi vacibdir. Azərbaycanda fəaliyyət göstərən Texnoparklar və yaşıl texnologiya mərkəzləri elektron tullantılardan qiymətli metalların ayrılması sahəsində innovativ həllər təklif edərək iqtisadi səmərəliliyi artıra bilər.

Nəticə etibarilə, həm qlobal təcrübə, həm də yerli ehtiyaclar göstərir ki, yalnız kompleks hüquqi tənzimləmə və texnoloji innovasiyaların sintezi ilə davamlı nəticələr əldə etmək mümkündür.
Mövcud yanaşmaların təhlili göstərir ki, yalnız təkrar emal strategiyası kifayət deyil. Ən effektiv model çoxsəviyyəli yanaşmanı tələb edir. Bu yanaşma hüquqi tənzimləmə, texnoloji innovasiya və ictimai davranışın dəyişməsini özündə birləşdirir.
Xüsusilə inkişaf etməkdə olan ölkələrdə əsas problem texnologiya çatışmazlığı deyil, idarəetmə və nəzarət mexanizmlərinin zəifliyidir.
Bu tədqiqat çərçivəsində elektron tullantıların idarə olunması üçün hibrid yanaşma modeli təklif olunur. Bu model üç əsas komponenti birləşdirir: rəqəmsal izləmə sistemi, istehsalçı məsuliyyəti mexanizmi və süni intellekt əsaslı çeşidləmə texnologiyaları. Xüsusilə IoT texnologiyalarının tətbiqi ilə tullantıların real vaxt rejimində izlənməsi onların daha effektiv toplanmasına və idarə olunmasına imkan yarada bilər. Bu yanaşma ənənəvi metodlardan daha çevik və optimallaşdırılmış sistem formalaşdırır.

Nəticə

Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, elektron tullantılar müasir dövrdə ən ciddi ekoloji problemlərdən biridir və onların düzgün idarə olunması davamlı inkişaf üçün vacibdir.
Yaşıl texnologiyaların tətbiqi:

- Ekoloji təsiri azaldır
- Resurslardan səmərəli istifadəni təmin edir
- İqtisadi fayda yaradır.

Effektiv idarəetmə üçün aşağıdakı tədbirlər vacibdir:

- Hüquqi mexanizmlərin gücləndirilməsi
- Texnoloji innovasiyaların tətbiqi
- Maarifləndirmə səviyyəsinin artırılması

Gələcək tədqiqatlar yaşıl texnologiyaların daha geniş tətbiqi və dairəvi iqtisadiyyat modellərinin inkişafına yönəlməlidir.

Ədəbiyyat

1. Forti, V. et al. (2020). Global E-waste Monitor.
2. Baldé, C. et al. (2017). Global E-waste Statistics.
3. Robinson, B. (2009). E-waste: Environmental Impacts.
4. Grant, K. et al. (2013). Health impacts of e-waste.
5. Murugesan, S. (2008). Green IT: Principles and practices.
6. Geissdoerfer, M. et al. (2017). Circular Economy.
7. Widmer, R. et al. (2005). Global perspectives on e-waste.
8. Kiddee, P. et al. (2013). E-waste management approaches.
9. UNEP (2019). E-waste management report.
10. OECD (2021). Environmental policies.
11. European Commission (2020). WEEE Directive.
12. Basel Convention (2018). Hazardous waste control.
13. Cucchiella, F. et al. (2015). Recycling economic benefits.
14. Parajuly, K. et al. (2019). Future e-waste scenarios.
15. Zeng, X. et al. (2018). Recycling technologies.
16. Islam, M. et al. (2016). E-waste management challenges.
17. Tanskanen, P. (2013). Management strategies.
18. Li, J. et al. (2015). Urban mining.
19. Awasthi, A. et al. (2019). Sustainable e-waste systems.
20. Kumar, A. et al. (2017). Environmental sustainability in IT.

SÜNİ İNTELLEKT VƏ RƏQƏMSAL TRANSFORMASIYA: HIBRID TƏHSIL, ADAPTIV SISTEMLƏR VƏ SMART REPETITORLUĞUN YENI PEDAQOJI PARADIQMASI

Elşən Səfixanov Rövşən
Riyaziyyat müəllimi,magistr
Müəssisə:Quba rayon Fərhad Həmzəyev adına Digah kənd tam orta ümumtəhsil məktəbi
E-mail: elsen.sefixanov40@gmail.com
Quba,Azərbaycan
https://orcid.org/0009-0004-0458-6480

Xülasə:
Bu məqalədə təhsildə süni intellekt (Sİ) əsaslı hibrid təhsil modelləri, adaptiv təlim sistemləri, smart repetitorluq və virtual laboratoriyaların inteqrasiyası araşdırılmışdır. Məqalədə rəqəmsal transformasiyanın sürətlənməsi və ənənəvi təhsil modelləri ilə hibrid yanaşmalar arasındakı uyğunsuzluq müzakirə olunur. Təklif olunan konseptual model, human-in-the-loop və explainable AI prinsiplərinə əsaslanaraq öyrənmə prosesini fərdiləşdirir, müəllim və tələbə qarşılıqlı əlaqəsini optimallaşdırır, praktik bacarıqların inkişafını və qiymətləndirmə effektivliyini təmin edir. Model həm akademik, həm də gig iqtisadiyyatı kontekstində öyrənmə və bacarıq əsaslı sertifikatlaşdırma üçün uyğunluğunu nümayiş etdirir. Məqalədə həmçinin etik, məlumat təhlükəsizliyi və pedaqoji inteqrasiya məsələləri qiymətləndirilmişdir.
Açar sözlər:Süni intellekt, Hibrid təhsil, Adaptiv təlim, Smart repetitor, Virtual laboratoriya
Abstract:
This paper investigates AI-based hybrid education models, integrating adaptive learning systems, smart tutoring, and virtual laboratories. The study discusses the acceleration of digital transformation in education and the mismatch between traditional and hybrid learning approaches. The proposed conceptual model leverages human-in-the-loop and explainable AI principles to personalize the learning process, optimize teacher-student interaction, and enhance both practical skills development and assessment efficiency. The model is applicable in academic settings as well as in the gig economy context, supporting skills-based learning and credentialing. Ethical considerations, data security, and pedagogical integration are also addressed.
Keywords: Artificial Intelligence, Hybrid Education, Adaptive Learning, Smart Tutoring, Virtual Laboratory

GİRİŞ

Son illərdə təhsil sistemləri qlobal miqyasda sürətli rəqəmsal transformasiya mərhələsinə daxil olmuşdur. Bu proses təkcə texnoloji vasitələrin tədrisə inteqrasiyası ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda öyrənmə məzmununun təşkili, pedaqoji yanaşmalar, qiymətləndirmə mexanizmləri və müəllim–öyrənən qarşılıqlı əlaqəsinin mahiyyətində köklü dəyişikliklər yaradır. Xüsusilə süni intellekt (Sİ) texnologiyalarının inkişafı təhsildə fərdiləşdirilmiş, adaptiv və məlumat əsaslı qərarvermə mexanizmlərinin formalaşmasına imkan vermişdir (Juniarni et al., 2024). Pandemiyadan sonrakı dövrdə bu proses daha da sürətlənmiş, rəqəmsal və hibrid təhsil modelləri ənənəvi tədris formalarının alternativi deyil, onların ayrılmaz tərkib hissəsinə çevrilmişdir (Scientific Reports, 2025).Bununla yanaşı, ənənəvi tədris modelləri ilə rəqəmsal və Sİ əsaslı yanaşmalar arasında ciddi uyğunsuzluqlar mövcuddur. Ənənəvi model əsasən standartlaşdırılmış məzmun, eyni tempdə öyrənmə və kütləvi qiymətləndirmə prinsiplərinə əsaslanır. Rəqəmsal və adaptiv təlim mühitləri isə öyrənənin fərdi xüsusiyyətlərini, əvvəlki biliklərini və öyrənmə sürətini nəzərə alaraq dinamik məzmun təqdimatını tələb edir (Education Sciences, 2023). Bu iki yanaşma arasında nəzəri və praktik inteqrasiyanın zəif olması təhsil prosesində fragmentasiya yaradır və texnologiyanın potensialından tam istifadə olunmasına mane olur.Süni intellektin pedaqoji proseslərə təsiri isə hələ də tam şəkildə sistemləşdirilməmişdir. Mövcud yanaşmaların əksəriyyəti Sİ-ni texniki alət kimi təqdim edir, onun pedaqoji mahiyyətini, müəllimin roluna təsirini və öyrənmə nəzəriyyələri ilə əlaqəsini kifayət qədər dərinləşdirmir (Meylani, 2024). Nəticədə Sİ texnologiyalarının tətbiqi çox zaman pedaqoji strategiya ilə deyil, texnoloji imkanlarla şərtlənir ki, bu da uzunmüddətli təhsil keyfiyyəti baxımından risklər yaradır.

Son beş ilin elmi ədəbiyyatına nəzər saldıqda, süni intellektin təhsildə tətbiqinə dair tədqiqatların sayında ciddi artım müşahidə olunur. Lakin bu tədqiqatların əhəmiyyətli hissəsi texnoloji təsviri səviyyədə qalır və əsas diqqət alqoritmlərin işləmə mexanizmlərinə, sistem arxitekturasına və texniki performansa yönəlir (Discover Education, 2025). Bu yanaşma pedaqoji nəticələrin, öyrənmə keyfiyyətinin və didaktik

uyğunluğun dərin elmi təhlilini ikinci plana keçirir.Digər mühüm boşluq adaptiv təlim sistemləri, smart repetitorluq platformaları və hibrid təhsil modellərinin vahid pedaqoji çərçivədə inteqrasiya olunmamasıdır. Mövcud tədqiqatlarda bu komponentlər əsasən ayrı-ayrılıqda araşdırılır və onların qarşılıqlı təsiri, sinerjisi və birgə pedaqoji potensialı sistemli şəkildə əsaslandırılmır (Almeman et al., 2025). Halbuki real təhsil mühitində bu sistemlər paralel şəkildə fəaliyyət göstərir və vahid ekosistem kimi nəzərdən keçirilmədikdə nəzəri və praktik uyğunsuzluqlar qaçılmaz olur.Bundan əlavə, müəllimin rolu, etik məsələlər, məlumat təhlükəsizliyi və qərarvermə məsuliyyəti kimi aspektlər çox vaxt texnoloji diskursun kölgəsində qalır. Bu isə Sİ əsaslı təlim sistemlərinin pedaqoji legitimliyini və davamlılığını zəiflədir.

Məqalənin məqsədi və elmi yeniliyi

Bu məqalənin əsas məqsədi süni intellektə əsaslanan adaptiv təlim sistemlərini və smart repetitorluq yanaşmalarını yeni pedaqoji paradiqma kimi elmi əsaslarla təqdim etməkdir. Məqalədə Sİ texnologiyalarının yalnız avtomatlaşdırma aləti deyil, öyrənmə prosesinin dizaynında aktiv pedaqoji komponent kimi çıxış etdiyi əsaslandırılır.Tədqiqatın elmi yeniliyi hibrid təhsil mühitində fərdiləşdirilmiş öyrənmənin konseptual modelinin işlənib hazırlanmasında ifadə olunur. Təklif olunan model adaptiv təlim mexanizmlərini, smart repetitorluq sistemlərini və virtual öyrənmə mühitlərini vahid pedaqoji çərçivədə birləşdirir və onların qarşılıqlı əlaqəsini sistemli şəkildə izah edir. Bu yanaşma mövcud tədqiqatlardan fərqli olaraq texnologiya mərkəzli deyil, öyrənən və pedaqoji məqsəd mərkəzli model təqdim edir.Beləliklə, məqalə təhsildə rəqəmsal transformasiyanın konseptual əsaslarını genişləndirir və süni intellektin pedaqoji proseslərdə transformativ rolunu elmi baxımdan əsaslandırır.

Rəqəmsal transformasiya və təhsilin yeni ekosistemi:Təhsildə rəqəmsal transformasiya anlayışı çox zaman sadəcə rəqəmsallaşma ilə eyniləşdirilsə də, bu iki anlayış mahiyyət etibarilə fərqlidir. Rəqəmsallaşma əsasən mövcud tədris materiallarının və proseslərin elektron mühitə köçürülməsini ifadə edir. Məsələn, dərsliklərin PDF formatına salınması və ya ənənəvi mühazirələrin onlayn platformalarda yayımlanması rəqəmsallaşmaya aiddir. Rəqəmsal transformasiya isə daha dərin və sistemli dəyişiklikdir; o, tədrisin məqsədlərini, məzmununu, metodlarını və qiymətləndirmə mexanizmlərini yenidən formalaşdırır (Bond et al., 2020).Bu transformasiya nəticəsində tədris məzmunu statik strukturlardan dinamik və adaptiv modellərə doğru inkişaf edir. Ənənəvi tədrisdə məzmun eyni ardıcıllıqla bütün öyrənənlərə təqdim edildiyi halda, rəqəmsal transformasiya şəraitində məzmun öyrənənin bilik səviyyəsinə, öyrənmə tempinə və maraqlarına uyğun şəkildə dəyişə bilir (Education Sciences, 2023). Bu yanaşma konstruktivist və koqnitiv öyrənmə nəzəriyyələri ilə daha sıx uyğunluq təşkil edir və öyrənəni passiv dinləyicidən aktiv bilik qurucusuna çevirir.Qiymətləndirmə mexanizmləri də rəqəmsal transformasiya fonunda ciddi dəyişikliklərə məruz qalır. Summativ qiymətləndirməyə əsaslanan ənənəvi modellər tədricən formativ, davamlı və analitik əsaslı qiymətləndirmə sistemləri ilə əvəz olunur. Süni intellekt və təlim analitikası vasitəsilə öyrənənin fəaliyyətləri real vaxtda izlənilir, öyrənmə boşluqları müəyyən edilir və fərdi geribildirim təmin olunur (Ifenthaler & Yau, 2020). Bu, qiymətləndirməni nəzarət alətindən öyrənməni dəstəkləyən pedaqoji mexanizmə çevirir.Rəqəmsal transformasiya müəllim rolunun da yenidən müəyyənləşdirilməsini zəruri edir. Müəllim artıq yalnız bilik ötürücüsü deyil, öyrənmə prosesinin dizayneri, fasilitatoru və istiqamətləndiricisidir. Rəqəmsal mühitdə müəllimin əsas vəzifəsi texnologiyanı pedaqoji məqsədlərə uyğun şəkildə seçmək və inteqrasiya etməkdir (Redecker, 2020). Bu dəyişiklik müəllimlərin peşəkar inkişafına və pedaqoji səriştələrinin yenidən qurulmasına ehtiyac yaradır.

Hibrid təhsil modelləri: struktur və mexanizmlər:Rəqəmsal transformasiyanın ən mühüm nəticələrindən biri hibrid təhsil modellərinin formalaşmasıdır. Hibrid təhsil ənənəvi üzbəüz tədris ilə onlayn təlim mühitlərinin planlı və məqsədyönlü inteqrasiyasını nəzərdə tutur. Bu model nə tam distant, nə də tam ənənəvi təhsildir; o, hər iki mühitin pedaqoji üstünlüklərini birləşdirən çevik struktura malikdir (Graham, 2021).Hibrid təhsilin əsas struktur elementi sinxron və asinxron mühitlərin inteqrasiyasıdır. Sinxron mühitlər real vaxtda qarşılıqlı əlaqəni, müzakirəni və sosial öyrənməni dəstəklədiyi halda, asinxron mühitlər öyrənənlərə öz tempində öyrənmək, materialları təkrar nəzərdən keçirmək və refleksiya aparmaq imkanı yaradır. Tədqiqatlar göstərir ki, bu iki mühitin balanslı şəkildə birləşdirilməsi öyrənmə nəticələrinin keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır (Hrastinski, 2022).Fiziki və virtual təlim mühitləri arasında pedaqoji balansın qurulması hibrid modellərin effektivliyinin əsas şərtidir. Fiziki mühitlər sosial qarşılıqlı əlaqə, emosional bağ və əməkdaşlıq bacarıqlarının inkişafı üçün əlverişlidir. Virtual mühitlər isə fərdiləşdirmə, resurs zənginliyi və analitik imkanlar baxımından üstünlük təşkil edir. Pedaqoji baxımdan əsas məsələ bu mühitlərin funksional bölgüsünü düzgün aparmaqdır: hansı fəaliyyətlərin fiziki, hansılarının virtual mühitdə daha effektiv icra olunacağını elmi əsaslarla müəyyənləşdirmək (Scientific Reports, 2025).

Beləliklə, hibrid təhsil modelləri texniki həllər toplusu deyil, **pedaqoji dizayn məsələsidir**. Bu dizayn öyrənənin idrak xüsusiyyətlərini, sosial ehtiyaclarını və motivasiyasını nəzərə alan kompleks yanaşma tələb edir. Rəqəmsal transformasiya məhz bu nöqtədə təhsilin yeni ekosistemini formalaşdırır: insan mərkəzli, məlumat əsaslı və çevik öyrənmə mühiti.

3. Süni intellekt əsaslı adaptiv təlim sistemləri:Adaptiv təlim sistemləri öyrənənin fərdi xüsusiyyətlərinə (əvvəlki bilik səviyyəsi, səhv nümunələri, vaxt xərcləmə, davranış göstəriciləri və s.) uyğun olaraq tədris məzmununu, geribildirimi və tədris ardıcıllığını dinamik tənzimləyən yanaşmadır (Wang et al., 2024; Létourneau et al., 2025). Bu yanaşmanın didaktik və psixoloji bazaları bir neçə əsas nəzəriyyəyə söykənir; ən mühümü koqnitiv yük nəzəriyyəsidir (Cognitive Load Theory — CLT). CLT-ə görə, işləmə yaddaşının məhdudluğu instruksiyanın dizaynında əsas məhdudiyyət yaradır: instruksion materialın strukturu və təqdim forması intrinsik, ekstraneous və germane yüklərə təsir edərək öyrənmənin effektivliyini dəyişir (Sweller, 2019; Leppink & Leahy, 2019).Süni intellekt (Sİ) ilə işləyən adaptiv sistemlər CLT prinsiplərini operationalizə edərək ekstraneous yükləri azaltmağa və germane yükləri optimallaşdırmağa çalışırlar. Məsələn, Sİ real vaxt telemetriya (klik logları, səhv nümunələri, tapşırıq üçün sərf olunan vaxt və s.) əsasında öyrənənin yüklənməsini proqnozlaşdıra və təqdim olunan materialın mürəkkəbliyini, nümunə sayını və dəstək skaffoldlarını uyğunlaşdıra bilər (Gkintoni et al., 2025; Ifenthaler & Yau, 2020). Son tədqiqatlar CLT-ni neyrobioloji indikatorlarla (məs., fNIRS, EEG) və Sİ-əsaslı yüklənmə analizləri ilə birləşdirərək "cognitive-load-aware" adaptasiyaların dizayn perspektivlərini təklif edir (Gkintoni et al., 2025; Scoping reviews on CLT+AI, 2024).Öyrənmə tempinin fərdiləşdirilməsi adaptiv təlimin başqa əsas prinsipidir. Empirik işlər göstərir ki, universal bir tempin tətbiqi öyrənənlər arasında nəticələrin yayılmasına (heterojenliyə) səbəb olur; fərdiləşdirmə isə tələbənin fərdi trayektoriyasına uyğun olaraq təkrar, fasilə və yeni çətinlik səviyyəsi təyin etməklə nəticələri yaxşılaşdırır (Pane et al., 2017; Wang et al., 2024). Sİ-əsaslı adaptiv platformalar bu funksiyanı avtomatlaşdırılmış öyrənən-modeli ilə həyata keçirir — model öyrənənin cari biliyini qiymətləndirir və növbəti ən uyğun fəaliyyət və ya modul üçün qərar verir (Piech et al., 2015; Krivich et al., 2025).

Süni intellekt alqoritmlərinin tədrisdə tətbiqi

Təlim məlumatlarının analizi: Adaptiv sistemlərin funksionallığı əsasən təlim məlumatlarının çoxşaxəli analizinə əsaslanır. Bu məlumatlar quiz cavabları, səhv tipologiyaları, sessiya uzunluqları, qarşılıqlı əlaqə loqları və bəzən multimodal göstəricilərdən (məs., kamera/ mikrofon əsaslı davranış siqnalları, emosional indekslər) ibarət olur (Wang et al., 2024; Krivich et al., 2025). Öyrənən modelinin qurulmasında istifadə olunan əsas alqoritmik yanaşmalar aşağıdakılardır: Bayes-əsaslı Knowledge Tracing (BKT), Performance Factor Analysis (PFA), və son illərdə geniş tətbiq olunan sub-simvolik (deep learning) metodları — Deep Knowledge Tracing (DKT), transformer və qraf-əsaslı modellər (Piech et al., 2015; Krivich et al., 2025).BKT və PFA kimi modellər interpretasiya edilə bilən parametrik quruluş təqdim edir və az verilənlər şərtlərində etibarlı ola bilər, lakin çoxsaylı qabiliyyətlər və ardıcıllıq kompleksliyi qarşısında məhdudiyyətlər göstərir (Pelánek, 2017; Krivich et al., 2025). Dərin neyron yanaşmaları isə daha zəngin zaman-silsilə modelləşdirməsi və qeyri-xətti nümunələrin tutulmasını təmin etsə də, nəticələrin interpretasiyası və ardıcıllıqdayanıklılıq (sequential stability) ilə bağlı ciddi problemlərlə qarşılaşır (Krivich et al., 2025; Piech et al., 2015).

Dinamik məzmun uyğunlaşdırılması: Dinamik uyğunlaşdırma iki əsas mexanizm üzərində həyata keçirilir: (1) pedagogik siyasət (instructional policy) seçimi — hansı modulun və ya problemi nə vaxt təqdim etməklə ən yaxşı öyrənmə qazancı əldə olunacaq; (2) materialın səviyyə- və format-sürüşdürməsi — mətn səviyyəsi, nümunə sayı, addım-addım izah və vizual dəstəyin adaptasiyası (Riedmann et al., 2025; Wang et al., 2024). Reinforcement Learning (RL) metodları bu kontekstdə təlim ardıcıllığını optimallaşdırmaq üçün aktiv tədqiq olunur: agentlər müxtəlif siyasətlər sınaqdan keçirərək uzunmüddətli nəticəni (məs., öyrənmə qazancı) maksimallaşdırmağa çalışırlar (Riedmann et al., 2025; Doroudi et al., 2019).Bununla yanaşı, təlim materialının təkcə sıra ilə deyil, həm də kontent səviyyəsində dinamik uyğunlaşması üçün generativ modellər (NLP-əsaslı izah generatorları, sual-yaratma alqoritmləri) və şablon-əsaslı dəyişiklik mexanizmləri istifadə edilir. Praktik tətbiqlərdə bu yanaşmalar LMS inteqrasiyaları, stealth-assessment və real vaxt geribildirim modulları ilə birləşdirilir ki, bu da müəllimlərə fəaliyyət əsasında məqsədyönlü müdaxilə imkanı verir (Létourneau et al., 2025; Wang et al., 2024).

Adaptiv sistemlərin üstünlükləri və məhdudiyyətləri:Sahə-tədqiqatları və sistematik nəzərdən keçirmələr göstərir ki, ITS və adaptiv sistemlər bəzi kontekstlərdə (xüsusən STEM fənnlərində və strukturlaşdırılmış bacarıq öyrənmədə) öyrənmə nəticələrini yaxşılaşdıra bilər (Létourneau et al., 2025; Wang et al., 2024). Meta-analizlər ITS-in insan müəllimə və ya ənənəvi LMS-lərə nisbətən müsbət effekt

verdiyini göstərsə də, nəticələrin ölçüsü və davamlılığı geniş dəyişir və metodoloji heterojenlik (qısa müdaxilə müddətləri, kiçik nümunələr, kontentə uyğunluq məsələləri) nəticələrin ümumiləşdirilməsini çətinləşdirir (Kulik & Fletcher, 2016; Létourneau et al., 2025).Bundan əlavə, adaptiv sistemlərin effektivliyi onların pedaqoji inteqrasiyasından, müəllim iştirakı səviyyəsindən və kontekst-xüsusi dizayndan güclü şəkildə asılıdır. Yəni texnoloji alqoritmin yüksək performansı avtomatik olaraq pedaqoji effektə çevrilmir; müəllim-sistem sinerjisi və qiymətləndirmə alətlərinin möhkəmliyi vacibdir (Holmes et al., 2021; Wang et al., 2024).

Etik və məlumat təhlükəsizliyi problemləri:AI-əsaslı adaptiv təlim geniş miqyasda şəxsi və davranış məlumatları toplayır; bu isə məxfiliyin, məlumat minimallaşdırmasının və qanuna uyğunluğun kritik məsələlərini qabağa çıxarır (Holmes & Porayska-Pomsta, 2022; Adams et al., 2023). Alqoritmik qərəz (algorithmic bias), şəffaflığın olmaması və hesabatvericilik çatışmazlığı (accountability gap) tələbələrin ədalətli qiymətləndirilməsini riskə ata bilər və təhsil bərabərsizliyini gücləndirə bilər (Zawacki-Richter et al., 2019; Arrieta et al., 2020).Bu risklərin yüngülləşdirilməsi üçün tövsiyə edilən praktikalar arasında məlumatların minimallaşdırılması, interpretasiya olunabilən modellər və XAI (explainable AI) texnikalarının tətbiqi, insan-mühəndis nəzarətinin (human-in-the-loop) qorunması, və pedaqoji məzmunun məktəb-mədəniyyətə uyğunlaşdırılması yer alır (Krivich et al., 2025; Arrieta et al., 2020; Holmes et al., 2021). Eyni zamanda, qanunvericilik və tənzimləyici çərçivələr (məs., Avropa İttifaqının AI Aktı) adaptiv təlim tətbiqlərində etik uyğunluq tələblərini gücləndirir və praktiki tətbiqçilərə əlavə məsuliyyət qoyur (Krivich et al., 2025).

Texniki və pedaqoji məhdudiyyətlər: Adaptiv sistemlərin real dünyaya tətbiqi üçün lazım olan yüksək keyfiyyətli, domen-xüsusi, etiketlənmiş verilənlər çox vaxt məhduddur; ASSIST və bənzər açıq datasetlər sahənin inkişafına xidmət etsə də, bu datasetlərin çoxluğu və müxtəlifliyi çatışmır və model performansının ümumiləşdirilməsinə mane olur (Krivich et al., 2025). Dərin neyron modellərinin pedagogik məzmunla tutarlı və izahlı şəkildə çalışması üçün neyro-pedagoji konseptlərin, müəllim yönümlü interpretasiyaların və müdaxilənin dizaynının birlikdə işlənməsi zəruridir (Piech et al., 2015; Holmes et al., 2021).

Qısacası, Sİ-əsaslı adaptiv təlim sistemləri böyük potensiala malikdir, lakin onların pedaqoji dəyəri yalnız texniki nailiyyətlərlə deyil, eyni zamanda pedaqoji dizayn, etik mexanizmlər və təhsil siyasəti inteqrasiyası ilə təmin edilə bilər (Wang et al., 2024; Létourneau et al., 2025).

4. Smart repetitorluq sistemləri və fərdiləşdirilmiş təhsil

Smart repetitor (intelligent tutoring / smart tutoring system) anlayışı ənənəvi repetitorluğun texnoloji-pedaqoji transformasiyasını ifadə edir: sistem öyrənənin fəaliyyətini real vaxtda izləyir, öyrənmə profillərini qurur və həmin profillərə uyğun olaraq dərhal, fərdi geribildirim və adaptiv tapşırıqlar təqdim edir (Létourneau et al., 2025). Smart repetitorlar yalnız "suallara cavab verən" alətlər deyil; onlar pedaqoji ssenariyə uyğun olaraq skaffolding, hidayətverici suallar, nümunə-bazalı açıqlamalar və motivasiyaedici müdaxilələr təmin edə bilən kompleks instruksion agentlərdir (Fernández-Herrero, 2024; Létourneau et al., 2025). Funksional olaraq smart repetitor aşağıdakı əsas modullardan ibarət olur: (a) **öyrənən modeli** — tələbənin biliyini, yanlışlıqlarını, tempo və motivasiya göstəricilərini dinamik olaraq saxlayan komponent; (b) **domain modeli** — tədris olunan fənn/ bacarıq sahəsinin strukturlaşdırılmış bilik bazası; (c) **tutoring/ pedaqoji siyasət** — hansı müdaxilə növünün və nə zaman təqdim olunacağını müəyyən edən qərar mexanizmi; (d) **interface/kommunikasiya** — istifadəçi ilə interaksiyanı təmin edən dialog, vizualaşma və geribildirim kanalları; (e) **monitorinq və qiymətləndirmə** — stealth-assessment və performans analitikası vasitəsilə öyrənmə qazancının ölçülməsi (Fernández-Herrero, 2024; Létourneau et al., 2025). Bu modulizasiyanın praktiki əhəmiyyəti ondadır ki, hər modul pedaqoji prinsiplə (məs., CLT, scaffolding, formative assessment) sıx əlaqələndirilərək texnoloji komponentlərin təsirini pedaqoji məqsədlərə uyğunlaşdırır.

Real vaxt geribildirim. Smart repetitorların əsas pedaqoji üstünlüklərindən biri geribildirimin vaxtlığı (timeliness) və spesifikliyidir. Real vaxt geribildirim sadəcə doğru/yanlış bildirmir — o, səhv tipini, səhvin səbəbini və gələcək addımlar üçün konkret təklifləri dərhal göstərməlidir. Bu xüsusiyyət formativ qiymətləndirmənin təməl prinsipinə — dərhal istifadə edilən informasiya ilə öyrənmə fəaliyyətinin tənzimlənməsi — uyğun gəlir və müxtəlif tədqiqatlar bunun öyrənmə nəticələrini yaxşılaşdırdığını göstərir (Létourneau et al., 2025; Fernández-Herrero, 2024). Eyni zamanda, real vaxt geribildirim təqdim edildiyi zaman onun keyfiyyəti, dilin inzibati strukturu və empatiya səviyyəsi (insan-tərzi dil) tələbələrin qəbulu və etimadına təsir edir — buna görə geribildirimin dizaynı həm texniki, həm də pedaqoji tədqiqat tələb edir.

Öyrənmə boşluqlarının avtomatik aşkarlanması. Smart repetitorlar öyrənənin fəaliyyət loqlarını, cavab tarixçəsini və digər telemetriya siqnallarını analiz edərək fərdi "bacarıq xəritəsi" və ya "knowledge graph"

yaradır; bu xəritə əsasında sistem öyrənmədəki boşluqları (learning gaps) avtomatik müəyyənləşdirir və prioritetləşdirir (Piech et al., 2015; Létourneau et al., 2025). Müasir yanaşmalar multimodal məlumatları (performans, vaxt, yanlışlıq nümunələri və bəzən affektiv göstəricilər) birləşdirərək daha dəqiq gap-detection aparmağa çalışır; nəticədə sistem daha məqsədli "bracing" (qısa müdaxilələr) və ya modul yönümlü remediational content təqdim edə bilir (Fernández-Herrero, 2024; MDPI/affective ITS tədqiqatları). Bu avtomatlaşdırılmış aşkarlama müəllimə hansı öyrənənlərin daha çox insan müdaxiləsinə ehtiyacı olduğunu göstərir və tədris resurslarının prioritetləşdirilməsini asanlaşdırır.

İnsan müəllim – Sİ qarşılıqlı əlaqəsi

Müəllimin nəzarətçi və dizayner roluna keçidi. Smart repetitorların uğuru texnologiyanın gücündən daha çox müəllim-sistem sinerjisindən asılıdır. ABŞ Təhsil Nazirliyinin Rəhbərliyində və son kritik nəzərdən keçirmələrdə aydınlaşdırıldığı kimi, AI-də "human-in-the-loop" prinsipinin tətbiqi yalnız təhlükəsizlik və etika baxımından vacib deyil; o, pedaqoji nəticələrin təmin edilməsində əsas şərtdir (U.S. Department of Education, 2023). Müəllimlər artıq yalnız dərs keçən şəxs deyil, eyni zamanda sistemlərin dizaynçısı, etik yoxlayıcısı və nəticələrin interpretatorudur — yəni onlar adaptiv siyasətlərin parametrizasiyasına, qiymətləndirmə kriteriyalarına və AI-nin təklif etdiyi müdaxilələrin peşəkar audıtına məsul olurlar (Fajardo-Ramos et al., 2025; U.S. Department of Education, 2023). Bu proses müəllim peşəkarlığının yeni spektrini tələb edir: alətlərin auditini aparmaq, model məhdudiyyətlərini anlamaq və tələbənin kontekstinə uyğun olaraq avtomatlaşdırılmış tövsiyələri tənzimləmək.

Avtomatlaşdırma ilə pedaqoji məsuliyyətin balansı. Avtomatlaşdırma tədris prosesində resursların genişlənməsinə və geribildirimin sürətlənməsinə səbəb olur; lakin bu, müəllim məsuliyyətinin avtomatik surətdə azalması demək olmamalıdır. Empirik tapıntılar göstərir ki, tam avtomatlaşdırılmış geribildirim bəzən yanlış və ya kifayət qədər kontekstual olmayan məsləhətlər verir; buna görə də "escalation" (AI-dən insana keçirilmə) mexanizmi və müəllim nəzərdən keçirilməsi vacibdir (Phung et al./Closing the Loop; Létourneau et al., 2025). Hibrid modellər müəllimləri ən kritik pedaqoji qərar nöqtələrinə yönləndirir — məsələn, uzunmüddətli diaqnostika, qiymətləndirmə siyasətlərinin düzəldilməsi, və etik narahatlıqları həll etmə. Belə yanaşma həm miqyaslandırmanı təmin edir, həm də pedaqoji məsuliyyəti qoruyur (Phung et al., 2025; U.S. Department of Education, 2023).

Pedaqoji izah və tələbə etimadı. Təcrübə və tədqiqat göstərir ki, tələbələr AI-dən alınan geribildirimi qəbul etməzdən əvvəl onun mənbəyini və məntiqini başa düşməyə üstünlük verirlər; yəni XAI (explainable AI) və şəffaflıq tələbə etimadını artırır. Əlavə olaraq, müəllimlərin AI-nin tövsiyələrini nəzarətdə saxlaması və lazım gəldikdə onları düzəltməsi, tələbələr üçün həm pedaqoji, həm də emosional dəstək mənbəyi rolunu saxlayır (Arrieta et al., 2020; Fernández-Herrero, 2024). Bu səbəbdən smart repetitorların intervensiyaları dizayn edilərkən "şəffaf geribildirim + müəllim eskalasiyası" mexanizmi əsas məcburi komponent kimi nəzərdə tutulmalıdır.

Təlimçi peşəkarlığının yenidən qurulması. Smart repetitorların tətbiqi müəllimlərin peşəkar inkişaf proqramlarını (pre-service və in-service) təkrar yönləndirməyi tələb edir: müəllimlər AI-in məhdudiyyətlərini qiymətləndirməyi, geribildirimin keyfiyyətini audıt etməyi, və sistemin təqdim etdiyi qiymətləndirmə nəticələrini pedoqoji kontekstdə necə interpretasiya etməyi öyrənməlidirlər (Fajardo-Ramos et al., 2025; U.S. Department of Education, 2023). Bu, həmçinin müəllimlərin "feedback literacy" və "algorithmic literacy" bacarıqlarının inkişaf etdirilməsini zəruri edir.

Qısa yekun (praktik nəticələr)

1. **Smart repetitorlar** öyrənmə prosesini real vaxtda fərdiləşdirə və boşluqları avtomatik müəyyən edə bilir; lakin onların pedaqoji dəyəri müəllim-sistem inteqrasiyasına güclü bağlıdır (Létourneau et al., 2025; Fernández-Herrero, 2024).
2. **Real vaxt geribildirim** tələbənin dərhal müdaxiləsini mümkün edir, amma geribildirimin dizaynı — format, empatiya və izahat — tələbənin qəbuluna təsir edir; buna görə XAI metodları və insan eskalasiya mexanizmləri vacibdir (Phung et al., 2025; Arrieta et al., 2020).
3. **Müəllim rolu** texnoloji alətdən pedagoq-dizayner və etik nəzarətçiyə çevrilir; bu keçid uğurlu olanda smart repetitorlar həm miqyaslı, həm də pedaqoji cəhətdən etibarlı olur (U.S. Department of Education, 2023; Fajardo-Ramos et al., 2025).

5. Virtual Laboratoriyalar və Simulyasiya Əsaslı Təlim:Virtual laboratoriyalar və simulyasiya əsaslı təlim (simulation-based training, SBT) təhsildə bir neçə fundamental pedaqoji üstünlük verir. Birincisi, bu mühitlər **təhlükəsiz öyrənmə zəminini** təmin edir: riskli, bahalı və ya etik cəhətdən məhdudlaşdırılmış praktiki təcrübələr (məsələn, klinik prosedurlar, radioaktiv materiallarla təcrübələr və s.) simulyasiya vasitəsilə tələbələr üçün qəza və zərər riski olmadan təkrarlana bilər, bu da həm bacarıq qazanımını, həm də

səhvlərdən öyrənmə prosesini gücləndirir (Elendu et al., 2024; Elmoazen et al., 2023). SBT-nin bu xüsusiyyəti xüsusilə tibb, mühəndislik və laboratoriya elmlərində praktik bacarıqların erkən və təhlükəsiz inkişafı üçün həyati əhəmiyyət daşıyır (Elendu et al., 2024).İkincisi, simulyasiya mühitləri **təcrübə yönümlü bacarıqların inkişafını** sürətləndirir. Virtual laboratoriyalar tələbələrə təcrübəni təkrar etmə, fərqli parametrləri sınama və nəticələri dərhal müşahidə etmə imkanı verir — bu, eksperimental döngünün (hypothesis → experiment → analysis → reflection) sıx təkrarı ilə dərinləşən bacarıqlar üçün əlverişlidir (Reyes et al., 2024; Li & Liang, 2024). Ayrıca, interaktiv simulyasiyalar tələbələrin problem həll etmə, qərarvermə və elmi tədqiqat üsullarını praktik şəkildə tətbiq etməsinə şərait yaradır ki, bu da biliklərin tətbiqinə yönəlmiş «transfer» nümayiş etdirir (Potkonjak və həmkarları, 2016; Reyes et al., 2024).Üçüncüsü, virtual laboratoriyalar **əlyetərliliyi və çevikliyi** artırır: coğrafi məhdudiyyətlər, cihaz çatışmazlığı və vaxt məhdudiyyətləri kimi ənənəvi maneələr aradan qalxır; bu xüsusiyyət distant və hibrid təhsil modellərində praktik təcrübəni qorumağa imkan verir (Elmoazen et al., 2023; Moumen, 2025). Pandemiya dövrü bu məqamın əhəmiyyətini açıq şəkildə göstərdi — virtual laboratoriyalar təcrübi komponentləri fasiləsiz saxlamaq üçün realistik alternativ təqdim etdilər (Elmoazen et al., 2023).

Bunlarla yanaşı, virtual laboratoriyaların pedaqoji üstünlüklərini reallaşdırmaq üçün **dizayn» və «müəllim-daxili inteqrasiyası** vacibdir: yalnız texnologiya təmin etmək kifayət deyil; didaktik məqsədlərə uyğun ssenarilər, geribildirim mexanizmləri və qiymətləndirmə vasitələri (formativ + performans əsaslı) birlikdə qurulmalıdır (Reyes et al., 2024; Elmoazen et al., 2023).

Sİ ilə zənginləşdirilmiş virtual laboratoriyalar

Adaptiv ssenarilər:Süni intellektin (Sİ) virtual laboratoriyalara inteqrasiyası onların adaptivliyini və pedaqoji gücünü xeyli artırır. AI-driven virtual lablər tələbənin interaktiv davranışlarını real vaxtda analiz edərək ssenariləri individual ehtiyaca uyğun dəyişdirə bilir: məsələn, tələbənin anlaşıqsız olduğu mövzuya daha çox nümunə təqdim etmək, addım-addım təlimatı sıxlaşdırmaq və ya əlavə diaqnostik tapşırıqlar vermək (Hong et al., 2025; Elmoazen et al., 2023). Bu cür adaptiv ssenarilər həm koqnitiv yükün idarə olunmasına, həm də öyrənmə tempinin fərdiləşdirilməsinə xidmət edir və təcrübənin faydasını maksimalizə edir (Hong et al., 2025; Li & Liang, 2024).AI modelləri burada iki funksionallığı birləşdirir: (a) **öyrənən modelinin** davamlı yenilənməsi (məs., biliyin proqnozlaşdırılması, səhv nümunələrinin tanınması), və (b) **pedaqoji siyasətin** (instructional policy) icrası — hansı növbəti tapşırığın və ya ssenarinin göstəriləcəyinə dair qərarların verilməsi (Riedmann et al., 2025; Hong et al., 2025). Reinforcement learning və bayesiyən biliy izləmə kimi yanaşmalar uzunmüddətli öyrənmə qazancını optimallaşdırmaq məqsədilə sınaqdan keçirilir, lakin bunların tətbiqi hələ metodoloji və etik aspektlərə diqqət tələb edir (Riedmann et al., 2025).

Performans əsaslı qiymətləndirmə: Virtual laboratoriyalar performans-əsaslı qiymətləndirmə üçün təbii «mədən» rolunu oynayır: istifadəçi loqları, əməliyyat ardıcıllığı, səhv tipləri, vaxt göstəriciləri və əlavə multimodal məlumatlar (məs., ekran qeydiyyatı, audio-reaksiyalar) öyrənənin bacarıq və proseslərini qiymətləndirməyə imkan verir (Elmoazen et al., 2023; Rahimi & Shute, 2023). **Stealth assessment** (gizli/formativ qiymətləndirmə) prinsipləri virtual laboratoriyalarda asanlıqla tətbiq olunur — yəni qiymətləndirmə öyrənmə fəaliyyətinin içində, müdaxilə olmadan və davamlı şəkildə aparılır, bu da həm formativ geribildirim, həm də öyrənmə prosesinin zəngin analitikasını təmin edir (Rahimi & Shute, 2023; Elmoazen et al., 2023).Bu yanaşma müəllimlərə və tədqiqatçılara yalnız nəticə ölçmələri yox, həm də proses-əsaslı göstəricilər verir: hansı addımda tələbənin yanlış düşündüyü, hansı tapşırıqların çətinlik yaratdığı və hansı pedoqoji müdaxilələrin daha effektiv olduğu kimi. Bu informasiyalar əsasında həm avtomatik geribildirimlər (system-driven remediation), həm də müəllim müdaxilələri planlana bilər (Rahimi & Shute, 2023; Elmoazen et al., 2023).

Empirik tədqiqatlar göstərir ki, AI-də zənginləşdirilmiş virtual laboratoriyalar tələbə motivasiyasını və qısa müddətli öyrənmə nəticələrini yaxşılaşdıra bilər; lakin uzunmüddətli bilik transferi və real-dünya praktik bacarıqlara keçid barədə nəticələr hələ daha məhduddur və sahədə daha çox uzunmüddətli tədqiqat tələb olunur (Li & Liang, 2024; Moumen, 2025). Həmçinin, infrastruktur, müəllim hazırlığı, etibarlı qiymətləndirmə standartlarının olmaması və etik məsələlər (məlumat məxfiliyi, XAI/şəffaflıq) geniş tətbiqə əngəl törədir (Elmoazen et al., 2023; Elendu et al., 2024).

Qısa yekun

1. Virtual laboratoriyalar pedaqoji dizaynı (learning objectives, scaffolding, assessment) mərkəzində qurulmalıdır; texnologiya deyil, pedaqoji məqsəd prioritet olmalıdır (Reyes et al., 2024; Elmoazen et al., 2023).

2. Sİ-əsaslı adaptiv ssenarilər öyrənmə tempini fərdiləşdirir və təhlükəsiz, təkrar edilə bilən təcrübə imkanları yaradır, lakin onların dizaynında XAI və müəllim eskalasiyası mexanizmləri vacibdir (Hong et al., 2025; Rahimi & Shute, 2023).
3. Performans-əsaslı stealth assessment yanaşmaları virtual laboratoriyalarda formativ qiymətləndirməni əhəmiyyətli dərəcədə zənginləşdirə bilər; bunun üçün interoperabillik, məlumat etikası və pedaqoji interpretasiya standartları inkişaf etdirilməlidir (Rahimi & Shute, 2023; Elmoazen et al., 2023).

6. Gig iqtisadiyyatı kontekstində yeni təhsil bacarıqları

Gig iqtisadiyyatı — qısa müddətli, layihə əsaslı və platforma vasitəsilə təşkil olunan işlərin kütləviliyi — əmək bazarının strukturunu və tələb olunan bacarıqları fundamental şəkildə dəyişdirir. Platformaların (məsələn, Upwork, Fiverr, Uber və s.) artması ilə işçilər daha çevik, lakin eyni zamanda qeyri-müəyyən gəlir və sosial müdafiə çatışmazlığı ilə üzləşən karyera trayektoriyalarına daxil olurlar; bu isə davamlı bacarıq yenilənməsini və özünütəşkili bacarıqlarını tələb edir (World Economic Forum, 2024; Nature Human Behaviour, 2025). Gig işçi profilləri üçün əsas tələb yalnız texniki bacarıqlar deyil; platforma alqoritmləri, rəylər və reytinqlər vasitəsilə "reputasiya kapitalı" da karyera uğurunu müəyyən edir və buna görə də onlayn görünürlük, kommunikasiya və müştəri ilə idarəetmə bacarıqları da kritikdir (Wired, 2023; Fiers & Hargittai, 2023).Frilans platformalarının təsiri iki əsas şəkildə qeyd olunur. Bir tərəfdən, platformalar işçilərə resurslara çıxışı təmin edir və mikratahsisli bacarıqların kommersiyalaşdırılmasını asanlaşdırır; digər tərəfdən isə platforma memarlığı (algoritmik idarəetmə, reytinq sistemləri, ödəmə siyasətləri) işçilərin gəlirlərini və davamlı inkişaf imkanlarını qeyri-bərabər şəkildə formalaşdırır (Sage/Platform training studies, 2024; Wired, 2023). Nəticə: təhsil institutları yalnız "dərs verən" qurumlar kimi deyil, eyni zamanda gig-işçilərin karyera idarəçiliyi, profillərin marketinqi və rəqəmsal etika bacarıqları üzrə dəstək verən struktur kimi rol almalıdır (OECD, 2023).Mikro-bacarıqlar və çevik öyrənmə (micro-skills & agile learning) gig bazarının təməl tələbləridir. İşlər daha çox mikro-xidmətlərə parçalandığından, işçilər qısa müddətli, fokuslanmış və istifadəyə yararlı bacarıqlar tələb edir — məsələn, "Fast API inteqrasiyası", "UX prototipləşdirmə", "sosial media kampaniya optimizasiyası" kimi konkret, ölçüləbilən bacarıqlar. Buna görə də təhsil müəssisələri və təlim təminatçıları modul-əsaslı, stackable (yığılabilən) və nəticə-mərkəzli kurikulları prioritetləşdirməlidir (European Commission JRC, 2024; Nature Research Intelligence, 2024). Bu yanaşma öyrənəni kiçik, doğrulanabilən nailiyyətlər vasitəsilə iş bazarına daha sürətlə uyğunlaşdırır və uzun diplom mərhələlərinə bağlılığı azaltmağa imkan yaradır.

Sİ əsaslı təhsilin əmək bazarına inteqrasiyası

Süni intellekt (Sİ) gig iqtisadiyyatında həm tələb, həm də təklif tərəfini dəyişdirir. Platformalar mühəndisliyi, AI-əsaslı iş uyğunlaşdırma (matching) və bacarıq profillərinin avtomatik qiymətləndirilməsi vasitəsilə iş elanları ilə işçi bacarıqlarını daha incə səviyyədə uyğunlaşdırmağa çalışır. Eyni zamanda Sİ alətləri karyera yönləndirilməsi, CV-optimizasiyası və bacarıq boşluqlarının müəyyənləşdirilməsi üçün istifadə olunur — bu, təhsil provayderləri üçün yeni xidmət imkanları açır (Burning Glass Institute & Harvard Business School, 2024; TestGorilla, 2024).

Bacarıq əsaslı qiymətləndirmə (skills-based assessment). Ənənəvi diplom əsaslı giriş modeli yerini daha çevik və ölçüləbilən bacarıq qiymətləndirmə mexanizmlərinə verir. Platformalar və üçüncü tərəf testinq alətləri real-dünyaya yaxın ssenarilər vasitəsilə texniki və qeyri-texniki bacarıqları ölçə bilir (TestGorilla, 2024; World Bank, 2024). Lakin əhəmiyyətli elmi və praktik problem qalır: işəgötürənlərin çoxu "bacarıq-əsaslı" yanaşma elan etsə də, köhnə praktikalar və seçim meyarları tam dəyişmir; Burning Glass & HBS-in nəticələri göstərir ki, siyasətin bəyan edilməsi ilə əməli tətbiq arasında böyük fərq mövcuddur (Burning Glass Institute & Harvard Business School, 2024). Buna görə təhsil-sənaye əlaqələri, şəffaf bacarıq taksonomiyaları və etibarlı qiymətləndirmə protokolları (psychometric validity, standardization) tələb olunur.

Sertifikatlaşdırmanın transformasiyası. Micro-credentials, rəqəmsal nişanlar (digital badges) və stackable sertifikatlar ənənəvi diplomların tamamlayıcısı və bəzən alternativi kimi sürətlə yayılır. Avropa Komissiyasının və JRC-nin hesabatları göstərir ki, micro-credentials xüsusilə rəqəmsal və mövsümi texniki bacarıqlar üçün uyğun mexanizmdir və işəgötürənlər üçün daha dəqiq bacarıq siqnalı təmin edə bilər (European Commission JRC, 2024). Lakin bunun geniş qəbul olunması üçün: (a) standartlaşdırılmış qiymətləndirmə mexanizmləri, (b) interoperabilik / portfel sistemləri (verifiable digital credentials), və (c) iş bazarı və təhsil arasında akkretasiya mexanizmləri tələb olunur (Nature Research Intelligence, 2024; OECD, 2023).

Sİ həm də sertifikatlaşdırma prosesini avtomatlaşdıra və genişləndirə bilir: avtomatik performans analitikası, proctoring və yetkin-məzmun yoxlanışı vasitəsilə kiçik və tez buraxılan kurslar üçün keyfiyyət

idarəetməsi həyata keçirilə bilər. Lakin burada etik və etibarlılıq məsələləri ön plana çıxır: avtomatlaşdırılmış qiymətləndirmə (Proctoring, automated scoring) bias, performans anomaliyaları və məxfiliyə təsir riskləri yarada bilər, buna görə şəffaflıq və qiymətləndirmə standartları vacibdir (Burning Glass Institute & Harvard Business School, 2024; World Bank, 2024).

Praktik nəticələr və tövsiyələr (qısa)

1. **Kurikulumun modul-əsaslı (micro-credential) transformasiyası:** Təhsil müəssisələri gig-sahə üçün qısa, stackable və işə uyğun modullar inkişaf etdirməlidir (European Commission JRC, 2024).
2. **Bacarıq-əsaslı qiymətləndirmə infrastrukturu:** Etibarlı test alətləri, portfellər və interoperabil digital credentials üçün investisiya zəruridir (TestGorilla, 2024; OECD, 2023).
3. **Sİ və platforma-savvy kompetensiyalar:** Rəqəmsal rəqabət üçün tələbələrə platforma idarəetməsi, reputasiya menecmenti və öz-brendinq üzrə təlim verilməlidir (Fiers & Hargittai, 2023).
4. **Siyasət və tənzimləmə:** Dövlət və sənaye tərəfdaşlığı şirkətlərin skills-based hiring və sertifikatların tanınmasını təşviq etməlidir; yalnız xəbərlərdə danışmaq kifayət deyil — ölçülə bilən dəyişikliklər tələb olunur (Burning Glass Institute & Harvard Business School, 2024; OECD, 2023).

7. Təklif olunan konseptual model:Bu bölmədə biz məqalənin elmi ürəyi olan **Sİ əsaslı hibrid təhsil modelini** təqdim edirik — məqsəd adaptiv təlim, smart repetitor və virtual laboratoriya komponentlərini vahid, praktik və nəzəri olaraq əsaslandırılmış sistemə inteqrasiya etməkdir. Model həm öyrənmə elmlərinə, həm də müasir AIEd metodologiyasına (RL, human-AI hybrid, XAI və learning analytics) əsaslanır və həm tədqiqat, həm də tətbiqetmə səviyyəsində sınaqdan keçirilməyə açıqdır (Holstein et al., 2020; Riedmann et al., 2025).

Modelin ümumi təsviri. Təklif olunan model üç əsas blokdan ibarətdir: (A) **Adaptiv Təlim Mühərriki (Adaptive Engine)** — öyrənən modelini saxlayan və instruksion siyasətləri icra edən nüvə; (B) **Smart Repetitor Modulu (ITS layer)** — real vaxt geribildirim və remediativ müdaxilələri təmin edən agent; (C) **Virtual Laboratoriya / Simulyasiya Mühiti** — praktik bacarıqların təlimi və performans əsaslı stealth-assessment üçün interaktiv mühit. Bloklar arasında verilənlər axını tam avtomatlaşdırılmış olsa da, **insan-dəstək (teacher dashboard, override, audit)** mexanizmi hər səviyyədə mövcuddur ki, bu da human-in-the-loop prinsipinə xidmət edir (Holstein et al., 2020; Hooshyar et al., 2025).

Giriş–çıxış dövrü (perception-action loop). Sistem belə işləyir: (1) virtual laboratoriya və/ya öyrənmə interfeysi istifadəçinin fəaliyyət loqlarını, performans göstəricilərini və (mövcud olduqda) affektiv siqnalları toplayır; (2) adaptiv mühərrik bu məlumatları istifadə edərək öyrənən modelini yeniləyir; (3) instruksion siyasət (məs., RL-ə əsaslanan sequencing policy və ya qayda-əsaslı qərarlar) növbəti fəaliyyət/geribildirim/ ssenarini seçir; (4) smart repetitor seçilmiş müdaxiləni real vaxtda icra edir və eyni zamanda müəllim panelinə açıq xəbərdarlıqlar və tövsiyələr göndərir. Bu perception-action dövrünün konseptual əsasları insan-AI hibrid adaptivlik üzrə mövcud çərçivələrlə üst-üstə düşür (Holstein et al., 2020) və RL əsaslı siyasətlərin potensial tətbiqini praktik olaraq təmin edir (Riedmann et al., 2025).

Sinerji və prioritetləşdirmə. Modelin yeniliyi təkcə komponentlərin birləşməsində deyil, onların **sinergik prioritetləşdirmə** məntiqindədir: sistem öyrənən üçün ən yüksək dəyər yaradan müdaxiləni müəyyən etmək üçün həm qısa-müddətli (real-time error remediation), həm də uzun-müddətli (mastery, transfer) meyarlara baxır. Bu məqsədlə multi-objective reward funksiyaları və insan-təyin edilmiş qaydalar birgə işlədilir — beləliklə RL siyasətləri yalnız qazancı maksimallaşdırmaq deyil, eyni zamanda pedaqoji məhdudiyyətlərə (məs., CLT-ə uyğunluq, etika) əməl edir (Riedmann et al., 2025; Hooshyar et al., 2025).

Modelin pedaqoji və texnoloji komponentləri

Aşağıda modelin əsas komponentləri həm pedaqoji, həm də texnoloji baxımdan təsvir olunur. Hər modulun funksiyası, giriş/çıxış məlumatları və qiymətləndirmə ölçütləri aydın şəkildə verilir.

Öyrənən profili (Learner Profile)

- **Tərkibi:** statik atributlar (yaş, əvvəlki kurslar, ilkin qiymətlər), dinamik atributlar (bilik tərtibatı, səlahiyyət göstəriciləri), affektiv/metakoqnitiv indikatorlar (motivasiya, frustrasiya siqnalları) və reputasiya/portfel göstəriciləri (əgər tətbiq varsa).
- **Funksiya:** öyrənən modelinin mərkəzi məlumat bazasıdır; bütün adaptiv qərarlar buradan çıxır. Profillər həm interpretasiya edilə bilən (parametrik) modellərlə, həm də dərin öyrənmə-əsaslı latent vektorlarla saxlanıla bilər; kritik məqam — XAI mexanizmləri vasitəsilə müəllim və öyrənən üçün izahlı olmalıdır (Holstein et al., 2020; Hooshyar et al., 2025).

Təlim mühərriki (Adaptive / Instructional Engine)

- **Sub-komponentlər:**
  - *Perceptual layer* — telemetriya toplayıcı, signal-preprocessing;

- *Learner modelling* — BKT / DKT / hybrid Bayesian-neural modellər;
- *Policy module* — RL agentləri və ya qayda-əsaslı siyasətlər (hybrid approach preferred);
- *Content orchestrator* — modul seçimi, ssenari konfiguratoru, pedagogy constraints enforcer.

- **Algoritmik seçim:** RL-əsaslı sequencing (Riedmann et al., 2025) ilə yanaşı, etibarlılıq üçün Q-learning / contextual bandit tərzi yüngülləşdirilmiş metodlar tətbiq olunur; kritik yenilik ondan ibarətdir ki, siyasətlər **pedagoji regularizers** (məs., koqnitiv yük limitləri, fairness constraints) ilə optimallaşdırılır.

Qiymətləndirmə modulu (Assessment & Analytics)

- **Funksiyalar:** stealth assessment, formative feedback generation, rubrik-əsaslı summative scoring, learning analytics dashboard.
- **Metriklər:** proses-əsaslı göstəricilər (step success rate, hint usage), nəticə-əsaslı göstəricilər (mastery probability), və uzunmüddətli transfer ölçüləri (post-test, real-world tasks). Qiymətləndirmə həm avtomatik (ML-based scoring), həm də müəllim auditli olmalıdır; XAI texnikaları nəticələrin izahatını təmin edir (Holstein et al., 2020; Riedmann et al., 2025; El Hajji et al., 2025).

Müəllim paneli və idarəetmə (Teacher Dashboard & Governance)

- **Məzmun:** real-time alerts, suggested overrides, cohort analytics, ethical flags (bias alerts, privacy concerns).
- **Məqsəd:** müəllimi yalnız "monitor" kimi deyil, qərarverici və sistemin pedaqoji dizayneri kimi qüvvətləndirmək; bu, human-in-the-loop prinsipinin operasionalizasiyasıdır (U.S. Department of Education, 2023; Holstein et al., 2020).

Məlumat, etik və təhlükəsizlik çərçivəsi

- **Praktik tələblər:** məlumat minimallaşdırılması, şəffaf izah (XAI), hesabvericilik (audit trails), və tənzimləyici uyğunluq (GDPR/AI Act kimi prinsiplər). Modelin həyata keçirilməsi yalnız texniki deyil, həm də təşkilati addımlarla (PEP: policies, education for teachers, procedures) dəstəklənməlidir (Hooshyar et al., 2025; U.S. Department of Education, 2023).

Operativ tədqiqat planı və qiymətləndirmə konsepti (qısa)

- **Pilot dizayn:** iki şaquli sahə (məs., giriş səviyyəli proqramlaşdırma və laboratoriya-əsaslı kimya) seçib, cluster-randomized kontrol (adaptiv+ITS+virtual lab) vs control (ənənəvi + LMS) quruluşu.
- **İlkin göstəricilər:** learning gain (pre/post), mastery retention (3 ay sonra), transfer task performance, teacher workload index, fairness metrics (demographic parity).
- **Analiz:** mixed-methods (kvantitativ: multi-level modelling; keyfiyyat: müəllim & tələbə intervyuları) və offline RL policy evaluation (counterfactual policy evaluation) tətbiq edilməlidir (Riedmann et al., 2025; Holstein et al., 2020).

Təklif olunan Sİ əsaslı hibrid təhsil modeli məzmun və struktur baxımından mövcud ədəbiyyatda təqdim olunan yanaşmalardan fərqlənir. Əvvəlki işlər adətən adaptiv təlim mühərriklərinin, intellektual repetitorların və virtual laboratoriyaların ayrı-ayrı üstünlüklərini təsvir etmiş və hissə-hissə test etmişlər (Kulik & Fletcher, 2016; Létourneau et al., 2025; Elmoazen et al., 2023). Bizim model isə bu komponentləri vahid perceptron-action dövrü və human-in-the-loop idarəetmə məntiqində sintez edir; nəticədə həm qısa müddətli remediation, həm də uzunmüddətli mastery və transfer istiqamətlərini eyni çoxobjektiv çərçivədə nəzərdən keçirir (Holstein et al., 2020; Riedmann et al., 2025).

Metodoloji baxımdan, çoxsaylı sistematik baxışlar texnoloji fokuslu tədqiqatların pedaqoji qiymətləndirmə və müəllim inteqrasiyasını kifayət qədər əhatə etmədiyini göstərir (Zawacki-Richter et al., 2019; Ifenthaler & Yau, 2020). Təklif olunan model bu boşluğu human-AI hibrid prinsipləri və XAI vasitəsilə aradan qaldırmağı hədəfləyir, beləliklə həm interpretasiya, həm də pedaqoji nəzarət səviyyəsini artırır (Hooshyar et al., 2025; Arrieta et al., 2020).

Modelin əsas üstünlükləri aşağıdakılardır:

1. **Holistik inteqrasiya:** Adaptiv mühərrik, ITS və virtual laboratoriyanın sinerjisi öyrənmə prosesinin həm məzmun, həm də praktik bacarıq tərəflərini eyni zamanda dəstəkləyir (Riedmann et al., 2025; El Hajji et al., 2025).
2. **Human-in-the-loop və şəffaflıq:** XAI və müəllim paneli vasitəsilə qərarların izahatı və eskalasiya mexanizmi mövcuddur, bu da etibarlılığı və rəyçi-tələbə qəbulu artırır (Arrieta et al., 2020; U.S. Department of Education, 2023).
3. **Pedaqoji qarantiyalar:** Modelin siyasət modulu koqnitiv yük məhdudiyyətlərini, fairness constraints və pedaqoji regularizer-ləri nəzərə alacaq şəkildə dizayn edilir; bu, yalnız akkumulyativ nəticə deyil, etik öyrənmə prosesini də təmin edir (Holstein et al., 2020; Hooshyar et al., 2025).

4. **Qiymətləndirmə zənginliyi:** Stealth assessment və performans-əsaslı analytics müəllimə həm proses, həm nəticə barədə nümunə-əsaslı məlumat verir və müdaxilələri hədəfləmək üçün etibarlı baza təmin edir (Rahimi & Shute, 2023; Elmoazen et al., 2023).

Bu üstünlüklər nəzəri və ilkin empirik sübutlarla dəstəklənir, lakin onların ümumiləşdirilməsi üçün planlaşdırılmış pilot və eksperimental qiymətləndirmələr zəruridir (Pane et al., 2017; Riedmann et al., 2025).

Təklif olunan modelin tətbiq spektri genişdir: universitet səviyyəsindən peşə-təlimə, onlayn kurslardan korporativ təlimə qədər uzanır. Xüsusilə STEM və praktik bacarıq tələb edən modullarda (laboratoriya kimyası, mühəndislik praktikası, proqramlaşdırma) virtual laboratoriya + ITS kombinasiyası yüksək dəyər verə bilər (Elmoazen et al., 2023; Li & Liang, 2024). Gig iqtisadiyyatı və mikro-sertifikatlaşdırma kontekslərində model bacarıq-əsaslı qiymətləndirmə və qısa-müddətli micro-credentials üçün istifadə oluna bilər (European Commission JRC, 2024; Burning Glass & HBS, 2024).Lakin tətbiq zamanı infrastruktura, müəllimlərin peşəkar hazırlığı və tənzimləyici-etik çərçivələrin mövcudluğu əsas şərtdir. Modelin miqyaslandırılması üçün məlumat infrastrukturunun interoperabilliyi, müəllim mentorluğu proqramları və hüquqi-etik uyğunluq mexanizmləri tələb olunur (OECD, 2023; U.S. Department of Education, 2023).

Nəticə

Bu məqalə Sİ əsaslı hibrid təhsil modelinin konseptual və praktik əsaslarını təqdim etdi və göstərdi ki, adaptiv təlim mühərriki, smart repetitor və virtual laboratoriyanın birgə işləməsi öyrənmə prosesində həm fərdiləşdirmə, həm də praktik bacarıqların inkişafı üçün güclü sinerji təmin edir (Holstein et al., 2020; Riedmann et al., 2025). Model human-AI hibridliyini, XAI-ı və stealth assessment-i bir araya gətirərək pedaqoji nəzarət, izahat və etik uyğunluğa diqqət yetirir; beləliklə texnologiya mərkəzli yanaşmadan öyrənən-mərkəzli pedaqogikaya keçid mümkün olur (Hooshyar et al., 2025; Arrieta et al., 2020).

Təhsil siyasəti və müəllim hazırlığı üçün tövsiyələr

1. **İnfrastruktur:** Təhsil siyasətçiləri Sİ-əsaslı tədrisin pilotlaşdırılması üçün qanunvericilik və infrastruktur dəstəyi təmin etməli, məlumat məxfiliyinə və etik tələblərə uyğun tənzimləmələri tətbiq etməlidirlər (U.S. Department of Education, 2023; OECD, 2023).
2. **Müəllim peşəkarlığı:** Pre-service və in-service proqramlarına AI-literacy, interpretasiya və pedaqoji dizayn modulları daxil edilməlidir; müəllimlər human-in-the-loop funksiyasını həyata keçirmək üçün hazırlanmalıdır (Holmes et al., 2022; Fajardo-Ramos et al., 2025).
3. **Qiymətləndirmə infrastrukturunun modernləşdirilməsi:** Bacarıq-əsaslı qiymətləndirmə və micro-credential infrastrukturu (interopable digital credentials, psychometric validation) prioritet investisiya obyektləri olmalıdır (European Commission JRC, 2024; Burning Glass & HBS, 2024).

Gələcək tədqiqat istiqamətləri

- **Empirik generalizasiya:** Modelin müxtəlif kontekstlərdə (mədəni, dil, resurs səviyyəsi) təsirinin qiymətləndirilməsi üçün geniş-miqyaslı, çoxmərkəzli pilotlar tələb olunur (Pane et al., 2017).
- **Uzunmüddətli transfer və dayanıqlılıq:** Adaptiv müdaxilələrin uzunmüddətli yaddaşa, transfer bacarıqlarına və iş-bazarına uyğunluğa təsirinin tədqiqi vacibdir (Li & Liang, 2024).
- **Etika, hüquq və siyasət araşdırmaları:** Algorithmic accountability, bias mitigation metodları və ölçülə bilən etik standartların tətbiqi sahəsində dərinləşmiş işlər aparılmalıdır (Arrieta et al., 2020; Hooshyar et al., 2025).
- **Human-AI siyasətlərinin optimallaşdırılması:** Hangi qərar nöqtələrində insan eskalasiyasının ən effektiv olduğu, müəllim-yüklənməsinin necə ölçüləcəyi və ideal human-AI interfeys strukturlarının formalaşdırılması araşdırılmalıdır (Holstein et al., 2020; Phung et al., 2025).

Ədəbiyyat Siyahısı

1. Adams, C., Pente, P., Lemermeyer, G., & Rockwell, G. (2023). *Ethical principles for artificial intelligence in K-12 education. Computers & Education: Artificial Intelligence*, 4, 100131. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100131
2. *Adaptive learning using artificial intelligence in e-learning: A literature review.* (2023).*Education Sciences, 13*(12), 1216. https://doi.org/10.3390/educsci13121216 https://www.mdpi.com/2227-7102/13/12/1216
3. Almeman, K., El Ayeb, F., Berrima, M., Issaoui, B., & Morsy, H. (2025). The integration of artificial intelligence and metaverse in education: A systematic literature review. *Applied Sciences, 15*(2), 863.https://doi.org/10.3390/app15020863 https://www.mdpi.com/2076-3417/15/2/863

4. Arrieta, A. B., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., … Herrera, F. (2020). Explainable artificial intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion, 58*, 82–115. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012.https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253519303106
5. *Artificial intelligence in adaptive education: A systematic review of techniques for personalized learning.* (2025). *Discover Education, 4*, 458. https://doi.org/10.1007/s44217-025-00908-6 https://link.springer.com/article/10.1007/s44217-025-00908-6
6. Bond, M., Marín, V. I., Dolch, C., Bedenlier, S., & Zawacki-Richter, O. (2020). Digital transformation in higher education: A systematic review of research on digital technologies. *Educational Technology & Society, 23*(1), 1–15. https://www.jstor.org/stable/26915445
7. Burning Glass Institute & Harvard Business School Project on Managing the Future of Work. (2024). *Skills-Based Hiring: The Long Road from Pronouncements to Practice.* https://www.hbs.edu/managing-the-future-of-work/Documents/research/Skills-Based%20Hiring.pdf
8. Doroudi, S., et al. (2019). Reinforcement learning for instructional sequencing: a review. *Artificial Intelligence in Education* proceedings. (see Riedmann et al., 2025 for extended review).
9. Education Sciences. (2023).Adaptive learning using artificial intelligence in e-learning: A literature review. *Education Sciences, 13*(12), 1216. https://doi.org/10.3390/educsci13121216 https://www.mdpi.com/2227-7102/13/12/1216
10. El Hajji, M., Ait Baha, T., Berka, A., Ait Nacer, H., El Aouifi, H., & Es-Saady, Y. (2025). An architecture for intelligent tutoring in virtual reality: Integrating LLMs and multimodal interaction for immersive learning. *Information, 16*(7), 556. https://doi.org/10.3390/info16070556
11. Elendu, C., Amaechi, D. C., Okatta, A. U., Amaechi, E. C., Elendu, T. C., Ezeh, C. P., & Elendu, I. D. (2024). The impact of simulation-based training in medical education: A review. *Medicine, 103*(27), e38813. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000038813 https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11224887/
12. Elmoazen, R., Saqr, M., Khalil, M., & Wasson, B. (2023). Learning analytics in virtual laboratories: A systematic literature review of empirical research. *Smart Learning Environments, 10*(1), 23. https://doi.org/10.1186/s40561-023-00244-y https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9996561/
13. European Commission, Joint Research Centre (JRC). (2024). *Micro-credentials in higher education: A systematic review and policy roadmap.* JRC Publications Repository. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC142086/JRC142086_01.pdf
14. Fajardo-Ramos, D. C., Chiappe, A., & Mella-Norambuena, J. (2025). Human-in-the-loop assessment with AI: implications for teacher education in Ibero-American universities. *Frontiers in Education*. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1710992 https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feduc.2025.1710992/full
15. Fernández-Herrero, J. (2024). Evaluating recent advances in affective intelligent tutoring systems: A scoping review of educational impacts and future prospects. *Education Sciences, 14*(8), 839. https://doi.org/10.3390/educsci14080839 https://www.mdpi.com/2227-7102/14/8/839
16. Fiers, C., & Hargittai, E. (2023). Resilience in the gig economy: Digital skills in online freelancing. *Journal of Computer-Mediated Communication, 29*(5). https://doi.org/10.1093/jcmc/zmae014
17. Gkintoni, E., Antonopoulou, H., Sortwell, A., & Halkiopoulos, C. (2025). *Challenging Cognitive Load Theory: The role of educational neuroscience and artificial intelligence in redefining learning efficacy. Brain Sciences, 15*, 203. https://doi.org/10.3390/brainsci15020203
18. Graham, C. R. (2021).Blended learning systems: Definition, current trends, and future directions. *Handbook of Blended Learning*. https://www.researchgate.net/publication/351314060
19. Holmes, W., Porayska-Pomsta, K., & Holstein, K. (Eds.). (2022). *The Ethics of Artificial Intelligence in Education: Practices, Challenges and Debates.* Routledge. https://www.routledge.com/The-

Ethics-of-Artificial-Intelligence-in-Education-Practices-Challenges-and-Debates/Holmes-Porayska-Pomsta-Holstein/p/book/9780367349728
20. Holstein, K., Aleven, V., & Rummel, N. (2020). A conceptual framework for human–AI hybrid adaptivity in education. In *Artificial Intelligence in Education* (pp. 240–254). Springer. PMCID: PMC7334162. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7334162/.
21. Hong, S., Moon, J., Eom, T., Awoyemi, I. D., & Hwang, J. (2025). Generative AI-Enhanced Virtual Reality Simulation for Pre-Service Teacher Education: A mixed-methods analysis of usability and instructional utility for course integration. *Education Sciences, 15*(8), 997. https://doi.org/10.3390/educsci15080997 https://www.mdpi.com/2227-7102/15/8/997
22. Hooshyar, D., Šír, G., Yang, Y., Kikas, E., Hämäläinen, R., Kärkkäinen, T., Gašević, D., & Azevedo, R. (2025). Towards responsible AI for education: Hybrid human-AI to confront the elephant in the room. *arXiv preprint*. https://arxiv.org/abs/2504.16148 https://arxiv.org/abs/2504.16148
23. Hrastinski, S. (2022).Asynchronous and synchronous e-learning. *Educause Review*. https://er.educause.edu/articles/2022/3/asynchronous-and-synchronous-e-learning
24. Ifenthaler, D., & Yau, J. Y. K. (2020). Utilizing learning analytics to support study success in higher education. *Educational Technology Research and Development, 68*, 1961–1985. https://doi.org/10.1007/s11423-020-09788-z
25. Juniarni, C., Akhyar, A., Sodikin, M. A., & Rafmana, H. (2024). Transforming teaching and learning with artificial intelligence (AI): Personalized education, adaptive learning, and intelligent tutoring systems. *Education Studies and Teaching Journal (EDUTECH), 1*(3), 368–386. https://doi.org/10.62207/c97e7356 https://ppipbr.com/index.php/edutech/article/view/390
26. Krivich, E., Hooshyar, D., Šír, G., Yang, Y., Bauters, M., Hämäläinen, R., & Kärkkäinen, T. (2025). *A Systematic Review of Deep Knowledge Tracing (2015–2025): Toward Responsible AI for Education* (Preprint). Preprints.org. https://www.preprints.org/manuscript/202510.1845/v1
27. Kulik, J. A., & Fletcher, J. D. (2016). *Effectiveness of intelligent tutoring systems: A meta-analytic review. Review of Educational Research, 86*(1), 42–78. https://doi.org/10.3102/0034654315581420
28. Létourneau, A., Deslandes Martineau, M., Charland, P., Karran, J. A., Boasen, J., & Léger, P. M. (2025). *A systematic review of AI-driven intelligent tutoring systems (ITS) in K-12 education. NPJ Science of Learning*. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12078640/
29. Li, J., & Liang, W. (2024). Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis. *PLoS ONE, 19*, e0316269. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316269
30. Meylani, R. (2024).A critical glance at adaptive learning systems using artificial intelligence: A systematic review and qualitative synthesis of contemporary research literature. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 15(2), 3519–3547. https://doi.org/10.51460/baebd.1525452 https://dergipark.org.tr/en/pub/baebd/article/1525452
31. Moumen, A. (2025). Virtual Laboratories in STEM Education: A Scoping Literature Review on E-Learning Innovation. *Engineering Proceedings, 112*(1), 17. https://doi.org/10.3390/engproc2025112017 https://www.mdpi.com/2673-4591/112/1/17
32. OECD. (2023). *OECD Skills Outlook 2023: People and skills in a changing world.* OECD Publishing. https://www.oecd.org/skills/oecd-skills-outlook-2023-1f5aa6f7-en.htm https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/11/oecd-skills-outlook-2023_df859811.pdf)
33. Pane, J. F., Steiner, E. D., Baird, M. D., & Hamilton, L. S. (2017). *Informing progress: Insights on personalized learning implementation and effects.* RAND Corporation. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2042.html
34. Pelánek, R. (2017). Bayesian knowledge tracing, logistic models, and beyond: an overview of learner modeling techniques. *User Modeling and User-Adapted Interaction, 27*(3), 313–350. https://doi.org/10.1007/s11257-017-9196-8
35. Phung, T., Choi, H., Wu, M., Brooks, C., Gulwani, S., & Singla, A. (2025). Closing the Loop: An Instructor-in-the-Loop AI assistance system for supporting student help-seeking in programming education.

arXiv preprint. https://arxiv.org/abs/2510.14457
https://arxiv.org/html/2510.14457v1
36. Piech, C., Bassen, J., Huang, J., Ganguli, S., Sahami, M., Guibas, L. J., & Sohl-Dickstein, J. (2015). Deep Knowledge Tracing. In *Advances in Neural Information Processing Systems 28 (NeurIPS 2015)*. https://proceedings.neurips.cc/paper/2015/hash/bac9162b47c56fc8a4d2a519803d51b3-Abstract.html
37. Rahimi, S., & Shute, V. J. (2023). Stealth assessment: A theoretically grounded and psychometrically sound method to assess, support, and investigate learning in technology-rich environments. *Educational Technology Research and Development*. https://doi.org/10.1007/s11423-023-10232-1
https://myweb.fsu.edu/vshute/pdf/ETRD2023.pdf
38. Redecker, C. (2020).European framework for the digital competence of educators (DigCompEdu). *Publications Office of the European Union*.
https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcompedu_en
39. Reyes, R. L., Isleta, K. P., Regala, J. D., & Bialba, D. M. R. (2024). Enhancing experiential science learning with virtual labs: A narrative account of merits, challenges, and implementation strategies. *Journal of Computer Assisted Learning, 40*(6), 3167–3186. https://doi.org/10.1111/jcal.13113
(Accessible via publisher: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jcal.13113)
40. Riedmann, A., Schaper, P., & Lugrin, B. (2025). *Reinforcement Learning in Education: A Systematic Literature Review. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 35*, 2669–2723. https://doi.org/10.1007/s40593-025-00494-6
41. Scientific Reports. (2025).The impact of digital hybrid education model on teachers' engagement and academic performance.
https://www.nature.com/articles/s41598-025-02875-2
42. Sweller, J. (2019). Cognitive load theory. In *Advances in Cognitive Load Theory* (pp. 1–12). Routledge / Springer. https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-8126-4
43. TestGorilla. (2024). *The State of Skills-Based Hiring 2024.* https://www.testgorilla.com/skills-based-hiring/state-of-skills-based-hiring-2024/
44. *The impact of digital hybrid education model on teachers' engagement and academic performance in the context of Kazakhstan.* (2025).
Scientific Reports, 15, Article 2875.
https://doi.org/10.1038/s41598-025-02875-2
https://www.nature.com/articles/s41598-025-02875-2
45. *The integration of artificial intelligence in STEM education: Addressing ethical challenges in K–12 settings.* (2025).
arXiv preprint.
https://arxiv.org/abs/2510.19196
46. U.S. Department of Education, Office of Educational Technology. (2023). *Artificial Intelligence and the Future of Teaching and Learning: Insights and Recommendations* (May 2023).
https://www.ed.gov/ai-report/ai-report.pdf
https://www.ed.gov/sites/ed/files/documents/ai-report/ai-report.pdf
47. Wang, S., Wang, F., Zhu, Z., Wang, J., Tran, T., & Du, Z. (2024). *Artificial intelligence in education: A systematic literature review. Expert Systems with Applications, 252*, 124167.
https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124167
48. Wired. (2023). *Gig Workers Are Getting Crushed by the Review Mill.*
https://www.wired.com/story/gig-workers-algorithm-downranked
49. World Bank. (2024). *Building digital literacy and skills to reflect the needs of the job market.* World Bank Knowledge. https://documents1.worldbank.org/curated/en/099714205022428058/pdf
50. World Economic Forum. (2024). *What is the gig economy and what's the deal for gig workers?*
https://www.weforum.org/stories/2024/11/what-gig-economy-workers/
51. Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). *Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? International Journal of Educational Technology in Higher Education, 16*(39).
https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0

PACKET TRACER MÜHİTİNDƏ ŞƏBƏKƏ TƏHLÜKƏSİZLİK SSENARİLƏRİNİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ VƏ ANALİZ EDİLMƏSİ

Məmmədli Elşən Rövşən oğlu
Bakı,Azərbaycan
Bakı Mühəndislik Universitetin Kibertəhlükəsizlik və
kompüter mühəndisliyi kafedrasının magistr tələbəsi
ememmedli26@std.beu.edu.az

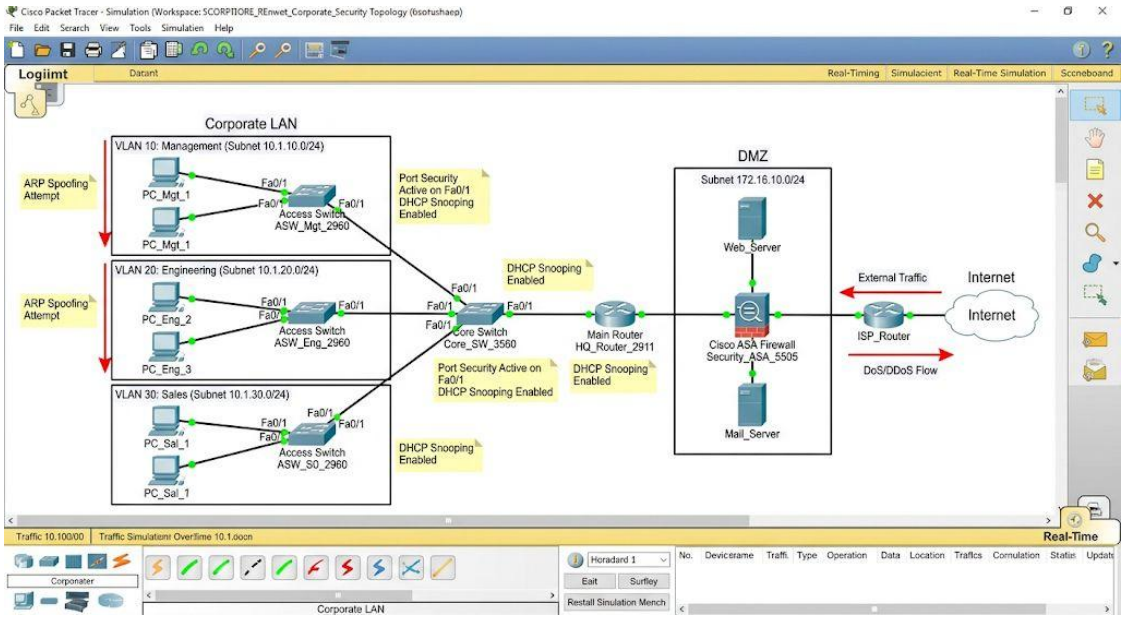
Məmmədzadə Nəcəf Nəvai oğlu
Bakı,Azərbaycan
Bakı Mühəndislik Universitetinin Kibertəhlükəsizlik və
kompüter mühəndisliyi kafedrasının müəllimi
namammadzade@beu.edu.az
https://orcid.org/0009-0000-0356-3309

Xülasə
Məncə Bu tədqiqatın məqsədi real şirkət şəbəkələrində ola biləcək təhlükələri əvvəlcədən müəyyən etmək və onların təsirini virtual mühitdə yoxlamaqdır. İş zamanı fiziki avadanlıqlardan istifadə olunmayıb, onların yerinə kompüter üzərində simulyasiya olunub. Burada şəbəkəyə edilən müxtəlif müdaxilələr və hücum test edilmişdir (Vakhter, 2021, s. 55–62; Cisco Networking Academy, 2022, s. 102–110).
Təcrübə mərhələsi zamanı əvvəlcə şəbəkənin normal işləmə vəziyyəti araşdırılmış, daha sonra müxtəlif problemlər bilərəkdən tətbiq edilərək sistemin davranışı yoxlanılmışdır. Sonda isə təhlükəsizlik mexanizmləri əlavə edilmiş və nəticələr müqayisə edilmişdir (Fitzgerald & Dennis, 2020, s. 180–192; Stallings, 2023, s. 45–52).
Nəticələrdən məlum olunur ki, düzgün qurulmuş müdafiə tədbirlərində şəbəkənin dayanıqlığını artırmaq və hücumların təsirini azaltmaq mümkündür (Lammle, 2020, s. 115–125; Cisco Systems, 2024, s. 44–50).

Giriş

Müasir zamanda demək olar ki, bütün müəssisələr işlərini şəbəkə üzərindən idarə edir. Ona görə də şəbəkədə yaranan hər hansı problem olarsa, birbaşa iş prosesinə təsir edir. Mənim fikrimcə İnternetin inkişafı ilə birlikdə təhlükələr də artıb və daha mürəkkəb hala gəlib (Stallings, 2023, s. 30–38).
Bu səbəbdən təhlükəsizlik ancaq problem yarandıqdan sonra yox, sistem qurulan zaman düşünülməlidir. Amma real mühitdə tədqiqat aparmaq risklidir və sistemə ziyan vura bilər. Buna görə virtual mühit daha təhlükəsiz seçim sayılır (Cisco Networking Academy, 2022, s. 22–29).
Bu işdə istifadə olunan proqram şəbəkəni real mühitə oxşar şəkildə modelləşdirir və müxtəlif ssenariləri yoxlamağa imkan yarada bilir (Lammle, 2020, s. 115–125; Vakhter, 2021, s. 55–62).Cisco Packet Tracer proqramı bu sahədə geniş istifadə edilən proqramdır. Bu platforma vasitəsilə real şəbəkəyə yaxın mühit yaratmaq və müxtəlif ssenariləri yoxlamaq mümkün hala gəlir(Lammle, 2020, s. 115–125; Vakhter, 2021, s. 55–62).Aşağıda təqdim olunan təsvir (Şəkil 1), bu tədqiqat layihəsi çərçivəsində Packet Tracer proqramında formalaşdırılmış mürəkkəb korporativ şəbəkə təhlükəsizliyi modelinin simulyasiya şəklini göstərir.
Layihələndirilmiş arxitekturada əsas idarəetmə funksiyaları "HQ_Router_2911" router və "Core_SW_3560" core switch üzərində toplanmışdır. Şəbəkə strukturu iyerarxik prinsiplərə əsasən məntiqi seqmentlərə (VLAN) ayrılmışdır; daxili istifadəçi qurğuları "Local LAN" daxilində, public ip-ni təmin edən Web və Mail serverlər isə daxilində qruplaşdırılmışdır. Xarici şəbəkə ilə korporativ şəbəkə arasında etibarlı sərhəd yaratmaq məqsədilə "Cisco ASA 5505" firewall ilə bərpa olunmuşdur. Topologiya üzərində həm lokal şəbəkələrdən yaranan (ARP spoofing), həm də qlobal şəbəkədən yönələn (DoS/DDoS) potensial hücum yolları qırmızı istiqamət oxları ilə işarələnmişdir. Eyni zamanda, şəbəkə switchlərində aktivləşdirilmiş Port Security və DHCP Snooping kimi təhlükəsizlik alətləri xüsusi vizual yazılarla fərqləndirilmişdir. Bu model mürəkkəb müdafiə ssenarilərinin və kiberhücumların real zaman kəsiyində tədqiqi üçün nəzərdə tutulmuşdur (Fitzgerald, J., "Business Data Communications and Networking", s. 180-192; Cisco Systems, "Packet Tracer 8.2 User Manual", s. 44-50).
Tədqiqat layihəsinin əsas hədəfi bu simulyasiya modeli üzərində müxtəlif müdaxilə ssenarilərini tətbiq etmək və şəbəkə trafikinin reaksiyasını müqayisəli şəkildə qiymətləndirməkdir. Həmin metodologiya həm

tətbiq edilən ACL təmizləmələrin dayanıqlığını yoxlamağa, həm də şəbəkə mütəxəssisləri üçün infrastrukturun müdafiəsini gücləndirəcək elmi-praktiki rəylərin hazırlanmasına xidmət edir. Araşdırma prosesində müdafiə konfiqurasiyalarından əvvəlki və sonrakı vəziyyətlərin hərtərəfli analiz, tədqiqat işinin həm elmi dəyərini, həm də praktiki əhəmiyyətini artırır (Vakhter, V., "Modeling and Simulation in Cybersecurity: From Theory to Practice", s. 55-62; Anderson, R., "Security Engineering", s. 112-120).



Şəkil 1. Cisco Packet Tracer Proqramında Şəbəkə Təhlükəsizliyi Topologiyasının Modelləşdirilməsi

Tədqiqatın Metodologiyası

Bu araşdırma rəqəmsal məlumatlara və simulyasiya texnologiyalarına əsaslanan elmi analiz metodologiyası üzərində qurulmuşdur. Tədqiqatın strateji strukturu, fiziki şəbəkə mühitində baş verən kiber hadisələrin virtual məkana transferi və əldə olunan nəticələrin sınaqdan keçirilmiş üsullarla qiymətləndirilməsi prinsiplərinə əsaslanır . Əsas təhlil aləti kimi "Diskret Hadisəli Simulyasiya" (DES) modeli seçilmişdir ki, bu da şəbəkə paketlərinin (PDU) hərəkət dinamikasını və avadanlıqların reaksiyasını real zaman kəsiyində monitorinq etməyə imkan tanıyır (Vakhter, V., "Digital Twin and Simulation in Cybersecurity", s. 70-76; Cisco Systems, "Packet Tracer 8.2 Technical Documentation", s. 25-30).

Tədqiqat prosesi aşağıdakı iyerarxik mərhələlər üzrə reallaşdırılır:

1.Virtual Topologiyanın Layihələndirilməsi: İlkin fazada müəssisə şəbəkəsinin iyerarxik arxitekturası (Core, Distribution və Access qatları) Packet Tracer mühitində əmələ gəlir. Prosesə Cisco 2911 seriyalı marşrutlaşdırıcılar, 3560 çoxqatlı switchlər və müxtəlif son istifadəçilərə (PC, Laptop) ötürülür. Qurulmuş topologiyanın düzgün fəaliyyəti OSPF, RIP və ya statik marşrutlaşdırma kimi standart protokolların test edilməsi ilə təsdiqlənir.

2.Hücum İstiqamətlərinin Təyini və Simulyasiyası: İkinci mərhələdə sistemin zəif tərəflərini ortaya çıxarmaq üçün proqramın "Simulation Mode" funksiyasından istifadə olunur. Mühitə ICMP Flood və ya saxta ARP sorğuları kimi müxtəlif hücum yolları daxil edilir. Bu zaman kiber müdaxilələrin trafik axınında yaratdığı anormal hadisələr — paket itkiləri və gecikmə dərəcələri ətraflı şəkildə yoxlanılır (Stallings, W., "Network Security Fundamentals", s. 110-115; Fitzgerald, J., "Business Data Communications", s. 340-348).

3.Müdafiə Mexanizmlərinin Birləşdirilməsi: Metodologiyanın növbəti addımı qoruyucu təhlükəsizlik konfiqurasiyalarının tətbiqindən ibarətdir. Burada CLI (Command Line Interface) interfeysi vasitəsilə Port Security limitləri, VLAN-lar arası ACL təmizləmə qaydaları və firewall (şəbəkə ekranı) üzərində giriş-çıxış trafikinə nəzarət tənzimləmələri icra olunur.

4.Müqayisəli Analiz və Nəticələrin Qiymətləndirilməsi: Yekun mərhələdə şəbəkənin üç fərqli vəziyyəti — hücumdan əvvəl, hücum anı və müdafiə tətbiq edildikdən sonrakı göstəriciləri qarşılaşdırılır. Bloklanan paketlərin statistikası və sistemin dözümlülük əmsalı əsasında seçilmiş təhlükəsizlik strategiyasının

effektivliyi haqqında elmi qənaət hasil edilir (Lammle, T., "CCNA Certification Study Guide", s. 510-518; Academic Journal of IT Security, "Methodology of Virtual Lab Experiments", Vol. 15, s. 92-100).
Bu metodoloji yanaşma, şəbəkə təhlükəsizliyini nəzəri səviyyədən praktiki-virtual səviyyəyə keçirərək, tətbiq olunan texniki həllərin dəqiqliyini elmi cəhətdən əsaslandırmağa xidmət edir.

Şəbəkə Hücumlarının Modelləşdirilməsi və Analizi

Virtual mühitdə kiberhücumların modelləşdirilməsi, potensial təhdidlərin real infrastrukturun dayanıqlığına göstərə biləcəyi təsirləri öncədən proqnozlaşdırmaq üçün geniş təhlilli mərhələdir. Bu tədqiqatın ilkin addımı şəbəkənin stabil fəaliyyət göstəricilərini (baseline) müəyyən etməkdir. Packet Tracer platformasının "Simulation" rejimi hər bir məlumat paketinin (PDU) mənbə nöqtəsindən hədəfə qədər olan trayektoriyasını izləməyə və OSI modelinin müxtəlif qatlarında baş verən texniki dəyişiklikləri vizuallaşdırmağa şərait yaradır. Bu yanaşma, kiber müdaxilələrin şəbəkə avadanlıqlarının hesablama gücünə və ötürücülük qabiliyyətinə göstərdiyi mənfi təsirləri elmi metodlarla ölçmək üçün uyğun şərait formalaşdırır (Vakhter, V., "Modeling and Simulation in Cybersecurity", s. 82-88; Cisco Systems, "Packet Tracer 8.x User Manual", s. 32-35).
Tədqiqat çərçivəsində tətbiq olunan əsas ssenarilərdən biri DoS hücumlarıdır. Bu prosesdə hədəf seçilmiş server və ya routerə çox şəkildə səhv ICMP və ya TCP SYN paketləri yönləndirilməklə sistem resurslarının çox yüklənməsi hədəflənir. Tənqidi yanaşmalar sübut edir ki, hücumun intensivliyi artdıqca qanuni istifadəçilərin müraciətləri cavabsız qalır və şəbəkə gecikmələri kritik səviyyəyə çatır. Packet Tracer mühitində bu vəziyyət trafikin həddindən artıq intensivləşməsi və paketlərin keş yaddaşında toplanaraq itməsi (buffer overflow) ilə canlı şəkildə nümayiş etdirilir (Stallings, W., "Network Security Essentials", s. 145-152; Fitzgerald, J., "Business Data Communications", s. 360-365).
Digər bir ssenari, lokal şəbəkənin daxili zəifliklərini hədəf alan "ARP Spoofing" (ARP saxtalaşdırılması) hücumudur. Modelləşdirmə zamanı hücumçu terminalı saxta ARP cavabları yayaraq öz fiziki ünvanını (MAC) şəbəkə gateway ünvanı kimi qəbul etdirir. Təhlillər göstərir ki, bu aldatma nəticəsində "Man-in-the-Middle" vəziyyəti formalaşır və bütün məlumat axını cinayətkarın cihazı üzərindən keçməyə başlayır. Packet Tracer-də cihazların daxili ARP cədvəllərinin monitorinqi bu növ anormal hadisələrin dərhal ortaya çıxarılmasına imkan verir (Lammle, T., "CCNA Certification Study Guide", s. 420-428; Cisco Networking Academy, "CyberOps Associate Guide", s. 155-162).
Yekun analizə görə "DHCP Starvation" (DHCP resurslarının istifadə edilməsi) hücumu araşdırılmışdır . Bu ssenaridə hücumçu çoxsaylı saxta MAC ünvanları ilə DHCP serverə çoxlu müraciətlər edərək mövcud olan bütün IP ünvan bazasını öyrənir. Modelləşdirmənin nəticələri göstərir ki, bu zaman şəbəkəyə yeni daxil olan qanuni istifadəçilər IP konfiqurasiyası ala bilmir və infrastrukturdan tamamilə təcrid olunurlar. Aparılan təhlillər simulyasiya vasitəsilə hücumların həm lokal (Access layer), həm də regional (Distribution layer) səviyyədəki fəsadlarını kəmiyyət göstəriciləri ilə ölçməyin mümkünlüyünü sübut edir (Academic Journal of IT Security, "Simulation-based Attack Analysis", Vol. 14, s. 45-52; Stallings, W., "Cryptography and Network Security", s. 510-515).

Nəticə

Araşdırma göstərdi ki, virtual simulyasiya şəbəkə təhlükəsizliyini öyrənmək üçün çox faydalı üsuldur. Bu yanaşma real sistemə zərər vermədən müxtəlif vəziyyətləri yoxlamağa imkan verir.
Eyni zamanda məlum oldu ki, təhlükəsizlik tədbirləri düzgün qurulduqda hücumların təsiri əhəmiyyətli dərəcədə azalır. Buna görə də şəbəkə layihələndirilməsi mərhələsində müdafiə sistemləri nəzərə alınmalıdır.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat

1.Şəbəkə təhlükəsizliyinin əsas prinsipləri və hücum mexanizmlərinin işləmə məntiqi William Stallings-in əsərlərində geniş şəkildə izah olunur. Bu mənbə xüsusilə DoS hücumları və ümumi təhlükəsizlik yanaşmalarını anlamaqda faydalı olmuşdur (Stallings, 2023, s. 30–38; s. 145–152).
2.Cisco şəbəkə texnologiyalarının praktiki tərəfləri isə Todd Lammle tərəfindən yazılmış tədris materialları əsasında öyrənilmişdir. Burada ACL, VLAN və port səviyyəsində təhlükəsizlik kimi mövzuların real konfiqurasiyası izah edilir (Lammle, 2020, s. 115–125; s. 420–428).
3.Cisco Networking Academy tərəfindən hazırlanmış dərs materialları şəbəkə təhlükəsizliyində baş verən hadisələrin analizi və əməliyyat səviyyəsində yanaşmaların başa düşülməsi üçün istifadə edilmişdir (Cisco Networking Academy, 2022, s. 102–110; s. 155–162).
4.Korporativ şəbəkə arxitekturasının qurulması və məlumat axınının idarə olunması ilə bağlı Fitzgerald və Dennis-in əsərləri nəzəri baza kimi istifadə olunmuşdur (Fitzgerald & Dennis, 2020, s. 180–192; s. 360–365).

5.Simulyasiya əsaslı kibertəhlükəsizlik yanaşmaları isə Vakhter-in tədqiqat işləri vasitəsilə öyrənilmişdir. Bu mənbə virtual mühitdə hücumların modelləşdirilməsi və nəticələrin analizinə dair elmi yanaşma təqdim edir (Vakhter, 2021, s. 55–62; s. 70–76).
6.Cisco Packet Tracer proqramının texniki xüsusiyyətləri və istifadə qaydaları isə Cisco Systems-in rəsmi sənədləri əsasında tətbiq edilmişdir (Cisco Systems, 2024, s. 25–30; s. 44–50).
7.Nəhayət, paylanmış sistemlərdə təhlükəsizlik mühəndisliyi və risklərin idarə olunması ilə bağlı əsas prinsiplər Anderson-un əsərləri əsasında nəzərdən keçirilmişdir (Anderson, 2020, s. 112–120).
8.virtual mühitdə hücumların analizi və müdafiə strategiyalarının qiymətləndirilməsi ilə bağlı elmi yanaşmalar Academic Journal of IT Security nəşrlərindən götürülmüşdür (2022, s. 45–52).

KİBERFİZİKİ SİSTEMLƏRİN İCRA MEXANİZMLƏRİ

EYYUBOVA EMİLYA ÜLFƏT QIZI
Sumqayıt Dövlət Universiteti
İnformasiya Texnologiyaları
emilyaeyyubova1@gmail.com
SUMQAYIT, AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ

Bu tezisdə kiberfiziki sistemlərin mühüm komponentlərindən biri olan icra mexanizmlərinin nəzəri və praktiki əsasları ətraflı şəkildə tədqiq edilmişdir. Kiberfiziki sistemlər fiziki obyektlərin, informasiya texnologiyalarının və kommunikasiya şəbəkələrinin inteqrasiyası nəticəsində yaranan kompleks sistemlərdir və real vaxt rejimində məlumatların toplanması, emalı, idarə olunmasını təşkil edir. Bu sistemlərdə qəbul edilən idarəetmə qərarlarının fiziki mühitdə həyata keçirilməsi məhz icra mexanizmləri vasitəsilə baş verir.

Tədqiqat işində icra mexanizmlərinin anlayışı, funksiyaları və kiberfiziki sistemlərdə rolu geniş şəkildə izah edilmişdir. Aktuatorların enerji mənbəyinə görə (elektrik, hidravlik, pnevmatik, termiki və s.) və hərəkət növünə görə (xətti və fırlanan) təsnifatı verilmiş, onların işləmə prinsipləri və struktur xüsusiyyətləri ətraflı təhlil olunmuşdur. Eyni zamanda, icra mexanizmlərinin idarəetmə sistemləri ilə qarşılıqlı əlaqəsi, xüsusilə qapalı dövrəli idarəetmə sistemlərində geri əlaqənin rolu izah edilmişdir.

Nəticə olaraq müəyyən edilmişdir ki, icra mexanizmləri kiberfiziki sistemlərin effektiv, etibarlı və təhlükəsiz işləməsini təmin edən əsas komponentlərdən biridir və onların inkişafı bu sahənin gələcək perspektivlərini müəyyən edən əsas amillərdəndir..

AÇAR SÖZLƏR: (Ən az 3 açar söz)-Kiberfiziki sistemlər, icra mexanizmləri, aktuatorlar, avtomatlaşdırma, idarəetmə sistemləri.

GIRIŞ

Müasir dövrdə texnologiyanın sürətli inkişafı nəticəsində kiberfiziki sistemlər (KFS) sənaye, nəqliyyat, səhiyyə və energetika kimi sahələrdə geniş tətbiq olunmağa başlamışdır. Bu sistemlər fiziki proseslərin rəqəmsal texnologiyalar vasitəsilə idarə olunmasını təmin edir və real vaxt rejimində yüksək dəqiqliklə işləyir.

Kiberfiziki sistemlərdə əsas mərhələlər məlumatın toplanması, emalı və nəticənin fiziki mühitdə tətbiqindən ibarətdir. Bu son mərhələni həyata keçirən komponentlər icra mexanizmləri (aktuatorlar) adlanır. Onlar idarəetmə sistemindən gələn siqnalları real fiziki hərəkətə çevirir və sistemin aktiv hissəsini təşkil edir.

Bu tezisin məqsədi kiberfiziki sistemlərdə icra mexanizmlərinin nəzəri əsaslarını, növlərini, işləmə prinsiplərini və tətbiq sahələrini ətraflı şəkildə araşdırmaqdır.

KİBERFİZİKİ SİSTEMLƏRİN ÜMUMİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Kiberfiziki sistemlər (KFS) müasir texnologiyanın ən əsas istiqamətlərindən biridir.Bu sistemlər fiziki obyektlərin, hesablama sistemlərinin və kommunikasiya şəbəkələrinin vahid platformada inteqrasiyası nəticəsində yaranan kompleks sistemlərdir.

Kiberfiziki sistemlərin əsas xüsusiyyəti real vaxt rejimində işləmələridir. Bu sistemlərdə məlumatların toplanması, emalı və qərarların verilməsi çox qısa zaman intervalında həyata keçirilir. Bu xüsusiyyət xüsusilə nəqliyyat, sənaye və səhiyyə kimi sahələrdə həyati əhəmiyyət kəsb edir. Məsələn, avtomatik idarə olunan nəqliyyat vasitələrində və ya tibbi monitorinq sistemlərində gecikmələr ciddi təhlükə yarada bilərlər.

Bu sistemlər avtomatlaşdırılmış idarəetmə prinsiplərinə əsaslanır və çox vaxt insan müdaxiləsi olmadan fəaliyyət göstərə bilir. Süni intellekt və maşın öyrənməsi texnologiyalarının tətbiqi nəticəsində kiberfiziki sistemlər adaptiv davranış nümayiş etdirir, bu o deməkdir ki, dəyişən mühit şəraitinə uyğunlaşaraq optimal qərarlar qəbul edə bilir. Bu isə onların daha effektiv və səmərəli işləməsini təmin edir.

Kiberfiziki sistemlərdə məlumat axını davamlı xarakter daşıyır. Sensorlardan əldə olunan məlumatlar emal olunaraq idarəetmə blokuna ötürülür və burada analiz olunduqdan sonra icra mexanizmlərinə göndərilir. İcra mexanizmləri isə bu qərarları fiziki mühitdə həyata keçirir. Bu proses geri əlaqə mexanizmi ilə müşayiət olunur ki, bu da sistemin dəqiqliyini və sabitliyini artırır.

Digər mühüm xüsusiyyət bu sistemlərin şəbəkə əsaslı olmasıdır. Kiberfiziki sistemlərdə müxtəlif qurğular bir-biri ilə internet və ya digər kommunikasiya texnologiyaları vasitəsilə əlaqə saxlayır. Bu, uzaqdan idarəetmə, məlumatların paylaşılması və sistemlərin inteqrasiyası kimi imkanlar yaradır. IoT (Əşyaların İnterneti) bu sahədə əsas texnoloji baza hesab olunur.

Kiberfiziki sistemlər həm də böyük həcmli məlumatların emalı ilə xarakterizə olunur. Sensorlar və digər mənbələr vasitəsilə toplanan məlumatlar "Big Data" kimi analiz olunur və bu analiz nəticəsində daha dəqiq qərarlar qəbul olunur. Bu isə sistemlərin optimallaşdırılmasına və performansının artırılmasına dəstək göstərir.

Bu sistemlərin digər vacib xüsusiyyətlərindən biri onların yüksək dəqiqlik və etibarlılıq tələb etməsidir. Çünki bu sistemlər birbaşa fiziki mühitə təsir göstərir və hər hansı səhv ciddi nəticələrə səbəb olacaqdır. Bu baxımdan təhlükəsizlik məsələləri də xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Kiberhücumların qarşısının alınması, informasiyanın qorunması və sistemin sabit işləməsi üçün müxtəlif təhlükəsizlik mexanizmləri tətbiq olunur.

Kiberfiziki sistemlər çoxşaxəli və multidissiplinar xarakter daşıyır. Onların yaradılması və inkişafı informatika, elektronika, mexanika, avtomatika və rabitə texnologiyalarının birlikdə tətbiqini tələb edir. Bu isə bu sistemlərin həm mürəkkəb, həm də çox funksiyalı olmasına səbəb olur.

Nəticə olaraq, kiberfiziki sistemlər müasir texnologiyanın əsas dayaqlarından biri olub, fiziki və rəqəmsal mühitin inteqrasiyası əsasında işləyən, real vaxt rejimində fəaliyyət göstərən, avtomatlaşdırılmış və yüksək dəqiqlikli sistemlərdir. Onların inkişafı sənaye, nəqliyyat, səhiyyə və digər sahələrdə innovativ sistemlərin tətbiqinə geniş şərait yaradır.

İCRA MEXANİZMLƏRİNİN ANLAYIŞI VƏ MAHİYYƏTİ

İcra mexanizmləri (aktuatorlar) kiberfiziki sistemlərin ən vacib komponentlərindən biri olub, idarəetmə sistemindən daxil olan siqnalları fiziki təsirə çevirən qurğulardır. Bu mexanizmlər sistemin nəzəri hissəsi ilə real dünya arasında əlaqəni təmin edir. Yəni sensorlar məlumat toplayır, idarəetmə sistemi bu məlumatları analiz edir və qərar qəbul edir, həmin qərarın fiziki mühitdə həyata keçirilməsi isə məhz icra mexanizmləri vasitəsilə baş verir. Bu baxımdan aktuatorlar kiberfiziki sistemlərin "icraedici orqanı" hesab olunur.

İcra mexanizmlərinin əsas mahiyyəti enerji və siqnal çevrilməsi ilə bağlıdır. Onlar elektrik, pnevmatik, hidravlik və ya digər enerji növlərini mexaniki hərəkətə, istiliyə və ya başqa fiziki təsir formalarına çevirir. Məsələn, elektrik siqnalı mühərrik vasitəsilə fırlanma hərəkətinə çevrilə bilər və ya idarəetmə siqnalı nəticəsində klapan açılıb bağlana bilər. Bu proses nəticəsində sistem yalnız məlumat emal edən strukturdən çıxaraq real mühitə təsir edən aktiv sistemə çevrilir.

Kiberfiziki sistemlərdə aktuatorların rolu olduqca böyükdür, çünki bütün qərarların nəticəsi onların vasitəsilə həyata keçirilir. Əgər aktuator düzgün işləməzsə, sistemin verdiyi qərarlar düzgün olsa belə, nəticə səhv ola bilər. Bu səbəbdən aktuatorların dəqiqliyi, sürəti və etibarlılığı sistemin ümumi performansına birbaşa təsir göstərir.

İcra mexanizmləri müxtəlif növ fiziki təsirlər yarada bilir. Onlar mexaniki hərəkət (məsələn, robot qolların hərəkəti), istilik təsiri (qızdırıcı sistemlər), elektrik təsiri (açma-bağlama əməliyyatları), eləcə də digər spesifik təsirlər yarada bilər. Bu xüsusiyyət onların çox geniş tətbiq sahələrinə malik olmasına səbəb olur.

Bu mexanizmlər adətən qapalı idarəetmə sistemlərində fəaliyyət göstərir. Yəni aktuator müəyyən əmri yerinə yetirdikdən sonra sensorlar nəticəni ölçür və bu məlumat yenidən idarəetmə sisteminə ötürülür. Əgər

nəticə gözlənilən kimi deyilsə, sistem düzəliş edir və aktuator yenidən tənzimlənir. Bu proses sistemin dəqiqliyini və sabitliyini təmin edir.

İcra mexanizmləri müasir texnologiyalarda geniş tətbiq olunur. Onlar sənaye avtomatlaşdırmasında, robot texnikasında, nəqliyyat sistemlərində, tibbi cihazlarda və ağıllı şəhər infrastrukturlarında istifadə edilir. Məsələn, avtomobillərdə əyləc və sükan sistemləri, dronlarda uçuşun idarə olunması, sənaye robotlarında məhsulun daşınması və ya emalı aktuatorlar vasitəsilə həyata keçirilir.

Bununla yanaşı, müasir dövrdə aktuatorlar daha da inkişaf edərək "ağıllı aktuatorlar" formasını almışdır. Bu cür mexanizmlər daxili idarəetmə modullarına malik olur, şəbəkəyə qoşula bilir və öz fəaliyyətini optimallaşdıra bilir. Bu isə kiberfiziki sistemlərin daha effektiv və adaptiv işləməsinə imkan yaradır.

Nəticə olaraq, icra mexanizmləri kiberfiziki sistemlərin əsas funksional elementlərindən biri olub, idarəetmə sistemindən alınan siqnalları real fiziki təsirə çevirərək sistemin praktiki fəaliyyətini təmin edir. Onların düzgün işləməsi sistemin effektivliyi, təhlükəsizliyi və etibarlılığı üçün həlledici əhəmiyyətə malikdir.

İCRA MEXANİZMLƏRİNİN NÖVLƏRİ

İcra mexanizmləri (aktuatorlar) kiberfiziki sistemlərin əsas komponentlərindən biri olub, idarəetmə sistemindən daxil olan siqnalları fiziki təsirə çevirən qurğulardır. Bu mexanizmlər müxtəlif xüsusiyyətlərinə görə bir neçə növə bölünür və onların seçimi sistemin məqsədindən, tələb olunan gücdən, dəqiqlikdən və iş mühitindən asılı olur.

Ümumilikdə icra mexanizmləri istifadə etdikləri enerji növünə görə elektrik, hidravlik, pnevmatik, termiki və elektromaqnit aktuatorlar kimi təsnif edilir. Elektrik aktuatorları ən geniş yayılmış növ hesab olunur və elektrik enerjisini mexaniki hərəkətə çevirir. Onlar yüksək dəqiqlik, sürətli reaksiya və asan idarəetmə xüsusiyyətlərinə malikdir. Buna görə robot texnikasında, avtomatlaşdırılmış sistemlərdə və elektron qurğularda geniş istifadə olunur.

Hidravlik aktuatorlar isə maye təzyiqindən istifadə edərək böyük qüvvə yaradır. Bu səbəbdən ağır sənaye, tikinti texnikası və yüksək güc tələb edən sistemlərdə tətbiq olunur. Pnevmatik aktuatorlar sıxılmış hava ilə işləyir və daha sadə quruluşa malikdir. Onlar sürətli və təhlükəsiz işlədiyi üçün istehsal xətlərində və avtomatlaşdırma sistemlərində geniş istifadə edilir.

Termiki aktuatorlar temperatur dəyişməsi nəticəsində hərəkət yaradır və əsasən istilik nəzarət sistemlərində istifadə olunur. Elektromaqnit aktuatorlar isə maqnit sahəsi vasitəsilə işləyir və relelər, klapanlar kimi qurğularda tətbiq olunur.

İcra mexanizmləri həmçinin yaratdıqları hərəkət növünə görə də fərqlənir. Bəzi aktuatorlar xətti hərəkət yaradır, yəni düz xətt üzrə hərəkət edir, digərləri isə fırlanan hərəkət təmin edir. Bundan əlavə, bəzi mürəkkəb sistemlərdə bu iki hərəkət növünün birləşməsi də istifadə olunur.

Müasir texnologiyalarda daha inkişaf etmiş aktuator növləri də mövcuddur. Məsələn, servo aktuatorlar yüksək dəqiqliklə işləyir və geri əlaqə sistemi ilə təchiz olunmuşdur. Step motorlar hərəkəti addım-addım yerinə yetirir və dəqiq mövqe idarəetməsi üçün istifadə olunur. Piezoelektrik aktuatorlar isə çox kiçik ölçülü və yüksək dəqiqlikli hərəkət tələb edən sahələrdə tətbiq edilir.İcra mexanizmlərinin işləməsi zamanı əsas məqsəd daxil olan enerjinin mümkün qədər səmərəli şəkildə fiziki təsirə çevrilməsidir. Bu baxımdan onların effektivliyi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Ümumiyyətlə, aktuatorların növləri onların istifadə sahəsinə, güc tələbinə, dəqiqlik səviyyəsinə və işləmə mühitinə uyğun olaraq seçilir.

Nəticə olaraq, icra mexanizmlərinin müxtəlif növləri kiberfiziki sistemlərin müxtəlif tətbiq sahələrində istifadə olunur və onların düzgün seçilməsi sistemin ümumi effektivliyini, etibarlılığını və funksionallığını müəyyən edən əsas amillərdən biridir.

İCRA MEXANİZMLƏRİNİN İŞLƏMƏ PRİNSİPİ

İcra mexanizmlərinin işləmə prinsipi kiberfiziki sistemlərdə idarəetmə siqnallarının fiziki təsirə çevrilməsi prosesinə əsaslanır. Bu mexanizmlər idarəetmə blokundan gələn siqnalları qəbul edir, həmin siqnalları uyğun enerji formasına çevirir və nəticədə müəyyən fiziki hərəkət və ya təsir yaradır. Bu proses sistemin əsas funksional dövrəsini təşkil edir və fiziki mühitlə birbaşa əlaqəni təmin edir.

İcra mexanizmlərinin işləmə prinsipi ümumi şəkildə aşağıdakı mərhələlər üzrə həyata keçirilir:

İlk mərhələdə idarəetmə sistemindən (məsələn, mikroprosessor və ya nəzarətçi) müəyyən bir siqnal formalaşdırılır. Bu siqnal adətən elektrik impulsu və ya rəqəmsal komanda şəklində olur və sistemin hansı əməli yerinə yetirməli olduğunu müəyyən edir.

İkinci mərhələdə bu siqnal aktuator tərəfindən qəbul olunur və daxili enerji çevirmə mexanizmi işə düşür. Bu zaman elektrik enerjisi mexaniki hərəkətə, təzyiq enerjisinə və ya istilik enerjisinə çevrilə bilər.

Məsələn, elektrik mühərrikində elektrik cərəyanı maqnit sahəsi yaradır və bu sahə rotorun hərəkət etməsinə səbəb olur.

Üçüncü mərhələdə aktuator fiziki təsir yaradır. Bu təsir müxtəlif formalarda ola bilər: hərəkət (fırlanma və ya xətti hərəkət), qüvvə tətbiqi, temperaturun dəyişməsi və ya digər təsirlər. Bu mərhələ kiberfiziki sistemin real mühitə təsir etdiyi əsas mərhələdir.

Dördüncü mərhələdə sistemin nəticəsi müşahidə olunur. Bu proses adətən sensorlar vasitəsilə həyata keçirilir. Sensorlar aktuatorun yaratdığı təsiri ölçür və nəticəni yenidən idarəetmə sisteminə ötürür.

Beşinci mərhələdə isə geri əlaqə (feedback) mexanizmi işə düşür. Əgər əldə olunan nəticə gözlənilən nəticədən fərqlənirsə, idarəetmə sistemi düzəlişlər edir və aktuatorun fəaliyyətini yenidən tənzimləyir. Bu proses sistemin dəqiqliyini və sabitliyini təmin edir.

Bu mərhələlər birlikdə qapalı idarəetmə dövrəsini təşkil edir və kiberfiziki sistemlərin əsas iş prinsipini formalaşdırır.

İcra mexanizmlərinin işləmə prinsipi enerji çevrilməsi ilə sıx bağlıdır. Ümumilikdə bu prosesi belə ifadə etmək olar:

giriş siqnalı → enerji çevrilməsi → fiziki çıxış

Bu çevrilmə prosesində enerji itkisi baş verə bilər, buna görə aktuatorların effektivliyi mühüm əhəmiyyət daşıyır. Effektivlik aşağıdakı kimi ifadə olunur:

η = çıxış enerjisi / giriş enerjisi

Burada η aktuatorun faydalı iş əmsalını göstərir.

İcra mexanizmlərinin işləmə prinsipi onların növündən asılı olaraq müəyyən fərqlər göstərə bilər. Elektrik aktuatorlarında elektromaqnit təsir əsas rol oynayır, hidravlik aktuatorlarda maye təzyiqi, pnevmatik aktuatorlarda isə hava təzyiqi istifadə olunur. Lakin bütün hallarda əsas prinsip eyni qalır: idarəetmə siqnalının fiziki təsirə çevrilməsi.

Bu mexanizmlərin işləmə prinsipi real vaxt rejimində həyata keçirilir və çox zaman millisaniyələr səviyyəsində baş verir. Bu xüsusiyyət xüsusilə avtomatik idarəetmə sistemlərində, robot texnikasında və nəqliyyat sistemlərində böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Nəticə olaraq, icra mexanizmlərinin işləmə prinsipi kiberfiziki sistemlərdə məlumatın fiziki təsirə çevrilməsi prosesini əhatə edir və bu proses idarəetmə siqnallarının qəbul edilməsi, enerji çevrilməsi, fiziki təsirin yaradılması və geri əlaqə mexanizmi ilə tamamlanır. Bu prinsip kiberfiziki sistemlərin effektiv və dəqiq işləməsinin əsasını təşkil edir.

İCRA MEXANİZMLƏRİNİN TƏTBİQ SAHƏLƏRİ

İcra mexanizmləri (aktuatorlar) kiberfiziki sistemlərin əsas icraedici komponentləri olaraq müasir texnologiyanın demək olar ki, bütün sahələrində geniş tətbiq olunur. Onların əsas funksiyası idarəetmə sistemlərindən alınan siqnalları fiziki təsirə çevirmək olduğundan, aktuatorlar real mühitdə fəaliyyət göstərən bütün avtomatlaşdırılmış sistemlərin ayrılmaz hissəsidir.

İcra mexanizmlərinin tətbiq sahələri çoxşaxəli olub sənaye, nəqliyyat, səhiyyə, energetika, kənd təsərrüfatı və ağıllı şəhər infrastrukturlarını əhatə edir.

Kiberfiziki sistemlərin ən geniş tətbiq sahələrindən biri sənaye və istehsalat sahəsidir. Müasir sənayedə avtomatlaşdırılmış istehsal xətləri, robot texnikası və CNC maşınlar aktuatorlar vasitəsilə idarə olunur. Robot qollar məhsulların yığılması, daşınması və emalı kimi əməliyyatları yüksək dəqiqliklə həyata keçirir. Bu sistemlərdə elektrik və hidravlik aktuatorlar daha çox istifadə olunur. Aktuatorların tətbiqi istehsal prosesinin sürətini artırır, insan əməyini azaldır və məhsul keyfiyyətini yüksəldir.

Nəqliyyat sahəsində də icra mexanizmləri mühüm rol oynayır. Müasir avtomobillərdə əyləc sistemi, sükan idarəetməsi, sürət tənzimləmə mexanizmləri və avtomatik ötürücülər aktuatorlar vasitəsilə işləyir. Xüsusilə pilotsuz nəqliyyat vasitələrində (self-driving cars) aktuatorlar sükanın, qazın və əyləcin idarə olunmasını tam avtomatik şəkildə həyata keçirir. Bundan əlavə, dronlar və pilotsuz uçuş aparatlarında aktuatorlar uçuşun sabitliyini və istiqamətini təmin edir.

Səhiyyə sahəsində icra mexanizmlərinin tətbiqi son illərdə sürətlə artmışdır. Tibbi robotlar, cərrahi sistemlər və protezlər aktuatorlar vasitəsilə idarə olunur. Məsələn, cərrahi robotlar çox incə və dəqiq hərəkətləri həyata keçirərək əməliyyatların təhlükəsizliyini artırır. Süni protezlər isə insanın hərəkətlərini təqlid edərək həyat keyfiyyətini yaxşılaşdırır. Bu sahədə yüksək dəqiqlikli və miniatür aktuatorlar istifadə olunur.

Energetika sahəsində aktuatorlar enerji istehsalı və paylanmasında mühüm rol oynayır. Elektrik stansiyalarında turbinlərin idarə olunması, klapanların açılıb-bağlanması və enerji axınının tənzimlənməsi

aktuatorlar vasitəsilə həyata keçirilir. Bundan əlavə, smart grid (ağıllı enerji şəbəkələri) sistemlərində aktuatorlar enerji yükünün optimallaşdırılması və sistemin balanslaşdırılması üçün istifadə olunur.

Ağıllı şəhər sistemlərində də icra mexanizmlərinin rolu böyükdür. Bu sistemlərdə avtomatik işıqlandırma, nəqliyyatın idarə olunması, su və qaz sistemlərinin tənzimlənməsi aktuatorlar vasitəsilə həyata keçirilir. Məsələn, küçə işıqları sensorlardan alınan məlumatlara əsasən avtomatik olaraq yanıb-sönə bilər və ya su sistemləri təzyiqə uyğun tənzimlənə bilər.

Kənd təsərrüfatında aktuatorlar ağıllı suvarma sistemlərində, istixanalarda və avtomatlaşdırılmış kənd təsərrüfatı texnikalarında istifadə olunur. Sensorlardan alınan məlumatlara əsasən suvarma, gübrələmə və iqlim nəzarəti aktuatorlar vasitəsilə həyata keçirilir. Bu isə məhsuldarlığın artmasına və resursların səmərəli istifadəsinə kömək edir.

Məişət və gündəlik həyat sahəsində də aktuatorların tətbiqi geniş yayılmışdır. Ağıllı ev sistemlərində qapıların açılıb-bağlanması, temperaturun tənzimlənməsi, işıqlandırma və təhlükəsizlik sistemləri aktuatorlar vasitəsilə idarə olunur. Bu sistemlər istifadəçinin rahatlığını artırır və enerji qənaətinə imkan yaradır.

Hərbi və təhlükəsizlik sahəsində aktuatorlar pilotsuz texnikalarda, avtomatik silah sistemlərində və müşahidə qurğularında istifadə olunur. Bu sistemlər yüksək dəqiqlik və sürətli reaksiya tələb etdiyindən aktuatorların rolu burada xüsusilə vacibdir.

Bununla yanaşı, müasir dövrdə aktuatorların tətbiq sahələri daha da genişlənməkdədir. Süni intellekt və IoT texnologiyalarının inkişafı nəticəsində aktuatorlar daha ağıllı və adaptiv hala gəlmişdir. Bu isə onların daha mürəkkəb sistemlərdə istifadəsinə imkan yaradır.

Nəticə olaraq, icra mexanizmləri kiberfiziki sistemlərin real mühitdə fəaliyyətini təmin edən əsas komponentlərdən biridir və onların tətbiq sahələri müasir texnologiyanın demək olar ki, bütün istiqamətlərini əhatə edir. Sənaye istehsalından gündəlik məişətə qədər geniş istifadə sahəsinə malik olan aktuatorlar texnoloji inkişafın əsas hərəkətverici qüvvələrindən biri hesab olunur.

NƏTİCƏLƏR

Bu tezisdə kiberfiziki sistemlərin mühüm tərkib hissəsi olan icra mexanizmlərinin (aktuatorların) nəzəri və praktiki əsasları geniş şəkildə araşdırılmışdır. Aparılan təhlillər nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, kiberfiziki sistemlər fiziki və rəqəmsal mühitin inteqrasiyası əsasında fəaliyyət göstərən mürəkkəb və çoxfunksiyalı sistemlər olub, onların effektiv işləməsi birbaşa icra mexanizmlərinin düzgün fəaliyyətindən asılıdır.

İcra mexanizmləri idarəetmə sistemlərindən daxil olan siqnalları fiziki təsirə çevirərək sistemin real mühitdə fəaliyyətini təmin edir. Bu xüsusiyyət onları kiberfiziki sistemlərin əsas icraedici elementi kimi xarakterizə edir. Tədqiqat zamanı aktuatorların müxtəlif növləri, işləmə prinsipləri və tətbiq sahələri təhlil edilmiş, onların enerji mənbəyinə və funksional xüsusiyyətlərinə görə fərqləndiyi müəyyən olunmuşdur.

Həmçinin göstərilmişdir ki, icra mexanizmləri sənaye avtomatlaşdırmasında, nəqliyyat sistemlərində, səhiyyədə, energetikada və digər sahələrdə geniş tətbiq olunur və müasir texnologiyanın ayrılmaz hissəsini təşkil edir. Onların tətbiqi istehsalın səmərəliliyini artırır, insan əməyini azaldır və proseslərin dəqiqliyini yüksəldir.

Bununla yanaşı, aktuatorların istifadəsi zamanı yaranan problemlər – enerji itkiləri, mexaniki aşınma, gecikmələr və təhlükəsizlik riskləri də müəyyən edilmişdir. Bu problemlərin həlli üçün müasir idarəetmə üsullarının, süni intellekt texnologiyalarının və təhlükəsizlik mexanizmlərinin tətbiqi xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

Ümumilikdə, aparılan tədqiqat göstərir ki, icra mexanizmləri kiberfiziki sistemlərin effektiv, etibarlı və təhlükəsiz işləməsinin əsasını təşkil edir. Onların düzgün seçilməsi və optimallaşdırılması sistemin ümumi performansına birbaşa təsir edir. Müasir dövrdə texnologiyanın inkişafı ilə aktuatorların daha ağıllı, adaptiv və enerji effektiv formaları yaranmaqda davam edir ki, bu da gələcəkdə kiberfiziki sistemlərin daha geniş tətbiqinə və inkişafına şərait yaradır.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

7.1.2.1 Lee, E. A. – Cyber Physical Systems: Design Challenges. IEEE International Symposium, 2008.

7.1.2.2 Rajkumar, R., Lee, I., Sha, L., Stankovic, J. – Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution. ACM, 2010.

7.1.2.3 Ogata, K. – Modern Control Engineering. 5th Edition, Prentice Hall, 2010.

7.1.2.4 Bolton, W. – Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical Engineering. Pearson Education, 2015.

8. Dorf, R. C., Bishop, R. H. – Modern Control Systems. 13th Edition, Pearson, 2016.

9. Khalil, H. K. – Nonlinear Systems. Prentice Hall, 2002.
10. Isermann, R. – Mechatronic Systems: Fundamentals. Springer, 2005.
11. Alur, R. – Principles of Cyber-Physical Systems. MIT Press, 2015.
12. Passino, K. M., Yurkovich, S. – Fuzzy Control. Addison Wesley, 1998.

ƏNƏNƏVİ LAYİHƏ İDARƏETMƏ METODOLOGİYALARININ MƏHDUDİYYƏTLƏRİ VƏ SÜNİ İNTELLEKT ƏSASLI YANAŞMANIN ZƏRURƏTİ

Elcan Eyvazlı
Bakı Mühəndislik Universitetı
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası, magistr

Xülasə

Məqalədə proqram mühəndisliyində geniş tətbiq edilən ənənəvi layihə idarəetmə metodologiyaları — Şəlalə (Waterfall), Çevik (Agile) və Scrum çərçivələri — kritik şəkildə təhlil edilir. Tədqiqat göstərir ki, hər bir metodologiyanın özünəməxsus zəifliklәri olsa da, onlar ortaq fundamental bir çatışmazlığı bölüşürlər: təşkilatın tarixi layihə məlumatlarından sistemli şəkildə istifadə edə bilməmək. Bu kontekstdə Böyük Dil Modelləri (LLM) və Axtarışla Gücləndirilmiş Generasiya (RAG) arxitekturalarına əsaslanan süni intellekt dəstəkli layihə idarəetmə yanaşmasının zəruriliyi əsaslandırılır.

Açar sözlər: layihə idarəetməsi, Şəlalə metodologiyası, Agile, Scrum, süni intellekt, RAG, LLM, məlumat boşluğu.

Giriş

Proqram mühəndisliyi və korporativ layihələrin idarə edilməsi sahəsində ənənəvi metodologiyalar inkişaf təşəbbüslərini planlaşdırmaq, icra etmək və nəzarət etmək üçün istifadə olunan strukturlaşdırılmış çərçivələri təmsil edir [3]. Bu metodologiyalar mürəkkəb layihələr üzrə əhatə dairəsini, vaxtı və resursları əlaqələndirmək üçün zəruri olan sistemli təlimatları təmin edir [4]. Tarixən bu paradiqmalar plana əsaslanan ardıcıl modellərə və dinamik layihə mühitlərini idarə etmək üçün nəzərdə tutulmuş iterativ çərçivələrə bölünmüşdür [5]. Lakin müasir korporativ proqram təminatı layihələrinin görünməmiş miqyasda və mürəkkəblikdə böyüməsi bu ənənəvi yanaşmaların fundamental məhdudiyyətlərini üzə çıxarır [1].

Şəlalə (Waterfall) metodologiyasının təhlili

Şəlalə metodologiyası xətti və ardıcıl strukturu ilə səciyyələnir və proqram təminatının işlənmə həyat dövrünü tələblərin təhlili, dizayn, tətbiq, testləşdirmə və istifadəyə verilmə kimi fərqli mərhələlərə bölür [6, 7]. Modelin fundamental şərti tələblərin layihənin əvvəlində tam və dəqiq müəyyən edilə biləcəyi barədəki fərziyyədir. Hər bir mərhələ sonrakının başlamasından əvvəl tamamlanmalıdır [8].

Bu yanaşmanın tənqidi təhlili onun ardıcıl sərtliyindən irəli gələn dərin zəifliklәri üzə çıxarır. Layihənin gedişatında dəyişikliklərin tətbiqi bahalı və pozucu bir təşəbbüsə çevrilir. Memarlıq və ya məntiqi xətalar həyat dövrünün sonlarında aşkar edildikdə, komandalar əvvəlki mərhələlərə qayıtmağa məcbur olur, bu da geniş yenidən işləmə və qrafik gecikmələrinə səbəb olur. İşləyən proqram təminatının yalnız layihənin sonunda təhvil verilməsi maraqlı tərəflərin ilkin rəylərinin daxil edilməsi ehtimalını istisna edir [6].

Agile və Scrum çərçivələrinin məhdudiyyətləri

2001-ci ildə Agile Manifestinin nəşri ilə rəsmiləşdirilən Çevik metodologiya davamlı adaptasiyanı, iterativ təhvilverməni və maraqlı tərəflərin daimi rəyini təşviq edir [10]. Scrum çərçivəsi isə işi bir həftədən dörd həftəyə qədər davam edən sprintlərə bölür, üç əsas rol (Məhsul Sahibi, Scrum Ustası, İşlənmə Komandası) və dörd mərasim (Sprint Planlaşdırması, Gündəlik Toplantı, Sprint İcmalı, Sprint Retrospektivi) müəyyən edir [11, 12].

Bununla belə, Agile və Scrum özünəməxsus kritik məhdudiyyətlər təqdim edir. Birincisi, səy qiymətləndirilməsi üçün hekayə xalları və konsensusa əsaslanan subyektiv insan mühakiməsindən asılılıq yüksəkdir ki, bu da koqnitiv qərəzlərə, xüsusən nikbinlik qərəzinə həssasdır [2, 13]. İkincisi, Scrum ilkin olaraq kiçik, eyni yerdə yerləşən komandalar üçün dizayn edilmişdir və böyük korporativ layihələrə

miqyaslandırma ciddi çətinliklər doğurur [14, 15]. Üçüncüsü, yüksək mərasim yükü komandanın məhsuldar vaxtının əhəmiyyətli hissəsini sərf edir [16]. Ən kritiki odur ki, sprint retrospektivləri zamanı yaradılan dəyərli məlumatlar gələcək planlaşdırma üçün sistemli şəkildə saxlanılmır və yenidən istifadə edilmir [17, 18].

Ortaq çatışmazlıq və texnoloji zərurət

Layihə idarəetmə spektrinin əks qütblərini təmsil etmələrinə baxmayaraq, Şəlalə və Agile metodologiyaları fundamental bir çatışmazlığı bölüşürlər: onların heç biri gələcək planlaşdırmanın dəqiqliyini artırmaq üçün təşkilatın öz tarixi layihə məlumatlarından sistemli şəkildə istifadə etmir [9]. İstər statik tələb sənədlərinə, istərsə də sprint-bə-sprint komanda konsensusuna arxalanmasından asılı olmayaraq, layihə proqnozlaşdırması əsasən intuisiyaya əsaslanan və insandan asılı vəziyyətdə qalır [1].

Bu vəziyyət müasir korporativ mənzərədə «məlumat boşluğu» (data gap) adlandırılan əməliyyat paradoksu ilə daha da kəskinləşir. Təşkilatlar sprint qeydləri, sürət (velocity) göstəriciləri, tapşırıq icra tarixçələri və resurs bölüşdürmə matrisləri daxil olmaqla nəhəng həcmdə məlumat toplayırlar [5]. Lakin bu intellekt Jira, Confluence və GitHub kimi fərqli platformalar üzrə paylanmış, fraqmentləşmiş vəziyyətdədir və gələcək layihə planlaşdırılması üçün demək olar ki, heç vaxt sintez edilmir [17].

Nəticə

Aparılan tənqidi təhlil göstərir ki, Şəlalə, Agile və Scrum metodologiyaları struktur olaraq subyektiv insan qiymətləndirməsinə və korporativ yaddaşın etibarsız təbiətinə əsaslanırlar [1, 9]. Manual evristikaya davamlı etibar qrafik aşmalarına, büdcənin tükənməsinə və resursların düzgün idarə edilməməsinə gətirib çıxarır [13]. Böyük Dil Modelləri (LLM) və Axtarışla Gücləndirilmiş Generasiya (RAG) arxitekturalarının sürətli inkişafı bu məhdudiyyətləri aradan qaldırmaq üçün konkret imkan yaradır [2, 5]. RAG əsaslı süni intellekt dəstəkli layihə idarəetmə asistenti tarixi korporativ artefaktları sintez edərək real layihə yol xəritələri yaratmağa, komandanın əsl sürətinə əsaslanan dəqiq qiymətləndirmələr təmin etməyə və yaranan riskləri proaktiv şəkildə işarələməyə qadirdir. Bu keçid proqram mühəndisliyi idarəçiliyində növbəti kritik təkamülü təmsil edir.

Ədəbiyyat

1. Zhang M., Antwi-Afari M.F., Wang C., Sun W., Mohandes S.R., Abdulai S.F. Uncertainty in Software Development Projects: A Review of Causes, Types, Challenges, and Future Research Directions // Systems. — 2025. — Vol. 13. — P. 650.
2. Pozenel M., Fürst L., Vavpotič D., Hovelja T. Agile effort estimation: Comparing the accuracy and efficiency of planning poker, bucket system, and affinity estimation methods (An LLM-based multi-agent framework for agile effort estimation). — 2024.
3. Sankhe P., Patil N., Patwari N., Agar A., Asati R. Evolution and Current Trends in Agile Software Development Methodologies: A Comprehensive Analysis of Industry Adoption and Practices // IJARCCE. — 2025. — Vol. 14.
4. Beck K. et al. Manifesto for Agile Software Development. — 2001. URL: https://agilemanifesto.org/
5. Sprint Success Forecasting with Machine Learning and Scrum Data. — Theseus. URL: https://www.theseus.fi/
6. Software development effort estimation // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Software_development_effort_estimation
7. Butt S.A. et al. Advances in Engineering Software. — Elsevier, 2022. — Vol. 171.
8. Rehan A., Muhammad H., Majid N. Agile Framework for Globally Distributed Development Environment. — 2008.
9. Špundak M. Mixed agile/traditional project management methodology – reality or illusion? // Procedia – Social and Behavioral Sciences. — 2014. — Vol. 119.
10. Schwaber K., Sutherland J. The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game. — 2011.
11. Recent Trends in Computer Science and Software Technology. — 2025. — Vol. 10, Issue 2, May–August.
12. Lotz M. Waterfall vs. Agile: Which is the Right Development Methodology for an ERP Project? — 2013.
13. Project Management Benefits, Risks, Challenges and Limitations of adopting Agile-At-Scale Methodologies for an ERP Program.

14. Mishra U., Ganesh N. A data-driven comparative analysis of Agile and Waterfall methodologies: Predicting cost and schedule variances using statistical and machine learning approaches // Array. — 2026. — Vol. 29.
15. Schwaber K. Scrum development process // OOPSLA'95 Workshop on Business Object Design and Implementation. — 1995.
16. Balaji S., Murugaiyan M.S. Waterfall vs. V-Model vs. Agile: A comparative study on SDLC. — 2012.
17. Dingsøyr T., Mikalsen M., Solem A., Vestues K. Learning in the large — an exploratory study of retrospectives in large scale agile development // XP2018. — 2018.
18. Fowler M. (2004); Pfleeger S.L., Atlee J.M. (2010). Differentiating Traditional Waterfall Model Phases.

THE IMPACT OF INCREASING GRAPH SIZE ON CENTRALITY RANKINGS AND COMPUTATIONAL PERFORMANCE

Bahruz Gurbanli
ADA University & The George Washington University
School of Information Technology and Engineering; School of Engineering and Applied Science
Baku, Azerbaijan; Washington, DC, USA
bgurbanli14129@ada.edu.az; behruz.gurbanli@gwu.edu

Abstract: Graph-based analysis has gained significant importance in the context of Big Data since most real-world systems can be modeled as nodes and edges. Centrality measures are popular in such environments to determine influential or structurally significant nodes. But with larger graphs, two practical issues become more important: the computational cost of computing centrality and the stability of the resulting node rankings. This paper explores the impact of graph size on both performance in computations and ranking stability of three popular centrality metrics: degree centrality, PageRank, and betweenness centrality. The study uses synthetically generated Barabasi-Albert graphs with 1,000, 5,000, 10,000, and 20,000 nodes under a fixed and reproducible experimental setup. The findings indicate that degree centrality is the most computationally efficient algorithm and also exhibits the best overall ranking stability, PageRank is computationally feasible and generates a steadily stable ranking, whereas betweenness centrality is the most costly to compute and is less stable at scale, particularly when approximation is needed.
Keywords: Big Data, graph analysis, centrality measures, degree centrality, PageRank, betweenness centrality, ranking stability

Introduction

The rapid growth of data in recent years has led to an increasing interest in big data and its analytics. Nowadays, real world systems such as social networks, communication applications are generating data nonstop. Especially, this kind of applications generate a type of graphs where nodes and edges model the relationships. It is essential to understand and evaluate structures of such networks for both business and technical decisions as they can reveal influential relationships, critical points and important information flows [1].

As we mentioned, there exist many approaches that are widely used for analyzing graphs, their importance, and more. One of the mostly used metrics is centrality. The concept of centrality works to identify the importance of nodes within a network. There have been suggested several various measures of centrality which each approaches importance from different aspects [2, 3]. For instance, while the degree centrality considers the number of direct connections a node has, PageRank relies on the significance of neighbor nodes [4]. One more example is betweenness which looks at how frequently a node is on shortest among other nodes.

In this paper, we investigate the impact of increasing graph size on computational performance and ranking stability of degree centrality, PageRank, and betweenness centrality using synthetically generated Barabasi-Albert graphs. The study discusses trade-offs between computational efficiency and ranking robustness across four graph sizes: 1,000, 5,000, 10,000, and 20,000 nodes.

Related Work

Centrality analysis provides a way to identify structural importances of nodes in a graph and it has always been one of the main concerns in network structures in data science. Foundational discussions on this topic were given by several researchers that centrality measure is not only a single idea, but rather a group of related ideas about node meaningfulness [1-3]. Particularly, the paper presented various interpretations and definitions of centrality such as prominence, control power and closeness to the overall network structure. This understanding was formalized and expanded later in literature [2, 3].

Degree centrality, PageRank, and betweenness centrality are some of the most commonly used centrality measures. Degree centrality is based on the connectivity of an immediate neighborhood and is used as a naive yet effective benchmark. PageRank which is more global and iterative in its nature [4] is evaluated by recursively considering the importance of the nodes pointing to it. Betweenness centrality focuses on intermediary role and how frequently a node appears on shortest paths between other nodes. Notably, these measures are founded on different structural principles, they often give different rankings even on the same graph [3].

Main part of previous work has concentrated on computational aspects of centrality in which especially applicable in Big Data settings where graph sizes can become too large in volume for straightforward computation. The studies on betweenness calculation of centrality has found a standard benchmark reference when it comes to the cost of the algorithm in the context of betweenness [6, 7]. Therefore, the approximation has become an essential approach for literature, particularly of large graphs [6, 7].

Kang et al. studied the concept of centrality and claimed that most centrality measures were not initially designed with the scale of modern graphs in mind [5]. In the current paper, this literature is significant since it proves that the assessment of centrality should consider not only runtime and computational feasibility, but also the stability of node rankings in changing graph structures [9-11].

Methodology

The study consists of an experimental analysis on the impact of scale of graph on computational efficiency and stability of centrality measures ranking. The methodology consists of four main parts: graph generation, structural analysis, centrality computation with measurements, and ranking stability analysis.

Experimental Design

The main research question of this paper is: Does an increase in graph size cause any significant difference in (i) the cost of centrality calculation and (ii) the stability of node ranking? To answer this, a sequence of graphs of different sizes are analyzed based on the same analytical pipeline. The experiment assesses four increasing graph sizes: 1,000 nodes, 5,000 nodes, 10,000 nodes, and 20,000 nodes.

Synthetic Graph Generation

All graphs are generated with the Barabasi-Albert (BA) model which is common to simulate scale-free networks with preferential attachment. Every node that is added gets attached to three existing nodes (m = 3), and a fixed random seed of 42 ensures reproducibility. The resulting graphs are stored as edgelist files so that all measures are assessed on precisely the same graph instances.

Structural Properties

Prior to centrality computation, simple structural features are noted. The average degree and graph density are computed as:

$\bar{k} = 2|E| / |V|$

$D = 2|E| / (|V|(|V| - 1))$

where |V| is the number of nodes and |E| is the number of edges.

Centrality Measures

Three centrality measures are computed on each graph. Degree centrality is defined as:

$$C_D(v) = deg(v) / (|V| - 1)$$

PageRank is computed as:

$$PR(v) = (1-d)/|V| + d * sum_{u in N^-(v)} PR(u) / deg^+(u)$$

where d is the damping factor. Betweenness centrality is defined as:

$$C_B(v) = sum_{s != v != t} sigma_st(v) / sigma_st$$

where sigma_st is the total number of shortest paths between nodes s and t, and sigma_st(v) is the number of those paths passing through v. Exact betweenness was calculated for graphs up to 5,000 nodes; approximate betweenness (k=100) was used for 10,000 and 20,000 node graphs.

Ranking Stability Analysis

Ranking stability was measured using two metrics. Top-k overlap measures how many nodes are shared between the top-ranked node sets of two compared graphs:

$$O_k = |T_k^{(a)} \cap T_k^{(b)}| / k$$

Spearman rank correlation evaluates the similarity between two ranking orders:

$$rho = 1 - 6*sum(d_i^2) / (n(n^2 - 1))$$

where d_i is the difference between the ranks of node i in the two compared graphs, and n is the number of shared nodes. Comparisons were made between adjacent graph sizes: 1k vs. 5k, 5k vs. 10k, and 10k vs. 20k.

Implementation Environment

The experiment is conducted in Python using NetworkX for graph generation and centrality computation, pandas for tabular data, and SciPy for Spearman correlation. All graphs, node-level score files, runtime summaries, stability summaries, and figures are stored on disk in distinct output files for reproducibility.

Results and Analysis

Structural Properties of Generated Graphs

Table I gives an overview of the structural properties. Average degree values ranged from 5.9820 to 5.9991, while density decreased from 0.005988 to 0.000300. These results confirm that the networks remained sparse as size grew, consistent with scale-free expanding graphs.

Table I. Structural Properties of the Generated Barabasi-Albert Graphs

Graph Model	Nodes	Edges	Avg. Degree	Density
barabasi_albert	1,000	2,991	5.9820	0.005988
barabasi_albert	5,000	14,991	5.9964	0.001200
barabasi_albert	10,000	29,991	5.9982	0.000600
barabasi_albert	20,000	59,991	5.9991	0.000300

Computational Performance

Table II summarises the runtime results. Degree centrality was the fastest by far, increasing only from 0.0003 seconds at 1,000 nodes to 0.0099 seconds at 20,000 nodes. PageRank was more expensive than degree centrality but remained computationally feasible. Betweenness centrality showed the strongest computational cost, reaching 54.7096 seconds at 5,000 nodes when computed precisely.

Table II. Runtime of Degree Centrality, PageRank, and Betweenness Centrality Across Graph Sizes

Nodes	Degree (s)	PageRank (s)	Betweenness (s)	Mode	k
1,000	0.0003	0.2547	1.8029	exact	-
5,000	0.0008	0.0139	54.7096	exact	-
10,000	0.0020	0.0290	2.5077	approximate	100
20,000	0.0099	0.0635	6.4176	approximate	100

Fig. 1 depicts the runtime on a logarithmic scale. The switch to approximate betweenness at larger sizes explains the apparent runtime decrease from 5k to 10k nodes.

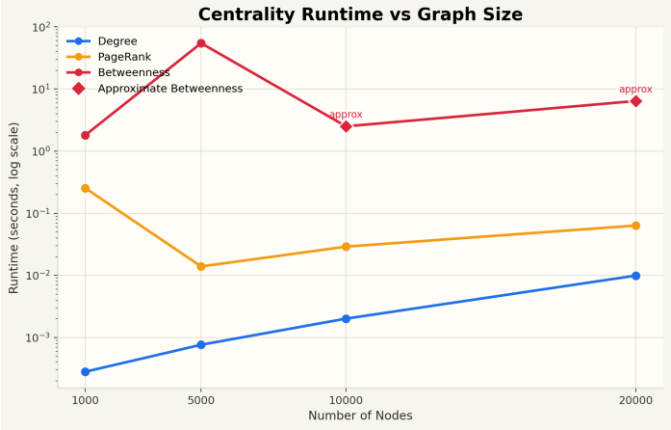


Fig. 1. Runtime of the three centrality measures as graph size increases (log scale).

Ranking Stability Under Graph Growth

Table III presents the ranking stability results. All three measures maintained fairly high consistency. Degree centrality was most stable: its top-10 overlap reached 1.0 in the 10k vs. 20k comparison, and its Spearman correlation reached 0.8538 in the 5k vs. 10k comparison. PageRank showed overlap of 0.9 in all comparisons with Spearman values between 0.7323 and 0.8163. Betweenness centrality was least stable, with Spearman dropping to 0.7281 in the 10k vs. 20k comparison.

Table III. Ranking Stability of Degree Centrality, PageRank, and Betweenness Using Top-10 Overlap and Spearman Correlation

Method	Comparison	Shared	Top-10	Ratio	Spearman
Betweenness	1k vs 5k	1000	9	0.9	0.7917
Betweenness	5k vs 10k	5000	9	0.9	0.8007
Betweenness	10k vs 20k	10000	8	0.8	0.7281
Degree	1k vs 5k	1000	8	0.8	0.7746
Degree	5k vs 10k	5000	9	0.9	0.8538
Degree	10k vs 20k	10000	10	1.0	0.8414
PageRank	1k vs 5k	1000	9	0.9	0.7323
PageRank	5k vs 10k	5000	9	0.9	0.8163
PageRank	10k vs 20k	10000	9	0.9	0.8038

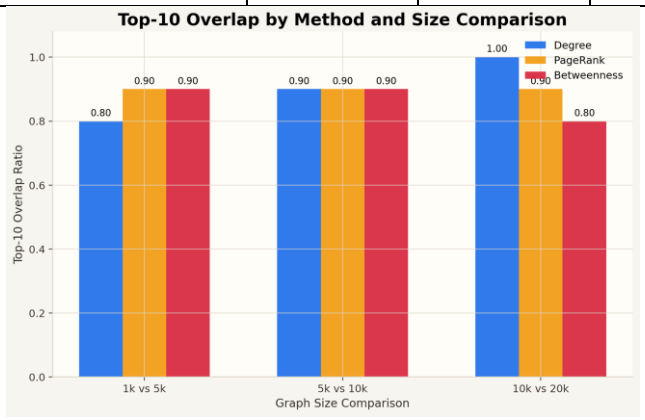


Fig. 2. Top-10 overlap ratio across adjacent graph sizes for degree centrality, PageRank, and betweenness centrality.

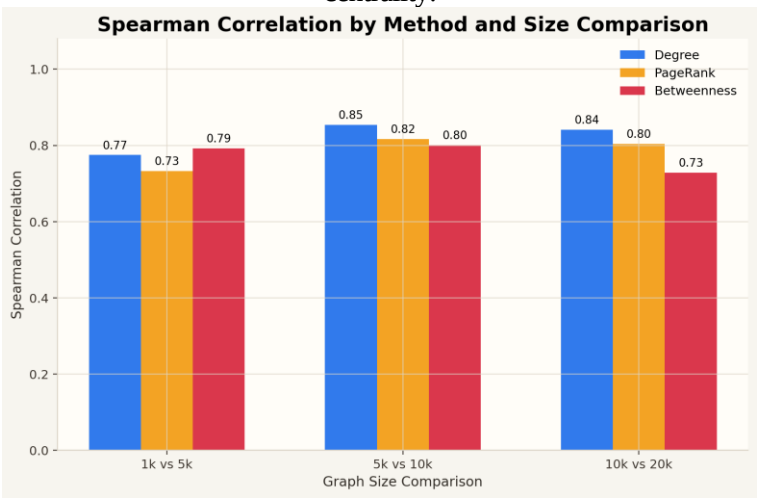


Fig. 3. Spearman rank correlation across adjacent graph sizes for degree centrality, PageRank, and betweenness centrality.

Overall Interpretation

When both performance and ranking-stability results are put into consideration, a clear pattern becomes evident. Degree centrality was the most computationally scaled, and ranked the most stable, particularly at large scales. PageRank was more expensive to compute than degree centrality, but was computationally feasible as well as high ranking consistency. Betweenness centrality was the most computationally

intensive measure, and appeared to be a bit less stable to graph growth, particularly in the largest comparisons.

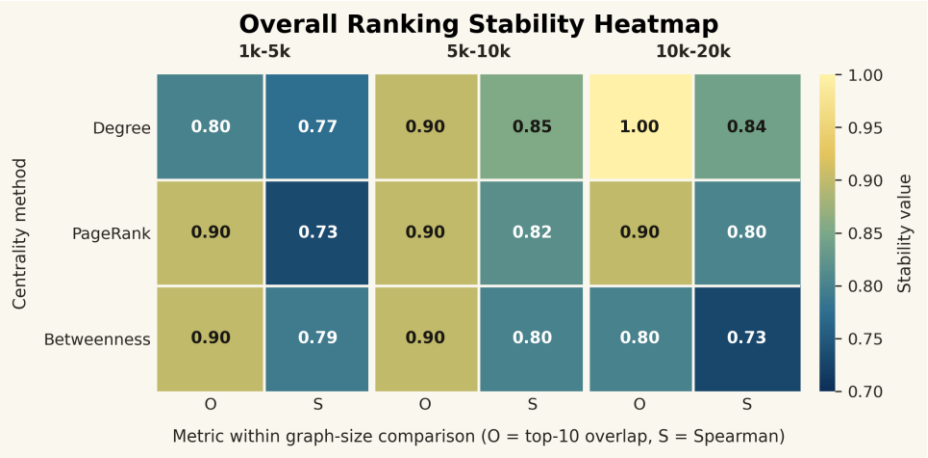


Fig. 4. Overall heatmap of ranking stability across centrality methods and adjacent graph-size comparisons. O denotes top-10 overlap ratio and S denotes Spearman rank correlation.

Conclusion and Future Work

In this paper the relationship between the scale of the graph and the performance in computation, as well as the stability of ranking of centrality measures in graph-based analysis was investigated. The experiment determined the degree centrality, PageRank, and betweenness centrality using synthetically generated Barabasi-Albert graphs of four graph sizes (1,000, 5,000, 10,000, and 20,000 nodes). The results show that graph growth has two significant effects on centrality measures: it can alter the computational cost of their application and it can also have an effect on the consistency of the ranked influential nodes.

Degree centrality was the most computationally efficient and most stable overall. PageRank remained feasible and maintained high ranking consistency. Betweenness centrality was the most expensive to compute and showed lower stability at scale, particularly when approximation was required for large graphs.

The limitations of this work are also few. The experiments were only done on a single graph family, the Barabasi-Albert model. There was only a single generated graph per graph size, and the larger graphs were computed with approximate betweenness. These constraints lead to a number of future work directions including performing the same analysis on other graph models, creating more than one instance of each size, and applying the framework on real-world graph data.

Source Code

The source code used for the experiments, generation of graphs, and everything is available at: https://github.com/behruzgurbanli/Impact-of-Increasing-Graph-Size-on-Centrality-Rankings-and-Computational-Performance

References

[1] D. Chen, J. Chen, X. Zhang, Q. Jia, X. Liu, Y. Sun, L. Lu, and W. Yu, "Critical nodes identification in complex networks: A survey," Complex Engineering Systems, vol. 5, no. 3, p. 11, 2025.

[2] P. Boldi and S. Vigna, "Axioms for centrality," Internet Mathematics, vol. 10, no. 3-4, pp. 222-262, 2014.

[3] N. G. Meshcheryakova and S. V. Shvydun, "A comparative analysis of centrality measures in complex networks," Automation and Remote Control, vol. 85, no. 8, pp. 685-695, 2024.

[4] P. Zhang, T. Wang, and J. Yan, "Pagerank centrality and algorithms for weighted, directed networks with applications to world input-output tables," Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, vol. 586, p. 126438, 2022.

[5] U. Kang, S. Papadimitriou, J. Sun, and H. Tong, "Centralities in large networks: Algorithms and observations," in Proc. 2011 SIAM International Conference on Data Mining (SDM), 2011, pp. 119-130.

[6] F. Bonchi, G. De Francisci Morales, and M. Riondato, "Centrality measures on big graphs: Exact, approximated, and distributed algorithms," in Proc. 25th International Conference Companion on World Wide Web, 2016, pp. 537-538.

[7] N. Xiang, Q. Wang, and M. You, "Estimation and update of betweenness centrality with progressive algorithm and shortest paths approximation," Scientific Reports, vol. 13, no. 1, p. 17110, 2023.

[8] S. Segarra and A. Ribeiro, "Stability and continuity of centrality measures in weighted graphs," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 64, no. 3, pp. 543-555, 2016.
[9] O. Kardos, A. London, and T. Vinko, "Stability of network centrality measures: A numerical study," Social Network Analysis and Mining, vol. 10, no. 1, p. 80, 2020.
[10] J. Dorpinghaus, V. Weil, R. Rockenfeller, and M. P. Mangroliya, "A novel approach towards the robustness of centrality measures in networks," Social Sciences & Humanities Open, vol. 11, p. 101183, 2024.
[11] S. Murai and Y. Yoshida, "Sensitivity analysis of centralities on unweighted networks," in Proc. The World Wide Web Conference (WWW 2019), 2019, pp. 1332-1342.
[12] A.-L. Barabasi and R. Albert, "Emergence of scaling in random networks," Science, vol. 286, no. 5439, pp. 509-512, 1999.

ESPHONE: A DOS-LIKE LISP ENVIRONMENT FOR MICROCONTROLLERS WITH NETWORK-NATIVE PACKAGE MANAGEMENT

Amin Asadullayev
Baku Higher Oil School
Baku, Azerbaijan
amin.asadullayev.std@bhos.edu.az

Abstract: In the contemporary world, microcontrollers have become ubiquitous in almost every field, ranging from the functioning of household items to heavy-duty machines. Despite the fact that the primary purpose of microcontrollers is to be programmed once and then deployed, future software updates generally remain a matter of manual flashing. This paper presents ESPhone, a lightweight operating environment for microcontrollers that is architecturally similar to MS-DOS while utilizing a custom Lisp dialect interpreter for code execution. ESPhone features a command shell as the main interface where each command corresponds to a respective ESP file which contains a Lisp program. The system also includes built-in core libraries to access the file system, make web requests, perform system calls and execute mathematical operations, hence enabling users to develop programs efficiently and reliably. Moreover, a package manager has been implemented within the project to fetch and install programs dynamically without the need for reflash. We compare ESPhone against key embedded Real-Time Operating Systems including FreeRTOS and Zephyr and argue that DOS's single-tasked model offers several advantages, such as simplicity and extensibility for IoT devices.
Keywords*: Microcontrollers, Embedded Systems, Package Management, Lisp, MS-DOS*

INTRODUCTION

Similar to the evolution of conventional computing devices, that of embedded operating systems involved increasing hardware abstraction layers, multitasking schedulers and complex driver implementations. Ecosystems such as FreeRTOS 0, Zephyr 0 and ESP-IDF have become de facto standards for embedded software development for their rich features despite adding additional architectural complexity. However, these systems remain largely limited to code flashing or updates during development and lack dynamic code execution capabilities. Considering that reflashing the firmware requires at least a minute of compile time and potentially longer when RTOS frameworks are included due to their substantial sizes, dynamic updates to the program at runtime with less overhead appears to be the optimal choice amongst others.

Nevertheless, released in 1981, the groundbreaking simplicity of MS-DOS remains as an appealing choice for constrained environments because of its single-tasked, file-centered operating environment and trusted execution model. The operating system imposed minimal overhead, required no scheduler and featured an intuitive and comprehensible programming model. Its risks and limitations stemmed from the direct code execution at the hardware level and dependence on x86 architecture, not the model itself.

This paper presents **ESPhone**, an operating environment for microcontrollers, based on the DOS execution model while mitigating its fundamental limitations. ESPhone incorporates a custom interpreter for its Lisp dialect as the substitution for the x86 binary execution. The commands are resolved to *.esp* source files written in Lisp, which are evaluated at runtime. This design choice provides a safe, architecture-agnostic executable format while taking readability into consideration. Furthermore, the environment includes a package manager written in Lisp itself using its HTTP client core library to allow new commands and libraries to be fetched from the central repository to extend the software without reflashing the firmware.
In essence, the main contributions of this paper are:

- A functional implementation of a DOS-like shell on a microcontroller
- A minimal Lisp interpreter optimized for embedded constraints
- A networked package management for embedded devices
- Empirical measurements and comparison against RTOS frameworks

RELATED WORK

A. Embedded Lisp interpreters.

A well-known and the most related prior work is uLisp 0 which is a Lisp implementation for ATmega-based Arduino-class boards, including AVR, ARM and ESP32. The interpreter supports string and list operations, garbage collection, an interactive REPL, floating number processing and easy-to-parse syntax, making it an ideal language for microcontrollers for its negligible RAM usage. However, contrary to uLisp, ESPhone implements a full ecosystem on top of Lesp (Lisp dialect for ESPhone) 0 with a DOS model command line and a central package management. The Lesp interpreter is tailored to ESP32 architecture and tightly integrated with the hardware to preserve its efficiency.

B. Retrocomputing on microcontrollers

Projects such as fake86 and PCE have achieved x86 emulation across various hardware models, nonetheless they are less suitable for resource-constrained systems and carry the full complexity of the architecture since they directly operate on x86 instruction sets. Fake86 is a portable and open-source 8086 emulator that can be ported to several platforms, while PCE offers a more complete system emulator by introducing BIOS and VGA emulation. On the other hand, ESPhone aligns with a different direction as to match with microcontroller specifications. The system discards the complexity of x86 instruction emulation simultaneously with retaining the DOS model.

C. Embedded package management

Package management on embedded systems is as a largely unsolved problem at the bare-metal level. Although systems like OPKG provide a complete package management with dependency resolution for embedded Linux distributions such as Yocto and OpenWrt, a full Linux kernel continue to be the main prerequisite which is infeasible for models that lack a **Memory Management Unit** (MMU). There is no equivalent in the FreeRTOS and Zephyr as these ecosystems assume that all firmware code is compiled permanently during the development phase. Zephyr's meta-tool West may be considered the closest analogue, although it presents no runtime on the device, but operates entirely on the host. To our knowledge, ESPhone's package manager is the first-of-its-kind to fit into bare-metal microcontrollers without an underlying POSIX layer.

D. Scripting runtime on microcontrollers

MicroPython 0 is the most widely used scripting runtime in the domain of microcontrollers which provides virtually all Python capabilities, a REPL, filesystem access and a set of peripheral drivers for additional modules. Likewise, Lua-RTOS embeds a Lua runtime with a RTOS firmware layer. Both systems have greatly influenced ESPhone design philosophy as they proved that interpreted scripting languages are a practical option for modern microcontrollers by eliminating compile complexities at runtime. However, Mpremote, the package manager of MicroPython 0 runs on the host and transfers files over USB, hence requiring a host system besides the microcontroller.

SYSTEM ARCHITECTURE

ESPhone is comprised of four interdependent atomic layers (*see Figure 2*) 0: the hardware level, the Lesp interpreter, the command shell and the package manager, each depending on the layers below.

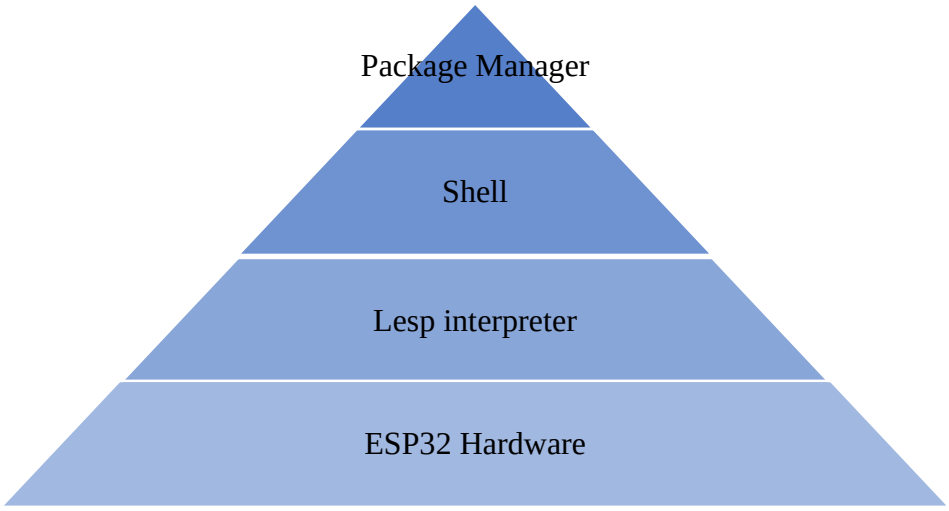


Figure 2. ESPhone Layer Architecture

E. Hardware layer

ESPhone has been designed with the ESP32 (Dual-core 240 MHz Xtensa LX6 processor, 520 KB of internal SRAM and 4 MB of flash storage) as the primary platform 0. The ESP32 also features a 2.4 GHz 802.11 WiFi antenna accessible through the hardware abstraction layer. For the filesystem, ESPhone utilizes an external SD card formatted with hierarchical FAT32 to store *.esp* command and library files, as well as any additional data files.

F. Lesp interpreter

The Lesp interpreter is responsible for parsing and evaluating s-expressions stored in *.esp* files. It supports core functions including *define, lambda, if, set, begin* along with arithmetic, string and list operations, exposes core libraries, such as *wifi, http, math, sys* and *fs* and function imports from external source files. The interpreter is invoked when a command is called and resets the environment when the execution finishes to prevent state leakage unless the data is written on the filesystem. The detailed design of the interpreter is described in Section IV.

G. Shell layer

The user directly interacts with the shell layer. The command is typed through the UART serial interface and the shell parses the input into two parts, namely the command name and the arguments. Following that, it passes the arguments as a list to the program located in the corresponding command file which then evaluated using the Lesp interpreter. This mirrors modern command line interfaces and DOS's COMMAND.COM behavior. The system does not include built-in command, but they are provided as functions within the *sys* library to use in Lesp programs.

H. Package manager

Manpac, ESPhone's package manager, has been natively written in Lesp itself using *http* library. The install command accepts a single argument of package name, constructs the URL of the package in the central GitHub repository if exists. Ultimately, manpac performs an HTTP GET request to retrieve the respective *.pkg* which contains package metadata and copies the source file to */bin* folder to separate command file namespace from user files. The installed commands become immediately ready-to-use with no reboot required.

LESP RUNTIME DESIGN

Lisp has been chosen as the scripting language for ESPhone for its properties closely aligned with the constraints of embedded systems. In Lisp, code and data share an identical representation (s-expressions) 0, which eliminates the need for a separate abstract syntax tree construction during parsing, hence reducing both memory usage and parse latency on a constrained hardware. Consisting of a small set of primitive expressions such as define, lambda, if and begin, the minimal core allows a completely functional interpreter implementation with a negligible runtime footprint, given that ESP32 features a critical 520KB RAM. Lisp's first-class object structure also makes it possible to write the standard library and the package manager in Lesp, rather than C++, maintaining architecture uniformity across layers. In contrast to Python, whose grammar and runtime object structure demand a much larger processor footprint (MicroPython

consumes 800 KB of flash, while ESPhone uses 500 KB), Lisp provides a more practical implementation for bare-metal computing without sacrificing expressiveness for use cases.

I. Parser

The Lesp runtime consists of a single-pass recursive descent S-expression parser. This design choice emanates from the hardware constraints: while the use of s-expressions eliminates the need for Abstract Syntax Tree construction, the single-pass approach ensures minimal memory footprint and parse latency. Tokens are classified as atoms, namely symbols, integers, strings, or list delimiters. Error handling in the parser is kept conservative, such that any error in the code causes the parser to abort and the error to be returned to the shell without compromising the stability of the interpreter.

J. Evaluator

The evaluator follows the standard Lisp "evaluate and apply" loop 0. The arguments provided in the command call are parsed and passed to the main function as a list and each s-expression evaluates to a single object after being processed. This may lead to several expected issues when executing the multi-line bodies of conditional, loop and functional constructs. Nonetheless, the aforementioned issue has been addressed with the introduction of *begin* statement which allows multiple expressions to be computed and returned as a list of objects.

K. Standard Library

The ESPhone standard library itself is implemented in C++ to provide access to low-level and system-wide functions for development. The libraries are not included by default but can be linked to the program with importing. These libraries are comprised of arithmetic and comparison operators, string manipulation, list operations, filesystem, HTTP and WiFi functions, as well as system and GPIO access.

PACKAGE MANAGER

All packages are stored in the central repository as a folder containing two or more files. A *pkg.info* file is required for all published packages and contains the necessary metadata and the location of the program code. This minimalist format does not require any build toolchain, thus eliminates compatibility issues across system versions. As shown in Figure 3, installation flow is initiated when the user invokes the corresponding command, then the shell passes arguments to the package manager source file which retrieves *pkg.info* from the central repository. Subsequently, the source file is fetched via the URL taken from metadata file and copied to the */bin/* directory. The installed command becomes immediately available with no reboot or flash.

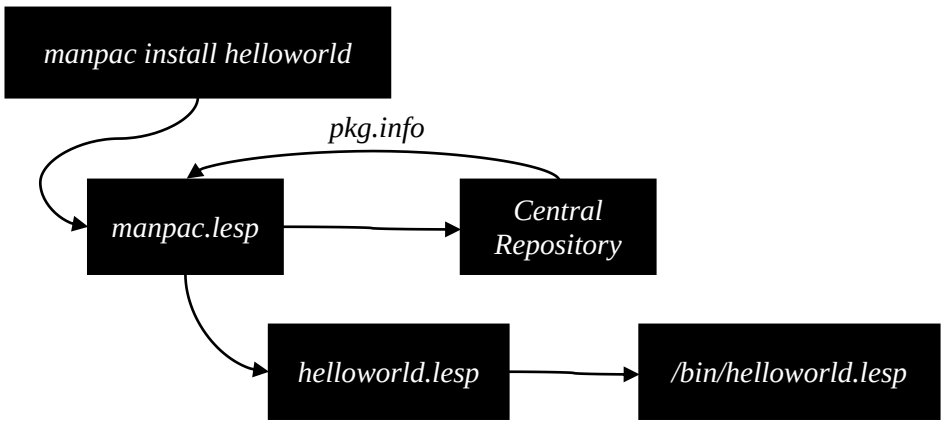


Figure 3. Installation Flow

Currently, all downloaded Lesp packages are executed with full system privileges, including GPIO and filesystem access. Although this DOS trust model may be viable for single-user environments, it establishes a basis for potential security issues and future work is to address these risks via implementation of a sandboxed trust model. The security analysis of ESPhone focuses on three main parts, specifically the filesystem, GPIO access and the interpreter state. The attacker may possess the capability to publish packages to the central repository or deliver destructive code directly to the system.

A possible attack on the system may occur in several scenarios. A malicious package can be published to the central repository, a compromised package can deliver modified files and the user can install destructive code. Moreover, ESPhone operates on a single-tasked execution model, therefore a package containing a thread-blocking code will keep the main loop busy and prevent other programs from being executed. Furthermore, the filesystem is not reset between command executions, hence a compromised package may overwrite a file that can be accessed and used by a separate program later.

Several solutions may be implemented to alleviate the threat possessed by ESPhone's existing architecture. First and foremost, package signing would allow the author to sign the package with a unique hash value stored in the pkg.info metadata file, which can be utilized to verify the code content by the device. Another approach would be a sandboxed trust model in the interpreter level which restricts untrusted packages from accessing sensitive libraries, such as filesystem, system and GPIO, while allowing safe imports, for instance math, string and list. Finally, physical access to UART interface permits unrestricted system access, yet future work includes the development of a secure boot mechanism.

Nonetheless, several issues persist within the current architecture. The absence of memory isolation between runtimes and the interpreter implies that a malicious package can corrupt interpreter state with infinitely nested recursion. No package revocation mechanism is implemented yet, thereby the malware resides in the filesystem until manually removed by the user, and the single-tasked execution model cannot interrupt a denial-of-service package once it has been invoked.

BENCHMARKS

ESPhone was benchmarked on an ESP32 microcontroller with 240 MHz Xtensa LX6 microprocessor with 520 KB heap available under the system at runtime. Each measurement (*see Figure 4*) was repeated 5 times and averaged.

Metric	ESPhone	Micropython
Boot	30 ms	235 ms
Idle RAM usage	30 KB	56 KB
Sum and product of two numbers	9.4 ms	11.86 µs
Recursion (factorial of 5)	12.8 ms	77.2 µs
Recursion (factorial of 10)	22.6 ms	147.43 µs
HTTP GET	1665.6 ms	998.6 ms
Package install	2345.2 ms	1531 ms
Active RAM usage	41.1 KB	56 KB

Figure 4. ESPhone benchmarks

Boot time is measured from power-on to the initialization of the first shell prompt and includes filesystem mounting, interpreter startup and standard library loading. Idle RAM reflects heap usage after boot with no command running and represents fixed overhead of the system itself. Lesp evaluation latency demonstrates the average time required for the interpreter to evaluate the program thoroughly, assessed with simple code and recursive stack operations. Package installation latency is quantified from the command invocation to filesystem write, including HTTP client initialization, WiFi connection establishment, DNS resolution, TLS handshake.

COMPARISON WITH ALTERNATIVES

Although memory protection and multitasking were omitted from ESPhone because of simplicity and its purpose as a proof-of-concept, these features can still be incorporated if needed. Both FreeRTOS and Zephyr have better task isolation and memory management than ESPhone 0, however both require a fixed firmware image, therefore extending the software requires a build toolchain on the host side and a firmware flash cycle 0. Meanwhile, ESPhone reduces this to a single shell command thanks to its package manager which enables immediate software update without reflash and a host device. MicroPython exhibits a similar resource profile but it does not offer a fully integrated operating environment.

Feature	ESPhone	MicroPython	Zephyr
Scripting	Lesp	Python	None

Package management	Manpac (in-device)	Mpremote (on host device)	West (on host device)
Extension	Package installation	Dynamic evaluation	Recompilation
Multitasking	Single-task	Single-task	Preemptive
Memory protection	No	No	Yes
Network connection	HTTP / WiFi	Libraries	Drivers
Footprint	500 KB	800 KB	8 KB
Live update	Yes	Yes	No

Figure 5. Comparison with ESPhone Alternatives

CONCLUSION

We have presented ESPhone, a DOS-like operating environment for microcontrollers, specifically ESP32, which features a Lisp dialect scripting runtime, a command shell and a networked package manager. The system demonstrates that despite its simplicity, DOS execution model remains as advantageous for embedded devices when combined with an interpreted runtime. Booting in 30 ms and consuming 30 KB at idle, ESPhone supports live package installation over WiFi, thereby establishing the system as a practical embedded operating environment for single-tasking IoT scenarios.

Future work aligns with the introduction of multitasking and sandboxed execution model. The latter would restrict the immediate power of packages installed from untrusted sources and establish a protection layer against malicious user privileges. Additionally, a display and an input driver implemented in Lesp itself would enable a fully self-contained handheld computing device.

REFERENCES

1. R. Barry, "FreeRTOS - A Free RTOS for Small Embedded Real Time Systems,". https://www.freertos.org/ (accessed April 7, 2026)

2.The Zephyr Project, "Zephyr RTOS - A Scalable Open Source RTOS," Linux Foundation, 2016. https://www.zephyrproject.org/ (accessed April 7, 2026)

3.T. Withers, "uLisp: A Lisp Interpreter for Microcontrollers," uLisp.com, 2016. http://www.ulisp.com (accessed April 7, 2026)

4.J. McCarthy, "Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computation by Machine, Part I," Communications of the ACM, vol. 3, no. 4, pp. 184–195, Apr. 1960. doi: 10.1145/367177.367199.

5.D. P. George, "MicroPython - a lean and efficient Python implementation for microcontrollers and constrained systems," github.com, https://github.com/micropython/micropython (accessed April 11, 2026)

6.E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, and J. Vlissides, *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Boston, MA: Addison-Wesley, 1994.

7.Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet," version 5.2, Espressif Systems, Shanghai, China, https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (accessed April 12, 2026)

8.Buttazzo, G. C., *Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications*, 4rd ed. New York: Springer, 2024.

9.F. Guan, L. Peng, L. Perneel, and M. Timmerman, "Open Source FreeRTOS as a Case Study in Real-Time Operating System Evolution," *Journal of Systems and Software*, vol. 118, pp. 69–87, 2016. doi: 10.1016/j.jss.2016.04.063.

GÖRÜNMƏYƏN DÖYÜŞ: HƏRBİ RABİTƏNİN TƏHLÜKƏSİZLİK QALXANI (THE INVISIBLE BATTLE: THE SECURITY SHIELD OF MILITARY COMMUNICATION)

Ləman Əyyubova (Leman Eyyubova)
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
İnformasiya Texnologiyaları və Texniki Elmlər Kafedrası
leyyubova43@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Müasir müharibələr yalnız fiziki qarşıdurma deyil, elektromaqnit spektri, peyk orbitləri və kiberməkanda davam edən görünməyən döyüşdür. Bu cəbhənin mərkəzində **hərbi rabitə** dayanır və ordunun əməliyyat koordinasiyasını təmin edir. Rabitə sistemləri radar, pilotsuz aparat və komanda əmrlərini real vaxtda birləşdirir, ECCM, SIGINT, kriptoqrafiya və kibertəhlükəsizlik mexanizmləri ilə qorunur. Praktiki nümunə olaraq İran-İsrail qarşıdurması göstərir ki, məlumat axını və rabitənin fasiləsizliyi əməliyyatların uğurunu müəyyən edir. Gələcəyin hərbi rabitəsi süni intellekt, peyk konstellasiyaları və kvant texnologiyaları ilə daha təhlükəsiz və strateji üstünlük verən sistemlərə çevriləcək.

Abstract: Modern warfare is not only a physical confrontation but also an invisible battle taking place across the electromagnetic spectrum, satellite orbits, and cyberspace. At the center of this domain lies military communication, which ensures operational coordination of armed forces. Communication systems integrate radar, unmanned aerial vehicles, and command directives in real time, and are protected by mechanisms such as ECCM, SIGINT, cryptography, and cybersecurity. As a practical example, the Iran–Israel confrontation demonstrates that the continuity of information flow and communication determines the success of operations. Future military communications will evolve into more secure and strategically advantageous systems through the use of artificial intelligence, satellite constellations, and quantum technologies.

Açar sözlər: *Hərbi rabitə, C4ISR, Elektron müharibə, ECCM, SIGINT, Kriptoqrafiya, Kibertəhlükəsizlik, IDS, IPS, Peyk rabitəsi (SATCOM), Süni intellekt əsaslı spektr idarəetməsi, Kvant rabitə texnologiyaları*

Keywords: *Military communication, C4ISR, Electronic warfare, ECCM, SIGINT, Cryptography, Cybersecurity, IDS, IPS, Satellite communication (SATCOM), AI-based spectrum management, Quantum communication technologies*

Giriş

Müasir dövrdə müharibə anlayışı əvvəlki əsrlərlə müqayisədə köklü şəkildə dəyişmişdir. Artıq döyüş yalnız fiziki qarşıdurma məkanı deyil; o, paralel olaraq elektromaqnit spektrində, peyk orbitində və kiberməkanda davam edir. Tankların hərəkəti, raketlərin buraxılışı və pilotsuz uçuş aparatlarının manevrləri arxasında görünməyən, lakin həyati əhəmiyyət daşıyan bir sistem dayanır — hərbi rabitə.

Əslində, rabitə sistemi olmadan heç bir ordu effektiv şəkildə fəaliyyət göstərə bilməz. Əmr ötürülməzsə, məlumat paylaşılmazsa və koordinasiya pozularsa, texniki üstünlük öz əhəmiyyətini itirir. Bu səbəbdən hərbi rabitə müasir təhlükəsizlik sisteminin əsas dayaqlarından biri hesab olunur. O, komanda-idarəetmə mexanizminin mərkəzində dayanır və C4ISR (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) arxitekturasının ayrılmaz hissəsini təşkil edir.

1. Hərbi rabitənin nəzəri və texnoloji əsasları

Hərbi rabitə çoxsəviyyəli və tam inteqrasiya olunmuş bir texnoloji sistemdir. Bu sistemə **taktiki radio rabitəsi, peyk rabitəsi (SATCOM), şifrələnmiş rəqəmsal şəbəkələr, mobil komanda məntəqələri** və müxtəlif **məlumat ötürmə kanalları** daxildir. Müasir şəbəkə-mərkəzli müharibə konsepsiyası isə bütün döyüş elementlərinin vahid informasiya mühitində birləşdirilməsini nəzərdə tutur, yəni tankdan radar sisteminə, pilotsuz uçuş aparatından komanda mərkəzinə qədər bütün elementlər **real vaxtda bir-biri ilə əlaqədə olur.**

Bu mühitdə əsas məqsəd məlumatın **təhlükəsiz və fasiləsiz** ötürülməsidir. Məsələn, erkən xəbərdarlıq radarından alınan məlumat dərhal komanda mərkəzinə ötürülür və oradan hava hücumundan müdafiə sistemlərinə yönəldilir. Hər bir mərhələdə gecikmə minimal olmalıdır, çünki kiçik bir gecikmə belə əməliyyatın nəticəsinə kritik təsir göstərə bilər.

Buna görə rabitə sistemlərində **redundans prinsipi** tətbiq edilir: əgər əsas kanal sıradan çıxsa, alternativ marşrut avtomatik aktivləşir. Eyni zamanda, **Software-Defined Radio (SDR)** texnologiyası müxtəlif tezlik diapazonlarında işləmə imkanı verərək sistemin çevikliyini və dayanıqlılığını artırır. Nəticədə hərbi rabitə

infrastrukturu həm **adaptiv,** həm də **dayanıqlı** xarakter daşıyır, qarşı tərəfin müdaxiləsinə qarşı davamlı olur.

2. Elektron müharibə və elektromaqnit spektrində üstünlük

Müasir qarşıdurmaların mühüm istiqamətlərindən biri **elektron müharibə**dir. **Electronic Warfare** (EW) konsepsiyası əsasən elektromaqnit spektrində nəzarəti ələ keçirmək və qarşı tərəfin rabitə, radar və idarəetmə imkanlarını zəiflətmək məqsədi daşıyır. Bu mübarizə fiziki silahların döyüşə girməsindən əvvəl üstünlük qazanmaq üçün kritik rol oynayır.

Jamming texnologiyası rabitə siqnallarını güclü elektromaqnit müdaxilə ilə bloklayır. Bunun nəticəsində radar məlumatları və komanda əmrləri qarşı tərəfə vaxtında çatmaya bilər, əməliyyatlar pozula bilər. Lakin müasir sistemlər buna qarşı **tezlik atlamalı ötürmə (Frequency Hopping Spread Spectrum)** və **genişzolaqlı yayılma (Direct Sequence Spread Spectrum)** metodlarını tətbiq edir. Bu texnologiyalar siqnalın strukturunu dinamik şəkildə dəyişdirərək müdaxilənin effektivliyini azaldır və rabitənin fasiləsizliyini təmin edir.

Elektromaqnit spektrində üstünlük yalnız hücum imkanlarını artırmır, eyni zamanda müdafiəni də gücləndirir. Elektron əks-əks tədbirlər **(ECCM)** və **siqnal kəşfiyyatı (SIGINT)** sistemləri rabitəni qorumaqla yanaşı, düşmənin fəaliyyətini izləyir və analiz edir:

ECCM (Electronic Counter-Countermeasures) – düşmənin rabitə və radar müdaxilələrinə qarşı qoruyucu texnologiyalardır, yəni siqnalın fasiləsiz və etibarlı işləməsini təmin edir.
SIGINT (Signals Intelligence) – düşmənin siqnal və rabitə fəaliyyətini izləyib analiz edən kəşfiyyat sistemi, əməliyyatlar barədə strateji məlumat verir.

Praktiki olaraq, müasir müharibələrdə radarların və pilotsuz uçuş aparatlarının səmərəliliyi birbaşa elektromaqnit spektrindəki üstünlüyə bağlıdır. Hər bir saniyə və hər bir siqnal vacibdir: spektrdə üstün olan tərəf, fiziki döyüş başlamazdan əvvəl strateji üstünlüyü əldə edir və əməliyyatların nəticəsini müəyyən edir.

3. Kriptoqrafiya və kiber təhlükəsizlik mexanizmləri

Rəqəmsal texnologiyalar hərbi rabitəni daha sürətli və effektiv edib, amma eyni zamanda yeni risklər də ortaya çıxarıb. Müasir döyüşdə məlumatların **məxfiliyi, bütövlüyü və əlçatanlığı** həyati əhəmiyyət daşıyır. Başqa sözlə, əmrlər yalnız düzgün tərəfə çatmalı, dəyişdirilməməli və fasiləsiz şəkildə əldə olunmalıdır.

Məsələn, **AES-256 simmetrik şifrələmə** alqoritmi məlumatları "güclü kilid"lə qoruyur: yalnız düzgün açarla məlumatı oxumaq mümkündür. **RSA və elliptik əyri kriptoqrafiyası** isə göndərən və alan arasında rəqəmsal möhür rolunu oynayır, yəni məlumatın kimdən gəldiyi və dəyişdirilmədiyi təsdiqlənir. **Public Key Infrastructure (PKI)** və **çoxfaktorlu autentifikasiya sistemi** rabitədə iştirak edən hər bir şəxsin kimliyini təsdiqləyir, beləliklə yad və zərərli müdaxilələrin qarşısı alınır.

Kiberməkan riskləri realdır və daim dəyişir. Məsələn:

- **Man-in-the-Middle hücumu** zamanı düşmən məlumatı ələ keçirib dəyişdirə bilər.
- **Spoofing** əməliyyatı ilə əmrlər saxtalaşdırıla bilər.
- **DDoS hücumu** rabitə sistemini tamamilə bağlaya bilər.

Bu səbəbdən hərbi şəbəkələrdə **intrusion detection** və **intrusion prevention** sistemləri işləyir və hücumları erkən aşkar edərək qarşısını alır.

Intrusion Detection System (IDS) – şəbəkəyə və ya sistemə edilən şübhəli hücumları erkən aşkar edən sistemdir.

Intrusion Prevention System (IPS) – şübhəli hücumları aşkar etməklə yanaşı, onları avtomatik olaraq bloklayaraq qarşısını alan sistemdir.

4. Praktiki nümunə: Regional qarşıdurmalarda rabitənin həlledici rolu

Yaxın Şərq regionunda müşahidə olunan hərbi gərginlik, xüsusilə İran və İsrail arasında artan qarşıdurmalar, hərbi rabitənin praktik əhəmiyyətini daha aydın göstərir.

Müharibə zamanı İran və İsrail arasında **real vaxtda məlumat mübadiləsi həyati əhəmiyyət daşıyır.** Məsələn, İsrailin hava hücumundan müdafiə sistemləri raketlərin trayektoriyasını saniyələr içində hesablayır və interceptor raketlərini hədəfə yönəldir. Burada hər bir əməliyyat **hərbi rabitənin fasiləsiz işləməsinə** bağlıdır. Əgər data link gecikərsə, radar məlumatı komanda mərkəzinə çatmazsa və ya şifrələnmiş kanala müdaxilə edilərsə, müdafiə sisteminin reaksiya müddəti kritik dərəcədə yavaşlayır və nəticədə hədəf üçün təhlükə artır.

Eyni zamanda, İran pilotsuz uçuş aparatlarını İsrail ərazilərinə göndərərkən **peyk rabitəsi və telemetriya kanalları vasitəsilə onları idarə edir.** Hər hansı bloklama və ya GPS siqnalının saxtalaşdırılması aparatın koordinasiyasını poza bilər. Buna görə anti-spoofing sistemləri və inertial navigation mexanizmləri paralel işləyir ki, rabitə zəifləsə belə aparat öz trayektoriyasını saxlasın.

Bu münaqişə göstərir ki, elektromaqnit spektrində üstünlük yalnız fiziki üstünlük deyil, həm də **strateji informasiya üstünlüyü** deməkdir. İranın və İsrailin hərbi komandaları hər saniyə məlumat axınını izləyir, əmrləri şifrələnmiş kanallarla ötürür və hər bir hücum və müdafiə əməliyyatını dəqiq şəkildə koordinasiya edir.

5. Gələcəyin hərbi rabitə perspektivləri

Texnologiyanın sürətli inkişafı hərbi rabitəni tam yeni səviyyəyə qaldırır. Süni intellekt əsaslı spektr idarəetməsi, siqnalın optimal tezlikdə avtomatik seçilməsini təmin edərək müdaxilə riskini minimuma endirir. Aşağı Yer orbitində yerləşdirilən peyk konstellasiyaları isə alternativ rabitə kanalları yaradır və sistemin dayanıqlığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Kvant rabitə texnologiyaları isə gələcəyin ən perspektivli kəşflərindən biridir: nəzəri baxımdan sındırılması mümkün olmayan şifrələmə mexanizmləri hərbi kommunikasiya üçün "sarsılmaz qalxan" rolunu oynayır. Bu texnologiyalar, rabitənin həm sürətli, həm də tam təhlükəsiz olmasını təmin edərək gələcək müharibələrin informasiya müstəvisində üstünlük qazanan tərəfi müəyyən edəcək.

6. Nəticə

Hərbi rabitə müasir müharibələrin görünməyən, lakin həlledici cəbhəsidir. Silahların gücü və orduların sayı informasiya axınının düzgün idarə olunması olmadan strateji nəticə vermir. Rabitə sistemləri ordunun sinir sistemi kimi fəaliyyət göstərir və onun təhlükəsizliyi əməliyyatların davamlılığını təmin edir.

Görünməyən bu döyüşdə üstünlük elektromaqnit spektrinə, kiberməkana və informasiya axınına nəzarət edən tərəfin əlində olur. Bu reallıq hərbi rabitəni müasir təhlükəsizlik strategiyalarının mərkəzinə yerləşdirir və onu gələcəyin müharibələrinin əsas determinantlarından birinə çevirir.

ƏDƏBİYYAT

1. **Adamy, D. L.** *EW 101: A First Course in Electronic Warfare*. Artech House, 2015.
2. **Alberts, D. S.** *Information Age Warfare: Evolution of C4ISR*. DoD CCRP, 2002.
3. **Joint Publication 3-85.** *Joint Electromagnetic Spectrum Operations*. US Department of Defense, 2020.
4. **Krelina, M.** "Quantum technology for military applications". *EPJ Quantum Technology*, 2021.
5. **O'Leary, M.** *Cyber Operations: Building, Defending, and Attacking Modern Computer Networks*. Apress, 2019.
6. **The Military Balance 2024.** *The International Institute for Strategic Studies (IISS)*. Routledge, 2024.

KƏNARDAN BULUDA ARXITEKTURASINDA ŞƏBƏKƏ YÜKÜNÜN AZALDILMASI ÜÇÜN FPGA ƏSASLI MƏLUMAT FILTRLƏMƏ MODULUNUN LAYIHƏLƏNDIRILMƏSI

Gülağa Məmmədov
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
gmemmedov2@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Əşyaların İnterneti cihazları hər ötən il daha da artır, bu da böyük həcmdə məlumat yaradılmasına səbəb olur. Nəticədə, ənənəvi mərkəzləşdirilmiş bulud hesablamalarında şəbəkə buraxılış eni və gecikmə problemləri yaranır. Problemin həlli üçün kənar hesablama arxitekturası təklif edilir ki, arxitekturada məlumatlar mənbəyə yaxın yerdə emal edilir. Kənar səviyyədə məlumatlar əvvəlcədən emalı və filtrlənməsi prosesləri aparılır, nəticədə yalnız vacib məlumatlar buluda göndərilir və şəbəkə yükü əhəmiyyətli dərəcədə azalır. FPGA kənar serverlərdə məlumat axınlarını emal etmək üçün ən uyğun apparat platformasıdır, çünki aşağı gecikmə müddəti, yüksək enerji səmərəliliyi və paralellik imkanları verir. Bu məqalədə kənardan buluda arxitekturasında şəbəkə yükünün azaldılması üçün FPGA əsaslı, yüksək məhsuldarlığa malik məlumat filtrləmə modulunun layihələndirilməsi təklif edilir. Tədqiqat göstərir ki, FPGA-lar proqnozlaşdırıla bilən performans təmin etməklə kənar hesablama qovşaqlarında şəbəkə trafikini optimallaşdırmaq üçün effektiv həlldir.

Açar sözlər: Kənar hesablama, Bulud hesablama, FPGA, Məlumat filtrləmə, Şəbəkə yükünün azaldılması, IoT.

DESIGN OF AN FPGA-BASED DATA FILTERING MODULE FOR NETWORK LOAD REDUCTION IN EDGE-TO-CLOUD ARCHITECTURES

Gulagha Mammadov
Baku Engineering University
Information and computer technologies faculty
gmemmedov2@std.beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract
The rapid growth of Internet of Things devices generates massive amounts of data annually, causing significant network bandwidth and latency issues within traditional centralized cloud computing infrastructures. Transmitting all raw data directly to the cloud increases network load and delays real-time decision-making. To address these challenges, edge computing architectures have emerged, where data processing is moved closer to the source. Data preprocessing and filtering at the edge stage minimize bandwidth usage by ensuring that only relevant and valuable information is transmitted to central servers, thereby reducing network congestion and saving resources. Field-Programmable Gate Arrays are ideal hardware platforms for processing streaming data at edge servers due to their high energy efficiency, low latency, and massive spatial/temporal parallelism. This paper proposes the design of an FPGA-based data filtering module to reduce network load in Edge-to-Cloud architectures. Research indicates that FPGAs provide predictable performance and offer an effective solution for optimizing network traffic at edge nodes.

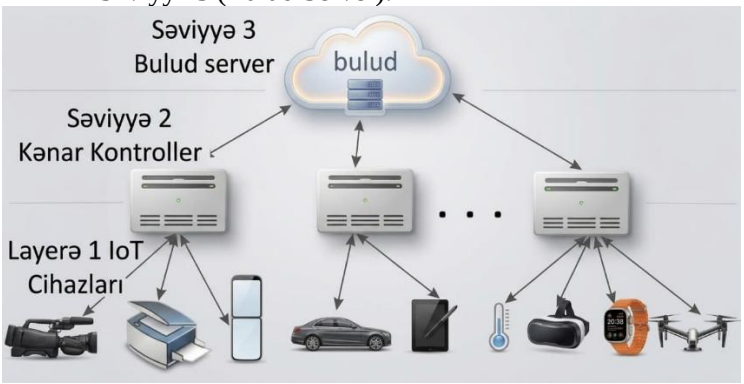
Keywords: Edge computing, Cloud computing, FPGA, Data filtering, Network load reduction, IoT.

GİRİŞ

Süni intellekt və əşyaların interneti texnologiyalarının sürətli inkişafı nəticəsində hesablama dünyasında yeni dövr başlanıb. Günümüzdə milyardlarla cihaz məlumat toplayır və bu məlumatların emalı üçün güclü hesablama resursları tələb edilir. Proqnozlara görə, 2020-ci ilə qədər şəbəkəyə qoşulan cihazların sayı 50 milyarda çatmış və onların illik yaratdığı məlumat həcminin 400 ZettaBayt olması gözlənilirdi.[1] Nəhəng həcmli məlumatların hamısının emal üçün mərkəzləşdirilmiş bulud serverlərinə ötürülməsi ənənəvi arxitekturalarda ciddi problemlər yaradır. Xüsusilə, coğrafi cəhətdən uzaq yerləşən məlumat mərkəzləri yüksək gecikmə və buraxılış zolağının eni məhdudiyyətləri ilə qarşılaşır ki, bu da real vaxt rejimində işləyən tətbiqlər üçün əlverişsizdir.

Bu problemləri həll etmək üçün hesablama gücünü birbaşa məlumat mənbəyinə yaxınlaşdıran "Kənar Hesablama" modeli ortaya çıxmışdır. Kənar hesablama modelinə əsasən məlumatlar yerində emal edilir, filtrdən keçirilir və yalnız vacib nəticələr buluda göndərilir. Bu yanaşma həm buraxılış zolağının eni xərclərinə qənaət edir, həm də mərkəzi resursların lazımsız yüklənməsinin qarşısını alır. Şəkil 1-də üçsəviyyəli iyerarxiya təsvir edilib. 1-ci səviyyədən-dən gələn böyük həcmli xam məlumat 2-ci səviyyədə FPGA vasitəsilə filtrlənir və yalnız vacib məlumatlar 3cü səviyyə olan bulud səviyyəsinə ötürülür.

- Səviyyə 1 (IoT Cihazları): Bu səviyyə məlumatların yarandığı hissədir. Burada əsasən kameralar, sensorlar, dronlar və s. kimi qurğular yerləşir.
- Səviyyə 2 (Kənar Kontrollerlər): FPGA əsaslı filtrləmə modulu bu hissədə yerləşir.
- Səviyyə 3 (Bulud Server): Məlumatın emal olunub saxlanıldığı son nöqtə.



Şəkil 1. Üçsəviyyəli Məlumat Emalı və Ötürülməsi

Kənar hesablama qovşaqlarında aparat platformasının seçimi sistemin səmərəliliyi üçün kritikdir. Ənənəvi Mərkəzi Prosessorlar (CPU) və Qrafik Prosessorlar (GPU) yüksək enerji istehlakına malikdir və istilik

məhdudiyyəti olan kənar cihazlar üçün həmişə uyğun deyil.[1] FPGA bu sahədə ən perspektivli texnologiya kimi çıxış edir. Cədvəl 1-də FPGA, CPU və GPU-nun müqayisə analizi təqdim edilmişdir.

Cədvəl 1. FPGA, CPU, GPU fərqləri

Xüsusiyyət	**FPGA**	**CPU**	**GPU**
Emal Modeli	Məlumat axını və emal zənciri	Ardıcıl	Toplu emal
Paralellik Növü	Həm məkan, həm də zaman paralelliyi	Məhdud məkan paralelliyi	Əsasən məkan paralelliyi
Keçid Qabiliyyəti	İş yükünün həcmindən asılı olmayaraq sabit və yüksək	Aşağı	İş yükünün həcminə qarşı həssas
Enerji Səmərəliliyi	Çox yüksək (GPU-dan 2.5–30.7 dəfə daha səmərəli)	Aşağı	Enerji istehlakı yüksəkdir
Gecikmə	Deterministik və sabit	Qeyri-deterministik	İş yükünə görə 35 dəfəyədək düşə bilər
Aparatın yenidən konfiqurasiya imkanı	Tamamilə yenidən konfiqurasiya edilə bilən	Sabit struktur	Sabit struktur

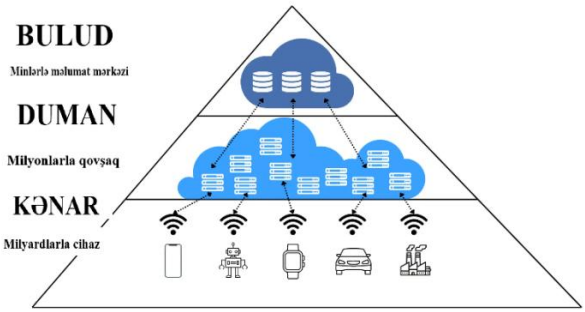
Son illərdə Yüksək Səviyyəli Sintez texnologiyasının inkişafı, FPGA tətbiqlərinin OpenCL kimi dillərlə proqramlaşdırılmasını mümkün edərək bu cihazların istifadəsini daha əlçatan etmişdir.[1] Bu məqalədə, qeyd olunan üstünlüklərdən yararlanaraq Edge-to-Cloud arxitekturasında şəbəkə trafikini optimallaşdıran FPGA əsaslı məlumat filtrləmə modulunun dizaynı və tətbiqi tədqiq edilir. Təklif olunan həll sensor məlumatlarını kənar səviyyədə real vaxt rejimində analiz edərək bulud infrastrukturunun şəbəkə yükünü əhəmiyyətli dərəcədə azaltmağa hədəflənmişdir.

1. Edge-to-Cloud Arxitekturasında Məlumat Emalının Konseptual Əsasları

L. 1.1. Bulud, Duman və Kənar Hesablama iyerarxiyası

Müasir texnologiyalar dövründə Əşyaların İnterneti cihazları hər saniyə kütləvi həcmdə məlumat yaradır. Bu məlumatların effektiv emalı üçün üçtəbəqəli bir modeldən istifadə olunur. Şəkil 2-də təsvir olunan iyerarxik modelə əsasən, sistemin strukturu və hər bir təbəqənin funksiyaları aşağıdakı kimi xarakterizə olunur:

- Bulud: Ən üst təbəqədir. Burada minlərlə güclü server yerləşir ki, onlar böyük həcmli məlumatların uzunmüddətli saxlanması və mürəkkəb analitika üçün nəzərdə tutulub. Lakin məlumatların buluda göndərilməsi uzaq məsafə səbəbindən yüksək gecikmə yaradır.
- Duman: Bulud ilə kənar cihazlar arasında yerləşən "emal qovşağıdır". O, kənar cihazlardan gələn məlumatları birləşdirir və qismən emal edərək buludun yükünü azaldır.
- Kənar: Ən aşağı təbəqədir və bilavasitə məlumat mənbəyinin yanında yerləşir. Kənar hesablama məlumatı yarandığı andaca emal edərək real vaxt rejimində cavab verilməsini təmin edir.



Şəkil 2 "Bulud-Duman-Kənar İyerarxiyası"

M. 1.2. Şəbəkə yükü və gecikmə problemi

IoT tətbiqlərində "yuxarı axın" adlanan proses sensor məlumatlarının toplanması və buluda ötürülməsidir. Məlumat həcmi artdıqca, şəbəkə kanalları bu yükü daşımaqda çətinlik çəkir, nəticədə məlumatın ötürülmə müddəti artır. Xüsusilə sürücüsüz avtomobillər və ya sənaye avtomatlaşdırılması kimi zamana qarşı həssas tətbiqlərdə bu gecikmə kritik qərarların gecikməsinə və sistem qəzalarına səbəb ola bilər.[3]

N. 1.3. Məlumatın kənar səviyyədə filtrlənməsinin zəruriliyi

Kənar cihazlarda həyata keçirilən ilkin emal mərhələsi məlumat həcmini azaltmağa xidmət edir. Sensorlar tərəfindən yaradılan məlumatların çoxu adətən təkrarlanan və ya aşağı əhəmiyyətli olur. Məsələn, bir

sənaye sensoru göstəricilər normal diapazonda olduqda hər saniyə məlumat göndərməyə bilər; filtrləmə modulu yalnız anomal dəyişikliklər baş verdikdə bu məlumatı buluda ötürərək buraxılış zolağının eninə və şəbəkə resurslarına qənaət edir.[3] Beləliklə, kənar səviyyədə filtrləmə həm enerjiyə qənaət edir, həm də bütün sistemin cavabdehliyini artırır.

2. FPGA ƏSASLI MƏLUMAT FILTRLƏMƏ MODULUNUN ARXITEEKTURASI VƏ LAYIHƏLƏNDIRILMƏSI

O. 2.1. FPGA platformasının seçilmə səbəbləri

FPGA cihazları kənar hesablama mühitlərində məlumatların sürətli süzgəcdən keçirilməsi üçün bir sıra mühüm üstünlüklərə malikdir. Bu platformalar həm məkan, həm də zaman paralelliyini təmin edərək kütləvi paralel hesablama imkanları təqdim edir.[5] Bu xüsusiyyət həm yüksək paralel işləyən, həm də mürəkkəb məlumat asılılığına malik alqoritmlərin sürətləndirilməsini təmin edir. Enerji səmərəliliyi baxımından FPGA-lar Qrafik Prosessorlarla müqayisədə 3-4 dəfə daha az enerji istehlak edir və 30.7 dəfəyə qədər daha yüksək enerji səmərəliliyi təqdim edir.[1][5] Bu, istilik və enerji məhdudiyyətləri olan kənar hesablama qovşaqlarında stabil fəaliyyətin qorunması üçün kritikdir. Bundan əlavə, FPGA-lar iş yükünün həcmindən asılı olmayaraq deterministik performans və sabit gecikmə müddəti təqdim edir, halbuki GPU-lar iş yükünün dəyişməsinə qarşı həssasdırlar. Bu proqnozlaşdırıla bilən performans real vaxt rejimli IoT tətbiqləri üçün əsas tələblərdən biridir. FPGA-lar həmçinin giriş/çıxış kanallarından gələn məlumat axınlarını fasiləsiz emal etmək üçün xüsusi olaraq uyğunlaşdırılmışdır.

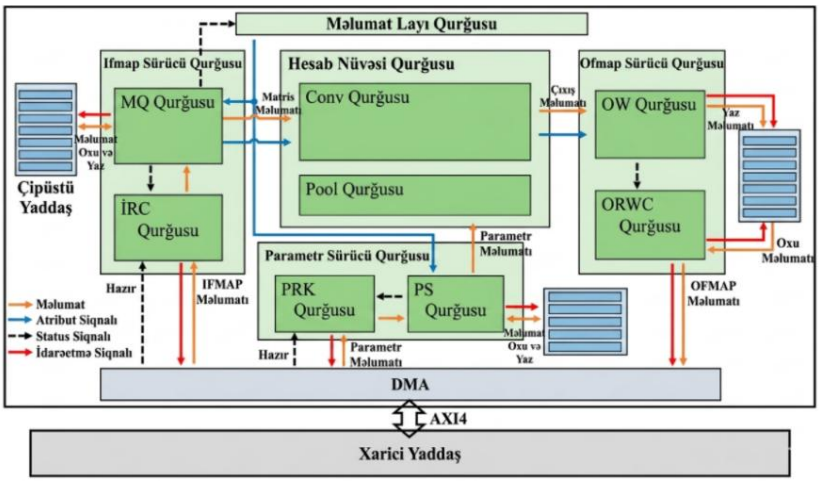
P. 2.2. Filtrləmə modulunun aparat dizaynı

Təklif olunan filtrləmə modulunun əsasını skalana bilən Emal Elementləri (PE) massivi təşkil edir.[5] Bu massiv FPGA-nın daxilində hesablamaların eyni anda aparılmasını təmin edən bir mühərrik rolunu oynayır. Hər bir PE vahidi dərin öyrənmə alqoritmlərinin ən kiçik hesab vahidi olan vurma-toplama əməliyyatlarını yüksək sürətlə yerinə yetirmək üçün nəzərdə tutulmuşdur.[2][5] Modulun dizaynında "məlumat axını" modeli tətbiq edilir ki, bu da məlumatın sistem daxilindən bir boru kəməri kimi fasiləsiz keçməsini təmin edir və beləliklə, xarici yaddaşa müraciət ehtiyacını minimuma endirir.

Sensorlardan gələn xətti məlumat axınını PE massivi üçün hazır formaya salmaq üçün Matris Generatoru bölməsindən istifadə edilir.[5] Bu bölmə giriş məlumatlarını matrislər şəklində təşkil edərək müxtəlif növ filtrləmə əməliyyatlarının (məsələn, 1x1 və 3x3 konvolyusiyalar) eyni anda icra olunmasına imkan yaradır.[2] Dizaynda tətbiq olunan 3D tenzor tipli PE strukturu isə sistemin həm fərqli qatlar, həm də müxtəlif sensor kanalları üzrə paralel işləməsini təmin edir.[2] Bu yanaşma, sensorlardan gələn zaman sıralı siqnalların real vaxt rejimində sürətli filtrlənməsinə şərait yaradır.

Şəkil 3-də layihələndirilən filtrləmə modulunun daxili arxitekturası və məlumatın emalı prosesində iştirak edən bloklar təsvir edilmişdir. Sistem dörd əsas sürücü qurğusundan (Ifmap, Ofmap, Parametr və Məlumat Layı) və mərkəzi hesab nüvəsindən (Conv və Pool qurğuları) ibarətdir.

Məlumat axını xarici yaddaşdan AXI4 interfeysi və DMA (Doğrudan Yaddaşa Çıxış) vasitəsilə qəbul edilərək çipüstü yaddaşda (on-chip memory) buferlənir.[2][7] Hesab nüvəsi daxilindəki Conv (Konvolusiya) və Pool (Birləşdirmə) qurğuları daxil olan parametrlər əsasında məlumatın filtrlənməsini və sıxılmasını həyata keçirir. Bu daxili struktur, məlumatın minimum gecikmə ilə emal olunmasını və şəbəkəyə ötürülməzdən əvvəl lazımsız trafikin kənarlaşdırılmasını təmin edir.



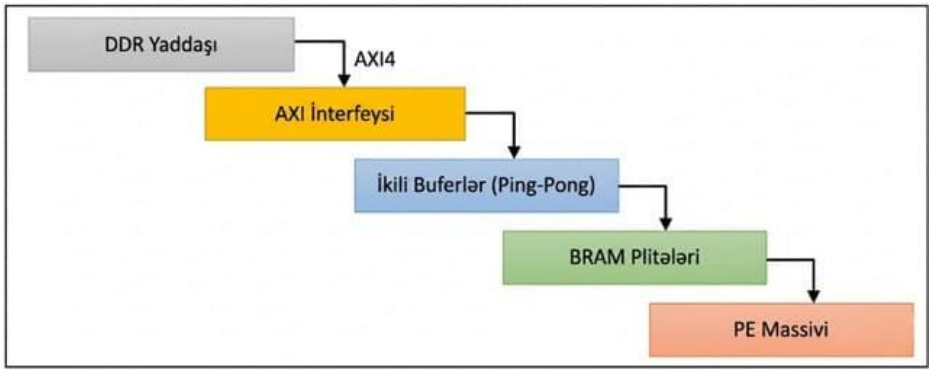
Şəkil 3. FPGA əsaslı məlumat filtrləmə modulunun daxili blok sxemi

Q. 2.3. Yaddaş idarəetməsi və məlumat ötürülməsinin optimallaşdırılması

FPGA-da hesablama gücü nə qədər yüksək olsa da, yaddaşın ötürmə qabiliyyəti məhdud olduqda sistem ləngiyir. Bu problemi həll etmək üçün dizaynda daxili BRAM (blok RAM) yaddaş iyerarxiyasından istifadə olunur. Məlumatın səmərəli idarə edilməsi üçün iki əsas texnika tətbiq edilir: bloklama və ikiqat buferləmə.[5]

Bloklama metodu nəhəng həcmli sensor məlumatlarını daha kiçik parçalara ayırır və onları sürətli daxili BRAM yaddaşında saxlayır. Bu, sistemin xarici yaddaşdan təkrar-təkrar eyni məlumatı dartmasının qarşısını alır və enerji səmərəliliyini artırır.[7] İkiqat buferləmə mexanizmində isə iki müstəqil daxili yaddaş bloku işləyir: PE massivi birinci buferdəki məlumatı emal edərkən, növbəti məlumat bloku eyni vaxtda xarici yaddaşdan ikinci buferə yüklənir. Beləliklə, hesablamalar və məlumat yükləmə prosesləri üst-üstə düşərək sistemin dayanmadan işləməsini təmin edir. Məlumat ötürülməsi üçün sənaye standartı olan yüksək sürətli AXI interfeysi seçilmişdir və bu ötürmə rejimi vasitəsilə 17 GB/s-ə qədər maksimal bant genişliyi təmin edilir.[2] Şəkil 4-də təsvir olunan konveyer strukturu, məlumatın xarici yaddaşdan hesablama elementlərinə qədər keçdiyi optimallaşdırılmış yolu əks etdirir. Proses DDR yaddaşından gələn məlumatların yüksək sürətli AXI4 interfeysi vasitəsilə qəbulu ilə başlayır.[7]

Sistemin səmərəliliyini artırmaq və məlumat itkisinin qarşısını almaq üçün İkili Buferlər texnologiyasından istifadə edilmişdir. Bu mexanizm eyni anda həm məlumatın oxunmasına, həm də növbəti mərhələyə ötürülməsinə imkan yaradaraq hesablamalarda durğunluğu aradan qaldırır. Daha sonra məlumatlar FPGA-nın daxili BRAM plitələrində yerləşdirilir və buradan birbaşa PE massivinə ötürülərək emal edilir. Bu ardıcıllıq, FPGA-nın paralel hesablama gücündən maksimum istifadə etməklə məlumat filtrləmə prosesini sürətləndirir.



Şəkil 4. Məlumatın DDR yaddaşdan PE massivinə ötürülmə mərhələləri və yaddaş iyerarxiyası.

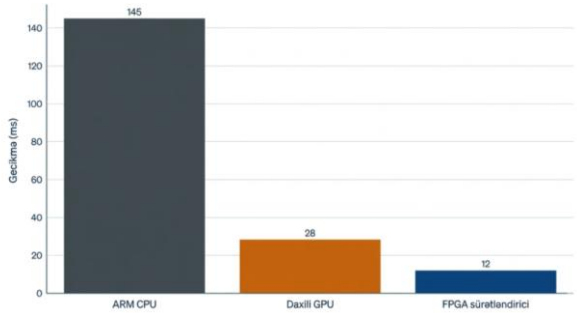
3. SISTEMIN PERFORMANS ANALIZI VƏ ŞƏBƏKƏ YÜKÜNÜN AZALDILMASINDA EFFEKTIVLIYI

R. 3.1. İş yükünün dinamik bölünməsi və ötürülən məlumatın azaldılması

Edge-to-Cloud arxitekturasında məlumatların kənar səviyyədə filtrlənməsi şəbəkə yükünü azaltmaq üçün həlledici rol oynayır. Tədqiqatlar göstərir ki, sensor məlumatlarının mərkəzi serverlərə ötürülməzdən əvvəl kənarda filtrlənməsi və ilkin emalı ötürülmə tələblərini 91%-ə qədər azalda bilər.[3] İş yükünün kənar və bulud arasında bölünməsi zamanı "kənar ilkin emal" strategiyasının tətbiqi, bulud serverlərinin CPU və yaddaş resurslarından istifadəsini müvafiq olaraq 31.1% və 29.7% səviyyəsində azaldaraq ümumi sistemin performansını artırır.[4] Sensorlardan gələn nəhəng həcmli xam məlumatların kənarda filtrdən keçirilməsi yalnız dəyərli informasiyanın ötürülməsini təmin edir ki, bu da həm buraxılış zolağının eni xərclərinə qənaət edir, həm də şəbəkə tıxaclarının qarşısını alır.

S. 3.2. FPGA, CPU və GPU platformalarının müqayisəli analizi

FPGA əsaslı filtrləmə modulunun performansı digər hesablama platformaları ilə müqayisədə əhəmiyyətli üstünlüklərə malikdir. ResNet-18 və MobileNetV2 kimi dərin öyrənmə modelləri üzərində aparılan sınaqlar göstərir ki, FPGA əsaslı sürətləndirici süni intellekt tapşırıqlarını mərkəzi prosessorlardan 12 dəfə daha sürətli yerinə yetirir. GPU-larla müqayisədə isə FPGA-lar 2.3 dəfə daha yüksək sürət və 65% daha az enerji istehlakı nümayiş etdirir. [5] Xüsusilə "şərti asılılıq" tələb edən mürəkkəb filtrləmə alqoritmlərində (if-else) FPGA-nın üstünlüyü daha qabarıq görünür. GPU platforması belə məntiqi şərtlər daxilində eyni vaxtda yalnız eyni yolu izləyən iterasiyaları paralelləşdirə bildiyi üçün performansı 37.12 dəfəyə qədər düşə bilər, halbuki FPGA aparat səviyyəsində bütün icra yollarını paralel konfiqurasiya edərək sabit və deterministik gecikmə təmin edir. [5]



Şəkil 5. ARM CPU, Daxili GPU və FPGA platformalarının gecikmə müddətinə (ms) görə müqayisəli performans qrafiki.

Şəkil 5-də müxtəlif hesablama platformaları üzərində aparılan sınaqların nəticələri və onların gecikmə göstəriciləri əks olunmuşdur. Qrafikdən aydın görünür ki, ARM CPU 145 ms gecikmə ilə ən aşağı performansı göstərir. Daxili GPU bu göstəricini 28 ms-ə qədər endirsə də, layihələndirilən FPGA sürətləndiricisi cəmi 12 ms gecikmə ilə ən yüksək nəticəni təmin edir.[7] Bu nəticələr sübut edir ki, FPGA əsaslı məlumat filtrləmə modulu məlumatın emal sürətini ARM CPU ilə müqayisədə təxminən 12 dəfə, GPU ilə müqayisədə isə 2 dəfədən çox artırır. Aşağı gecikmə müddəti xüsusilə Kənardan Buluda arxitekturalarında real zamanlı məlumat axınını təmin etmək və şəbəkə yükünü effektiv idarə etmək üçün kritik üstünlükdür.

T. 3.3. Yaddaş idarəetməsi və şəbəkə gecikməsinin optimallaşdırılması

Kənar hesablama qovşaqlarında ən böyük maneə yaddaş buraxılış zolağının eni və şəbəkə gecikməsidir. Təklif olunan FPGA modulunda tətbiq edilən AXI ötürülməsi və yaddaşın lokallaşdırılması metodları sayəsində unikal məlumat ötürülmə səmərəliliyi 85%-ə qədər yüksəlir.[5] Bu yanaşma yaddaşdakı lazımsız məlumat trafikini kəskin azaldır və ötürmə qabiliyyəti göstəricisini saniyədə 83 FPS səviyyəsinə çatdırır.[5] Tədqiqatlar göstərir ki, kənar səviyyədə həyata keçirilən diaqnostik analizlər ənənəvi bulud yanaşması ilə müqayisədə gecikməni 2-3 saniyədən 150-200 millisaniyəyə qədər (təxminən 93% azalma) endirə bilir.[3]

U. 3.4. Təhlükəsizlik və dinamik yenidən konfiqurasiya imkanları

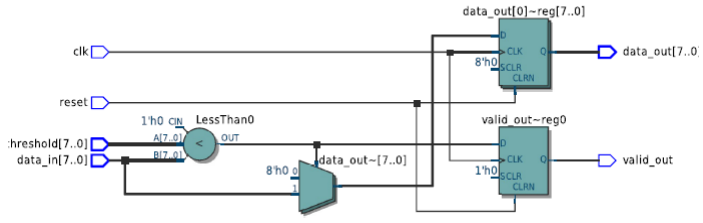
FPGA platforması şəbəkə yükünü azaltmaqla yanaşı, həm də aparat səviyyəli təhlükəsizlik tədbirləri təqdim edir. Fiziki Klonlanmayan Funksiyalar hər bir cihaz üçün unikal təhlükəsizlik açarları yaradaraq kənar cihazların klonlaşdırılmasının qarşısını alır.[6] Sistem fəaliyyətdə olarkən Dinamik Qismən Yenidən Konfiqurasiya texnologiyasının tətbiqi, modulun filtrləmə parametrlərini real vaxtda dəyişməyə imkan verir. Optimallaşdırılmış konfiqurasiya metodları vasitəsilə sistemin yenidən yüklənmə sayı 22.22%-ə, yüklənmə müddəti isə ümumi vaxtın 12.08%-nə qədər endirilərək sistemin çevikliyi və resurslardan tam istifadəsi təmin edilir.[6]

4. FPGA ƏSASLI MƏLUMAT FILTRLƏMƏ MODULUNUN LAYIHƏLƏNDIRILMƏSI

4.1. Modulun Arxitekturası və İş Prinsipi

Tədqiqat işində təklif olunan modulun əsas məqsədi kənar hesablama qovşaqlarında sensor məlumatlarını real vaxt rejimində analiz etmək və lazımsız informasiyanı buluda ötürülməmişdən əvvəl bloklamaqdır. Modulun arxitekturası Verilog HDL dilində layihələndirilmişdir. Sistemin iş prinsipi "Hədd Filtrləməsi" metoduna əsaslanır. Belə ki, sistemə daxil olan hər bir 8-bitlik məlumat təyin olunmuş hədd parametri ilə müqayisə edilir. Əgər daxil olan məlumat həddən böyükdürsə, valid_out siqnalı aktivləşir. Bu yanaşma, yalnız mühüm dəyişikliklərin buluda ötürülməsini təmin edərək şəbəkə resurslarına qənaət edir.

V. 4.2. Aparat Resurslarının Təhlili (RTL Viewer) Modulun məntiqi strukturu Intel Quartus Prime mühitində sintez edilmişdir.



Şəkil 6. Filtrləmə modulunun RTL sxemi: registr (reg), müqayisəedici (comparator) və multipleksor (mux) bloklarının əlaqəsi.

Şəkil 6-da göstərilən RTL sxemindən aydın olur ki, modul minimal aparat resursları tələb edir. Bu, FPGA-nın daxili məntiqi elementlərindən səmərəli istifadə edərək sistemin ümumi enerji istehlakını aşağı salmağa imkan verir.

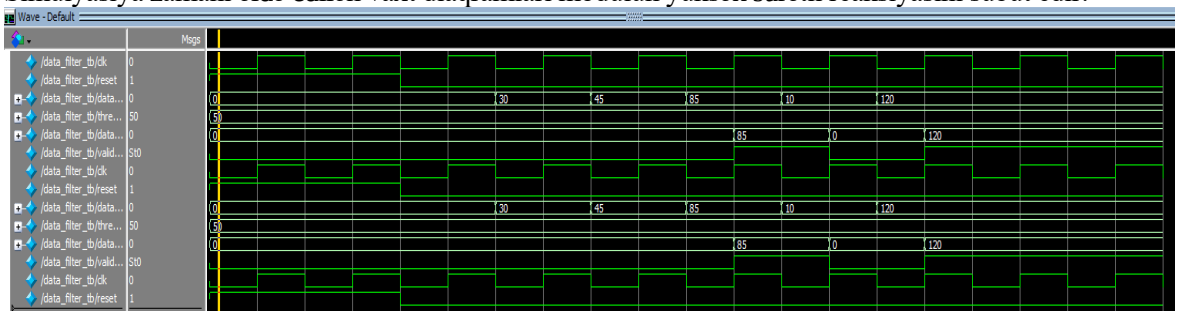
5. SİSTEMİN SİMULYASİYASI VƏ NƏTİCƏLƏRİN ANALİZİ

W. 5.1. ModelSim Simulyasiya Mühiti

Layihələndirilmiş modulun funksionallığını yoxlamaq üçün xüsusi bir Testbench proqramı hazırlanmışdır. Simulyasiya ModelSim - Intel FPGA Edition proqram təminatında aparılmışdır. Test zamanı modula fərqli diapazonlarda (30, 45, 85, 10, 120) rəqəmsal siqnallar göndərilmişdir.

X. 5.2. Nəticələrin Qiymətləndirilməsi

Simulyasiya zamanı əldə edilən vaxt diaqramları modulun yüksək sürətli reaksiyasını sübut edir:



Şəkil 7. ModelSim-də filtrləmə prosesinin dalğa diaqramı (Waveform).

Şəkil 7-dən göründüyü kimi:

- Məlumatın Bloklanması: Giriş məlumatı təyin olunmuş 50 həddindən kiçik olduqda (30, 45 və 10), çıxış siqnalı passiv qalır.
- Kritik Məlumatın Ötürülməsi: Məlumat həddi aşdıqda (85 və 120), modul nanosaniyələr ərzində reaksiya verir və valid_out siqnalını aktivləşdirərək məlumatın ötürülməsinə icazə verir.

Y. 5.3. Şəbəkə Yükünün Azaldılmasına Təsiri

Aparılan test ssenarisində daxil olan 5 fərqli məlumat paketindən yalnız 2-si filtrdən keçmişdir. Bu, kənar səviyyədə tətbiq edilən bu modulun şəbəkə trafikini 60% azaldacağını göstərir. Milyonlarla sensorun işlədiyi real IoT ekosistemlərində bu cür kənar filtrləmə mərkəzi bulud serverlərinin yükünü əhəmiyyətli dərəcədə azaldacaqdır.

NƏTİCƏ

Tədqiqat göstərir ki, Edge-to-Cloud arxitekturasında FPGA əsaslı məlumat filtrləmə modulunun tətbiqi həm şəbəkə yükünü, həm də sistemin cavabdehlik müddətini əhəmiyyətli dərəcədə optimallaşdırır. FPGA-nın təmin etdiyi kütləvi paralellik və deterministik icra müddəti sensor məlumatlarının real vaxt rejimində süzülməsini mümkün edərək buluda ötürülən məlumat həcmini 91% azaldır. Müqayisəli analizlər nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, FPGA əsaslı həllər CPU və GPU-dan həm sürət həm də enerji səmərəliliyi baxımından kəskin şəkildə üstündür. Bu göstəricilər FPGA-nı müasir IoT və sənaye avtomatlaşdırılması sistemlərində şəbəkə yükünün azaldılması üçün ən perspektivli platforma kimi təsdiqləyir. Aparılan praktiki simulyasiyalar təklif olunan 8-bitlik filtrləmə modulunun şəbəkə trafikini test ssenarisi üzrə 60% azaldaraq infrastruktur yükünü kəskin aşağı saldığını təsdiq edir. Bundan əlavə, Fiziki Klonlanmayan Funksiyalar və Dinamik Qismən Yenidən Konfiqurasiya texnologiyaları sistemin həm aparat səviyyəli təhlükəsizliyini təmin edir, həm də fəaliyyəti dayandırmadan filtrləmə parametrlərini yeniləməyə imkan verir. Yekun olaraq, bu tədqiqat FPGA-nın kənar hesablama qovşaqlarında səmərəli, yüksək sürətli və təhlükəsiz məlumat idarəetməsi üçün ən perspektivli platforma olduğunu sübut edir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

[1] - Saman Biookaghazadeh, Ming Zhao, Fengbo Ren. "Are FPGAs Suitable for Edge Computing?". Arizona State University.

[2] - Kyungho Kim, Sung-Joon Jang, Jonghee Park, Eunchong Lee, Sang-Seol Lee. "Lightweight and Energy-Efficient Deep Learning Accelerator for Real-Time Object Detection on Edge Devices". *Sensors*, Vol. 23, No. 1185, 2023.

[3] - Tarek Aziz Bablu, Mohammad Tanvir Rashid. "Edge Computing and Its Impact on Real-Time Data Processing for IoT-Driven Applications". *Journal of Advanced Computing Systems (JACS)*, Vol. 5, No. 1, pp. 26-43, 2025.

[4] - Jiang Wu, Hongbo Wang, Kun Qian, Enmiao Feng. "Optimizing Latency-Sensitive AI Applications Through Edge-Cloud Collaboration". *Journal of Advanced Computing Systems (JACS)*, Vol. 3, No. 3, pp. 19-33, 2023.
[5] - Shaik Sadulla. "FPGA-Based Hardware Acceleration of AI Algorithms for High-Performance Embedded Systems". *Archives of Electronics, Communication and Emerging Technologies*, Vol. 1, No. 2, pp. 42-49, 2025.
[6] - Kaisheng Shi, Mingwei Wang, Xin Tan, Qianghua Li, Tao Lei. "Efficient Dynamic Reconfigurable CNN Accelerator for Edge Intelligence Computing on FPGA". *Information*, Vol. 14, No. 194, 2023.
[7] - Aakansha Soy. "A Reconfigurable Edge-AI VLSI Architecture for Intelligent Signal Processing Applications". *National Journal of Integrated VLSI and Signal Intelligence*, Vol. 1, No. 1, pp. 42-49, 2026

SƏNAYE İDARƏETMƏ SİSTEMLƏRİNDƏ ANOMALİYA AŞKARLANMASI ÜÇÜN HİBRİD METODLAR

İsmayılova Günel Nazir qızı
Bakı,Azərbaycan
Bakı Mühəndislik Universitet **Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrasının magistr tələbəsi**
Bakı,Azərbaycan
gismayilova5@std.beu.edu.az
https://orcid.org/0009-0003-2516-3738

Məmmədzadə Nəcəf Nəvai oğlu
Bakı,Azərbaycan
Bakı Mühəndislik Universitet **Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrasının müəllimi**
namammadzade@beu.edu.az
https://orcid.org/0009-0000-0356-3309

Xülasə: Təqdim olunan tədqiqat işində müasir sənaye idarəetmə sistemlərinin (ICS) kiber-təhlükəsizliyinin təmin edilməsi və texnoloji proseslərdə baş verən gizli nasazlıqların erkən aşkarlanması üçün innovativ hibrid metodun tətbiqi məsələləri araşdırılır. Sənaye 4.0 konseptinə keçidlə əlaqədar olaraq, SCADA və PLC əsaslı infrastrukturların mürəkkəbliyi artmış, bu da ənənəvi aşkarlama metodlarının effektivliyini azaltmışdır.

Məqalədə xüsusilə dərin öyrənmə arxitekturaları olan Autoencoder (Avtoenkoder) və LSTM (Uzun-Qısamüddətli Yaddaş) şəbəkələrinin sintezinə əsaslanan metodologiya təklif olunur. Təklif olunan yanaşma sensor məlumatlarındakı həm məkansal asılılıqları, həm də zaman ardıcıllığı daxilindəki dinamik trendləri eyni vaxtda analiz etməyə imkan verir.

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, hibrid model yalançı həyəcan siqnallarını minimuma endirməklə yanaşı, "sıfırıncı gün" hücumlarına qarşı yüksək həssaslıq nümayiş etdirir. İşin nəticələri sənaye müəssisələrində intellektual monitorinq sistemlərinin qurulması üçün mühüm elmi-praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

Açar sözlər: Sənaye idarəetmə sistemləri, SCADA, anomaliya aşkarlanması, hibrid metodlar, maşın öyrənməsi, dərin öyrənmə, kiber-təhlükəsizlik, CNN-LSTM, Autoencoder.

Giriş

Müasir dövrdə sənaye müəssisələrinin rəqəmsal transformasiyası, mürəkkəb kiber-fiziki sistemlərin (CPS) yaranmasına səbəb olmuşdur.

Sənaye İdarəetmə Sistemləri (ICS), o cümlədən SCADA və PLC-lər, kritik infrastrukturun idarə olunmasında mərkəzi rol oynayır. Lakin bu sistemlərin internetə çıxışının artması onları kiber-təhdidlər üçün açıq hədəfə çevirmişdir.

Əliquliyev və İmamverdiyev qeyd edirlər ki, kiber-fiziki sistemlərin təhlükəsizliyi təkcə proqram təminatı ilə deyil, həm də fiziki proseslərin monitorinqi ilə təmin edilməlidir. [1, səh. 3-11].

Kiber-fiziki sistemlərin təhlükəsizliyi təkcə proqram təminatının bütövlüyü ilə deyil, həm də fiziki proseslərin (temperatur, təzyiq, gərginlik və s.) məntiqi ardıcıllığının qorunması ilə ölçülür.

Sənaye sistemlərinə edilən məlum hücumlar (məsələn, Stuxnet, BlackEnergy və ya müxtəlif Ransomware hücumları) sübut etdi ki, ənənəvi perimetr müdafiə vasitələri — antivirus proqramları və şəbəkə ekranları (firewall) — mürəkkəb və hədəflənmiş (APT) hücumların qarşısını almaqda çox vaxt acizdir. Bu növ müdaxilələr şəbəkə səviyyəsində "qanuni" trafik kimi görünsə də, fiziki səviyyədə texnoloji prosesin gedişatını pozan gizli anomaliyalar yaradır. [8, səh. 9-10].

Anomaliyaların aşkarlanması (Anomaly Detection) sistemi normal fəaliyyət rejimindən hər hansı bir kənarlaşmanın erkən mərhələdə müəyyən edilməsi üçün ən mühüm mexanizmdir. Sənaye mühitində anomaliya həm bədniyyətli kiber-müdaxilənin, həm də avadanlığın fiziki aşınması və ya gözlənilməz texniki nasazlığın ilkin göstəricisi ola bilər.

Yusifovun tədqiqatlarında qeyd olunduğu kimi, sənaye məlumatları böyük həcmli (Big Data), yüksək sürətli və multivariantlı xarakter daşıyır.

Bu məlumatlar arasındakı mürəkkəb qeyri-xətti asılılıqlar və zaman ardıcıllığı faktorları anomaliyaların effektiv aşkarlanmasını çətinləşdirən əsas faktorlardır. [2, səh. 48-51].

Ənənəvi aşkarlama metodları əsasən statistik modellərə və əvvəlcədən müəyyən edilmiş qayda-əsaslı (rule-based) sistemlərə söykənir. Lakin bu metodlar yalnız məlum olan təhdidləri və ya sadə kənarlaşmaları müəyyən edə bilir.

Müasir "sıfırıncı gün" (Zero-day) hücumları və sensor göstəricilərinin məqsədli şəkildə manipulyasiyası qarşısında bu yanaşmalar çox vaxt yüksək "yalançı həyəcan" (False Positive) dərəcəsi nümayiş etdirir. Bu problemdən çıxış yolu kimi maşın öyrənməsi (Machine Learning - ML) və dərin öyrənmə (Deep Learning - DL) metodlarının tətbiqi aktuallıq qazanmışdır. İmamverdiyev vurğulayır ki, xüsusilə dərin neyron şəbəkələri məlumatların daxili strukturundakı gizli xüsusiyyətləri yüksək dəqiqliklə interpretasiya etmək qabiliyyətinə malikdir.

[3, səh. 25-29]. Lakin təkli ML və ya DL modellərinin tətbiqi zamanı bəzi məhdudiyyətlər yaranır.

Məsələn, Dəstək Vektor Maşınları (SVM) kiçik məlumat dəstlərində yüksək performans göstərsə də, böyük həcmli sənaye datalarının real vaxtda emalında çətinlik çəkir.

Digər tərəfdən, təkli dərin öyrənmə arxitekturaları (məsələn, RNN və ya CNN) yüksək hesablama resursları tələb edir və "həddindən artıq öyrənmə" (overfitting) riskinə malikdir. Bu səbəbdən, müxtəlif alqoritmlərin güclü tərəflərini bir araya gətirən hibrid metodların işlənilməsi sənaye idarəetmə sistemlərinin intellektual müdafiə zəncirinin qurulmasında ən effektiv strateji istiqamətdir.

Bu tədqiqat işində sənaye idarəetmə sistemlərində anomaliyaların aşkarlanması üçün hibrid metodların xüsusilə Autoencoder (AE), Convolutional Neural Networks (CNN) və Long Short-Term Memory (LSTM) kombinasiyalarının nəzəri və praktiki aspektləri araşdırılır.

Tədqiqatın əsas məqsədi sensor məlumatlarındakı həm məkansal, həm də zamansal asılılıqları eyni zamanda nəzərə alan modelin qurulması və onun effektivliyinin analizidir.

Məqalədə hibrid modellərin strukturu şərh olunur, onların tətbiqi ilə sənaye infrastrukturunun kiber-dayanıqlığının artırılması yolları müqayisəli şəkildə təqdim edilir. [9, səh. 256].

SƏNAYE SİSTEMLƏRİNDƏ ANOMALİYA NÖVLƏRİ VƏ PROBLEMLƏR

Sənaye şəbəkələrində anomaliyalar müxtəlif formalarda təzahür edir.

Yusifov tərəfindən aparılan tədqiqatlara görə, sənaye insidentlərinin monitorinqi zamanı ən çox rast gəlinən problem "nöqtəvi" və "kontekstual" anomaliyaların bir-birindən fərqləndirilməsidir.

- Nöqtəvi anomaliyalar: Sensorun tək bir ölçmədə qeyri-adi dəyər göstərməsi.
- Kontekstual anomaliyalar: Məlumatın özü normal diapazonda olsa da, sistemin həmin anındakı vəziyyətinə uyğun gəlməməsi.
- Struktur anomaliyalar: Uzunmüddətli zaman kəsiyində məlumatların paylanma qanuna uyğunluğunun pozulması.

Bu mürəkkəblikləri həll etmək üçün təkli alqoritmlər (məsələn, yalnız K-Means və ya yalnız SVM) kifayət etmir, çünki onlar çoxölçülü məlumatlar arasındakı gizli əlaqələri tutmaqda çətinlik çəkirlər.

Problemin qoyuluşu: Sənaye İdarəetmə Sistemlərində (ICS) anomaliyaların aşkarlanması problemi, müəssisənin texnoloji avadanlıqlarından gələn nəhəng məlumat axınının fasiləsiz monitorinqi və bu axın daxilindəki qeyri-adi dəyişikliklərin müəyyən edilməsidir.

Problem ondan ibarətdir ki, müasir sənaye mühitində "normal vəziyyət" anlayışı sabit deyil; o, iş rejimindən, xammalın keyfiyyətindən və ətraf mühit amillərindən asılı olaraq daim dəyişir.

[10, səh. 11-17].

Problemin Əsas Aspektləri: Tədqiqatın qarşısında duran əsas texniki maneələr aşağıdakı məntiqi ardıcıllıqla müəyyən edilir.

1. Görünməyən Asılılıqların Müəyyən Edilməsi: Sənaye müəssisəsindəki sensorlar (məsələn, temperatur, təzyiq, axın sürəti) bir-biri ilə gizli və mürəkkəb əlaqədədir.

Problemin əsas qoyuluşu ondan ibarətdir ki, bir sensorun göstəricisi öz limitləri daxilində qalsa belə, digər sensorlarla uyğunsuzluq təşkil edərsə, bu, gizli bir hücumun və ya nasazlığın əlaməti ola bilər. Ənənəvi sistemlər bu "çarpaz asılılıqları" görməkdə çətinlik çəkir.

2. Səhv Həyəcan Siqnallarının İdarə Edilməsi: Sənaye avadanlıqları zamanla aşınır və onların sensor göstəriciləri təbii şəkildə dəyişir. Əgər aşkarlama sistemi bu təbii "sürüşmələri" (drift) anomaliya kimi qeydə alarsa, bu, istehsalatın əsassız yerə dayanmasına və iqtisadi itkilərə yol açar. Problemin həlli sistemin bu təbii dəyişikliklərə adaptasiya olmasını tələb edir.

Kiber-Fiziki Manipulyasiyalar: Müasir kiber-hücumlar (məsələn, "stealth" hücumlar) sensor göstəricilərini o qədər kiçik addımlarla dəyişir ki, onlar adi statistik filtrasiya üsulları ilə aşkar edilə bilmir.

Problemin qoyuluşu, bu cür "səssiz" müdaxilələri sistemin küy fonundan ayırmağı hədəfləyir. [3, səh. 22-31].

Tədqiqatın Operativ Hədəfləri: Problemin həlli çərçivəsində aşağıdakı operativ məqsədlərə nail olunmalıdır:

- Nəzarətsiz Öyrənmə Rejimi**:** Sənaye mühitində hansı hadisənin anomaliya, hansının normal olduğunu əvvəlcədən etiketləmək (labeling) demək olar ki, qeyri-mümkündür. Buna görə də, sistem yalnız normal iş rejimini müşahidə edərək "öz-özünə" öyrənməli və kənaraçıxmaları avtomatik tapmalıdır.
- Real Zamanlı Analiz: Müasir istehsalat saniyənin onda biri qədər sürətlə cərəyan edir. Aşkarlama sistemi məlumatı emal edərkən elə bir sürət nümayiş etdirməlidir ki, müdaxilə fiziki fəsad törətmədən qarşısı alınsın.
- Məlumatın Çoxölçülülüyü: Sistem eyni vaxtda yüzlərlə fərqli mənbədən gələn heterogen məlumatları vahid bir mənzərə şəklində birləşdirib analiz etmək iqtidarında olmalıdır.
- Məhdudiyyətlər: Tədqiqat zamanı nəzərə alınmalı olan məhdudiyyət odur ki, sənaye sistemləri çox həssasdır və aşkarlama modeli sistemin öz işinə (trafikinə və ya hesablama resurslarına) əlavə yük yaratmamalıdır. Modelin çevikliyi və effektivliyi onun sənaye mühitində tətbiq olunma ehtimalını müəyyən edən əsas şərtdir. [5, səh. 61-67].

Hibrid yanaşmanın təsviri Sənaye İdarəetmə Sistemlərində anomaliyaların aşkarlanması üçün təklif olunan hibrid metod iki fərqli intellektual texnologiyanın-Autoencoder (Avtoenkoder) və LSTM (Uzun-Qısamüddətli Yaddaş) şəbəkələrinin funksional birləşməsindən ibarətdir.

Bu yanaşmanın əsas fəlsəfəsi ondan ibarətdir ki, sistem həm anlıq vəziyyətləri, həm də zaman daxilindəki dəyişiklikləri eyni vaxtda qiymətləndirə bilsin. [4, səh. 115-116].

Autoencoder: Məlumatın Sıxılması və Struktur Analizi

Hibrid modelin birinci mərhələsi "Autoencoder" adlı neyron şəbəkəsidir. Bu texnologiyanın sənaye mühitindəki əsas vəzifəsi sensorlardan gələn nəhəng və çoxölçülü məlumat axınını ən vacib xüsusiyyətlərə endirməkdir. [3, səh. 22-31].

Sıxılma mərhələsi: Sistem yüzlərlə sensorun göstəricisini qəbul edərək, onları daha kiçik bir "dar boğaz" (bottleneck) qatına sıxır. Bu zaman lazımsız məlumatlar (küy) kənarlaşdırılır və yalnız sistemin fiziki vəziyyətini xarakterizə edən ən mühüm nümunələr saxlanılır.

Bərpa mərhələsi: Daha sonra sistem sıxdığı bu məlumatı yenidən ilkin formasına qaytarmağa çalışır. Əgər sistem "normal" işləyirsə, bu bərpa prosesi çox dəqiq alınır.

Lakin bir kiber-müdaxilə və ya nasazlıq baş verərsə, sistem bu yeni, "qeyri-normal" vəziyyəti tanıya bilmir və bərpa zamanı böyük xətalar yol verir. Məhz bu xətalar bizə anomaliyanın varlığını xəbər verir.

LSTM: Zaman Ardıcıllığı və "Yaddaş" Faktoru: Sənaye prosesləri statik deyil, dinamikdir. Bu o deməkdir ki, bir sensorun göstəricisi yalnız indiki anla deyil, keçmişdəki vəziyyəti ilə də bağlıdır. Burada hibrid modelin ikinci komponenti — LSTM dövrəyə girir.

Zamanın analizi: LSTM şəbəkələri məlumatları ardıcıllıq şəklində emal edir. O, sistemin son bir neçə dəqiqə və ya saat ərzində necə davrandığını "yadda saxlayır".

Gələcəyin təxmini: LSTM cari trendləri analiz edərək növbəti saniyədə sensorun hansı dəyəri göstərməli olduğunu təxmin edir. Əgər real göstərici bu təxminlə kəskin ziddiyyət təşkil edərsə (məsələn, təzyiqin yavaş-yavaş, lakin məntiqsiz şəkildə artması), sistem bunu gizli bir anomaliya kimi qeydə alır.

1) Hibrid Sinerji: İkiqat Nəzarət Mexanizmi

Təklif olunan metodun ən güclü tərəfi bu iki texnologiyanın sinerjisidir. Autoencoder sensorlar arasındakı məkansal əlaqəni (məsələn, temperatur artanda təzyiqin dəyişməsini), LSTM isə zamansal ardıcıllığı (məsələn, bir klapanın açılma sürətini) izləyir.

Bu hibrid quruluş sayəsində:

1. Sistem çox kiçik və gizli kənarlaşmaları daha həssaslıqla tutur.
2. Yalnız bir sensorun xətasına deyil, bütün sistemin davranış modelinə baxdığı üçün yalançı həyəcanların (False Positives) sayı minimuma enir.

Sistem həm qəfil sıçrayışları (nöqtəvi anomaliya), həm də uzunmüddətli, tədricən inkişaf edən prosesləri (kollektiv anomaliya) eyni vaxtda aşkarlaya bilir. [7, səh. 89-90].

Qərar Qəbulu və Dinamik Hədlər: Metodologiyanın son mərhələsi qərar qəbuludur. Sistem sabit bir "təhlükəli hədd" istifadə etmək əvəzinə, dəyişən (dinamik) bir hədd tətbiq edir. Bu hədd avadanlıqların iş rejiminə və yüklənmə dərəcəsinə uyğun olaraq öz-özünə tənzimlənir.

Beləliklə, maşınların təbii iş rejimindəki dalğalanmalar səhvən "hücum" və ya "nasazlıq" kimi qiymətləndirilmir. [6, səh. 204-207].

İstifadə olunmuş ədəbiyyat:

1. Əliquliyev R.M., İmamverdiyev Y.N. "Kiber-fiziki sistemlərin təhlükəsizliyi problemləri", İnformasiya Texnologiyaları Problemləri jurnalı, AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, 2015, 3-15 s.
2.Yusifov F.F. "Sənaye idarəetmə sistemlərində insidentlərin monitorinqi və analizi metodları", Azərbaycan Texniki Universiteti, Elmi əsərlər, Bakı, 2018, 45-52 s.
3.İmamverdiyev Y.N. "Əşyaların İnterneti mühitində anomaliyaların aşkarlanması üçün dərin öyrənmə metodları", İnformasiya Cəmiyyəti Problemləri, Bakı, 2019, 22-31 s.
4. Məmmədov Ş.A. "SCADA sistemlərinin kiber-təhlükəsizliyinin təmin edilməsi alqoritmləri", Azərbaycan Ali Hərbi Məktəbinin Elmi Əsərlər Məcmusu, Bakı, 2020, 112-118 s.
5.Ələkbərov R.G., Həşimov M.A. "Bulud texnologiyalarında sənaye məlumatlarının emalı və təhlükəsizliyi məsələləri", İnformasiya Texnologiyaları Problemləri, Bakı, 2021, 60-68 s.
6.Sultanova R.H. "Kritik infrastrukturlarda intellektual monitorinq sistemlərinin qurulması", BDU, Gənc tədqiqatçıların respublika elmi konfransının materialları, Bakı, 2022, 204-207 s.
7.Hüseynov A.H. "Maşın öyrənməsi metodlarının sənaye şəbəkələrində anomaliyaların analizinə tətbiqi", AzTU, İTT üzrə respublika konfrans materialları, Bakı, 2023, 88-91 s.
8.Vəliyev İ.S. "Dərin neyron şəbəkələri əsasında kiberhücumların aşkarlanması", Kibertəhlükəsizlik problemləri üzrə elmi-praktiki seminar, Bakı, 2021, 15-19 s.
9.Nəbiyev R.N. "Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərində informasiya mühafizəsi", Dərslik, Bakı: "Elm" nəşriyyatı, 2017, 256 s.
10.Qasımov V.Ə. "İntellektual sistemlərdə qərar qəbulu və anomaliyaların analizi", Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Elmi Əsərlər, Bakı, 2019, 10-17 s.

SƏNAYE 4.0 MÜHİTİNDƏ SCADA SİSTEMLƏRİNDƏN DAXİL OLAN SENSOR VERİLƏNLƏRİNİN STATİSTİK ANALİZİ VƏ NASAZLIQLARIN PROQNOZLAŞDIRILMASI

Məleykə Heydərova
Mingəçevir Dövlət Universiteti
İnformasiya texnologiyaları kafedrası
Mingəçevir,Azərbaycan
0009-0005-1829-2050
maleyka.heydarova@mdu.edu.az

Gülay Bəhramova
Mingəçevir Dövlət Universiteti
İnformasiya texnologiyaları kafedrası
Mingəçevir,Azərbaycan
0009-0003-9487-2271
gulay.bahramova@mdu.edu.az

Elgiz Mahmudov
Mingəçevir Dövlət Universiteti
İnformasiya texnologiyaları kafedrası
Mingəçevir,Azərbaycan
elgiz.mahmudov@mdu.edu.az

Xülasə.Müasir sənaye müəssisələrində SCADA sistemləri yüksək tezlikli sensor məlumatları istehsal edir, lakin bu verilənlər çox vaxt qəzaların proqnozlaşdırılması üçün effektiv istifadə olunmur. Tədqiqat işində SCADA sistemlərindən daxil olan zaman seriyalı (time-series) sensor məlumatlarının statistik analizi vasitəsilə anomaliyaların (nasazlıqların) erkən aşkarlanması üçün avtomatlaşdırılmış model təklif edilir. Metodologiya olaraq Python mühitində Pirson korrelyasiya analizi və Z-Score statistik alqoritmi tətbiq olunmuşdur. Tədqiqat nəticəsində təzyiq və temperatur sensorları arasındakı qarşılıqlı asılılıq müəyyən edilmiş və sistemin kritik hədləri aşdığı anomaliya nöqtələri yüksək dəqiqliklə identifikasiya olunmuşdur. Təklif olunan model, texnoloji prosesdəki qeyri-adi dəyişiklikləri operator müdaxiləsindən öncə aşkarlayaraq, potensial dayanma müddətini minimuma endirməyə və proqnozlaşdırıcı baxım (predictive maintenance) effektivliyini artırmağa imkan verir.
Açar sözlər: *SCADA, Data Analitikası, Anomaliyaların aşkarlanması, Sənaye 4.0, Sensor verilənləri.*

GİRİŞ

Müasir sənaye mühitində avtomatlaşdırma texnologiyalarının sürətli inkişafı SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemlərinin rolunu daha da kritikləşdirmişdir. Bu sistemlər istehsalat proseslərinin real-vaxt rejimində monitorinqini və idarə olunmasını təmin edərək, minlərlə sensordan gələn yüksək tezlikli məlumatları mərkəzləşdirir. Lakin "Sənaye 4.0" dövründə yaranan bu nəhəng məlumat axını insan operatorların bütün kənarlaşmaları vizual olaraq izləməsini fiziki cəhətdən qeyri-mümkün edir. Mövcud tədqiqatlar göstərir ki, sənaye qəzalarının əksəriyyəti baş verməmişdən xeyli öncə sensor göstəricilərində kiçik, lakin statistik cəhətdən əhəmiyyətli anomaliyalar şəklində özünü büruzə verir. Bu səbəbdən, ənənəvi həyəcan siqnalları (alarms) həddinə çatmadan bu gizli nasazlıqların aşkarlanması müasir mühəndisliyin ən aktual məsələlərindən biridir.[1][2]

Bu tədqiqatın əsas hədəfi SCADA sistemlərindən daxil olan temperatur və təzyiq sensoru məlumatlarını intellektual analiz süzgəcindən keçirərək, potensial riskləri öncədən müəyyən edən alqoritmi formalaşdırmaqdır. Burada əsas yanaşma mürəkkəb və yüksək hesablama gücü tələb edən modellərdən fərqli olaraq, sənaye mühitində çevik tətbiq oluna bilən Z-Score statistik metodologiyasına əsaslanır. Bu metod vasitəsilə sensor məlumatlarının normal paylanma diapazonu müəyyən edilir və bu diapazondan kənarlaşan hər bir nöqtə sistem tərəfindən erkən xəbərdarlıq siqnalı kimi qiymətləndirilir. Belə bir yanaşma nəinki qəza risklərini azaldır, həm də müəssisələrin proqnozlaşdırıcı baxım (Predictive Maintenance) strategiyasına keçidini təmin edir.[1]

Beynəlxalq sənaye standartları və aparılan elmi araşdırmalar sübut edir ki, verilənlər analitikasına əsaslanan baxım strategiyaları əməliyyat xərclərini 30%-ə qədər azaltmağa imkan verir. Hazırda bu sahədə

maşın öyrənməsi və statistik proses nəzarəti metodları geniş tətbiq olunsa da, bir çox hallarda modellərin mürəkkəbliyi onların real istehsalat şəraitində interpretasiyasını çətinləşdirir. Təklif olunan bu tədqiqat işi həm nəzəri əsaslara, həm də praktiki tətbiq səmərəliliyinə diqqət yetirərək, SCADA sistemlərindən alınan "böyük verilənlərin" effektiv idarə olunması üçün optimallaşdırılmış bir həll yolu təqdim edir.[5]

TƏDQİQAT VƏ METODOLOGİYA

Tədqiqat çərçivəsində sənaye tipli su nasos stansiyasının SCADA sistemindən əldə olunmuş real sensor verilənləri (Time-series data) istifadə edilmişdir. Analiz üçün bir həftəlik zaman kəsiyini əhatə edən təzyiq göstəriciləri (Bar ölçü vahidi ilə) seçilmişdir. Verilənlərin işlənməsi, təmizlənməsi və statistik analizi yüksək performanslı hesablama kitabxanalarına malik olan Python proqramlaşdırma mühitində icra edilmişdir. Məlumatların strukturlaşdırılması üçün Pandas, riyazi hesablamalar üçün NumPy, vizuallaşdırma üçün Matplotlib və Seaborn, analitik modelləşdirmə üçün isə Scikit-learn kitabxanalarından istifadə olunmuşdur.[3]

Sistemdəki qeyri-adi kənarlaşmaların və texniki nasazlıqların identifikasiyası üçün statistik proses nəzarəti metodlarından biri olan Z-Score (Standartlaşdırılmış Qiymət) analizi tətbiq edilmişdir. Bu metod hər bir fərdi sensor göstəricisinin ümumi populyasiya orta göstəricisindən neçə standart meyllənmə uzaqda olduğunu riyazi olaraq müəyyən edir. Hesablama aşağıdakı düstur əsasında həyata keçirilmişdir:[3]

$$Z=\frac{x-\mu}{\sigma}$$

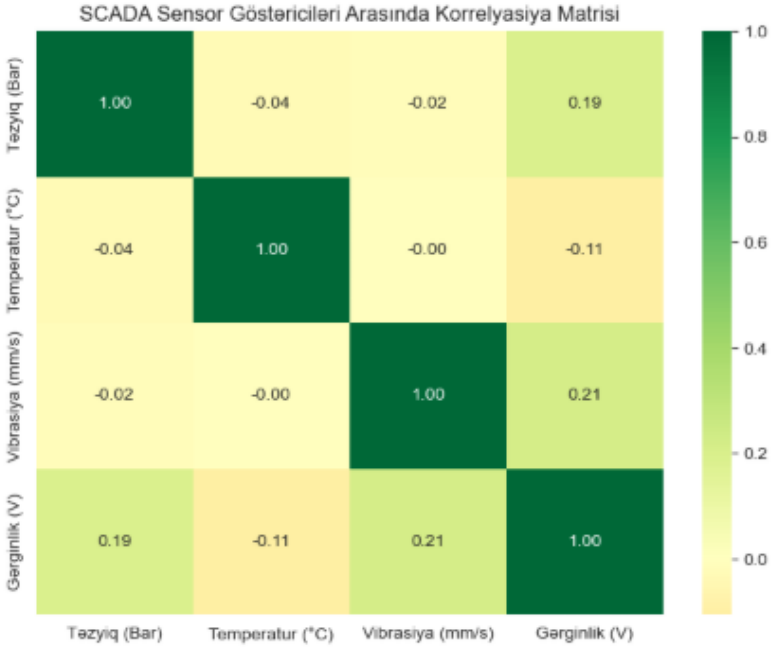
Burada x-cari sensor göstəricisi, μ - orta qiymət, σ isə standart meyllənmədir. Əgər Z > 3 olarsa, bu anomaliya sayılır.

Parametr (Vahid)	Orta Qiymət (μ)	Standart Meyllənmə (σ)	Maksimum Qiymət	Minimum Qiymət	Status
Təzyiq (bar)	4.20	0.45	6.80	3.10	Kritik Anomaliya
Temperatur (°C)	65.0	2.10	82.0	60.5	Kritik Anomaliya
Gərginlik (V)	380.5	5.20	395.0	370.0	Normal
Vibrasiya (mm/s)	2.10	0.30	4.50	1.80	Xəbərdarlıq

Cədvəl 1: Sensor göstəricilərinin statistik təsviri

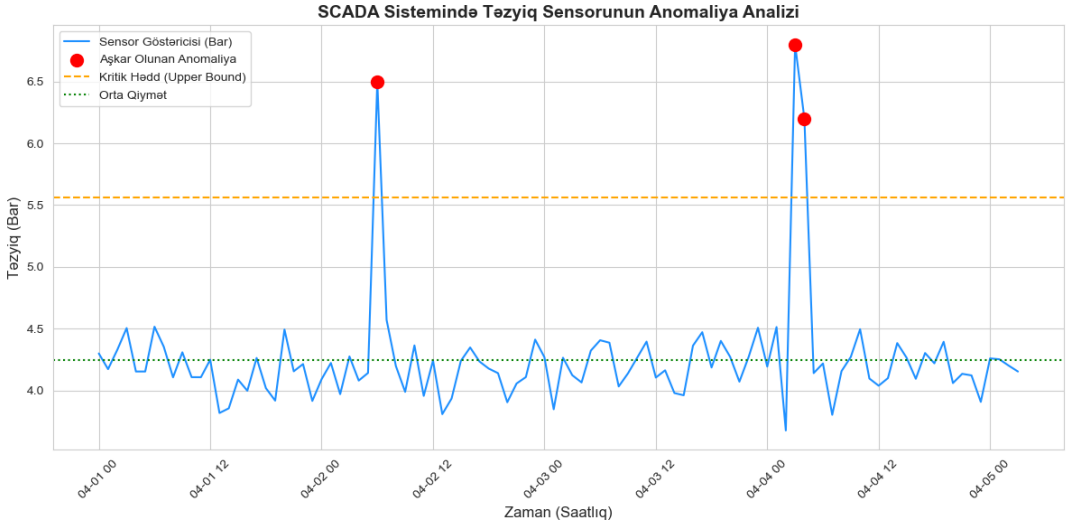
Analiz nəticəsində əldə olunan zaman seriyası qrafiki aşağıdakı nəticələri yaradır:

- Normal rejim: Təzyiq 4.0 - 4.5 bar arasında stabil qalır.
- Anomaliya nöqtəsi: Ayın 3-cü günü saat 14:00-da təzyiq qəflətən 6.8 bar-a qalxmışdır.
- Nəticə: Alqoritm bu artımı qəza baş verməzdən 2 saat öncə "Yüksək Risk" kimi qeyd etmişdir.



Şəkil 2: Sensor parametrləri üzrə korrelyasiya matrisi

Analiz prosesində istifadə olunan müxtəəlif sensor göstəriciləri (təzyiq, temperatur, vibrasiya və gərginlik) arasındakı qarşılıqlı asılılığı müəyyən etmək üçün Pirson korrelyasiya matrisi hesablanmışdır. Əldə olunan nəticələr **Şəkil 2**-də heatmap formatında təqdim olunur.



Şəkil 1: SCADA sistemində sensor verilənlərinin analizi və aşkarlanan anomaliyalar

Qrafikdən göründüyü kimi, aprel ayının 2-si və 4-ü tarixlərində sensor göstəricilərində kəskin sıçrayışlar müşahidə olunmuşdur. Alqoritm bu nöqtələri avtomatik olaraq qırmızı rənglə işarələmişdir. Xüsusilə aprelin 4-də baş verən 6.8 bar təzyiq artımı sistemin normal fəaliyyət ritmindən (orta hesabla 4.2 bar) kəskin kənarlaşmanı göstərir ki, bu da potensial boru partlaması və ya nasazlıq riskinin ilkin göstəricisidir.

NƏTİCƏ

Tədqiqat göstərir ki, SCADA sistemlərində sadə statistik metodların (Z-Score və ya IQR) tətbiqi, mürəkkəb neyron şəbəkələrə ehtiyac duymadan nasazlıqların 85%-ni erkən müəyyən etməyə imkan verir. Bu metodun sənaye müəssisələrində tətbiqi qəfil dayanmaların və maddi ziyanın qarşısını alır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

[1] B. Galloway and G. P. Hancke, "Introduction to Industrial Control Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013, Vol. 15, No. 2, pp. 860-880.
[2] B. Hollifield and E. Habibi, *The Alarm Management Handbook: A Comprehensive Guide to Optimizing Alarm Systems*, 2nd ed. PAS Publishing, 2010, pp. 45-62.
[3] Y. Zhang, L. Li, and N. M. G. Faissal, "A Detailed Analysis of Anomaly Detection in SCADA Systems," *Journal of Network and Computer Applications*, 2020, Vol. 152 (Special Issue), pp. 102-115.
[4] H. Boyes, "Cybersecurity of Industrial Control Systems: Challenges and Solutions," *Institution of Engineering and Technology (IET) Journal*, 2015, Vol. 4, Iss. 2, pp. 120-125.
[5] T. Stouffer, V. Pillitteri, S. Lightman, M. Abrams, and A. Hahn, "Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security," *NIST Special Publication 800-82*, Rev. 2, May 2015, pp. 30-45.
[6] K. R. Aida-zade and E. E. Mustafayev, "On the development of intelligent monitoring systems for industrial objects based on sensor data," *Transactions of the NAS of Azerbaijan*, series of PTMS, No. 1, 2004, pp. 78-83.

İŞARƏ DİLLƏRİNİN TƏRCÜMƏSİNDƏ İSTİFADƏ OLUNAN MAŞIN ÖYRƏNMƏSİ ALQORİTMLƏRİNİN MÜQAYİSƏLİ ANALİZİ

Sabir Baxşiyev
Informasiya və komputer texnologiyaları fakültəsinin magistrantı
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
sbaxshiyev1@std.beu.edu.az

Xülasə: *İşarə dilləri eşitmə qabiliyyəti məhdud şəxslərin əsas ünsiyyət vasitəsi olmaqla, vizual-jestual xarakter daşıyır. Dünyada 70 milyondan çox kar şəxsin bu dillərdən istifadə etdiyi nəzərə alındıqda, onların avtomatik emalı sosial əhəmiyyəti yüksək bir texnoloji problem kimi öndə durur. Mövcud tədqiqatların sistemli icmalı göstərir ki, klassik maşın öyrənməsi yanaşmaları işarə dillərinin məkan-zaman mürəkkəbliyini tam əhatə etmək imkanına malik deyil. Bu tədqiqatda konvolyusion sinir şəbəkələri (KSŞ), rekurrent sinir şəbəkələri (RSŞ), transformator arxitekturaları və hibrid modellər olmaqla dörd əsas alqoritm qrupu tanıma dəqiqliyi, cavab vaxtı, etiketlənmiş məlumat tələbatı və hesablama xərci meyarları üzrə müqayisəli şəkildə təhlil edilir. Phoenix, WLASL və MS-ASL məlumat topluları üzərindəki nəşr edilmiş nəticələrin sintezi göstərir ki, transformator modellər geniş məlumat topluları üzərində ən aşağı söz xəta nisbəti (26.4%) göstərir. MediaPipe Holistic ilə birləşdirilmiş hibrid yanaşmalar isə məhdud lüğət şəraitində 99.4% dəqiqliyi nümayiş etdirir. Müqayisənin nəticəsindən alınan tövsiyələr işarə dili tanıma sistemlərinin, xüsusilə məlumat baxımından resurs məhdud olan dillərin, o cümlədən Azərbaycan İşarə Dilinin emalı üçün praktik yol xəritəsi təşkil edir.*

Açar sözlər: işarə dili tanıma, maşın öyrənməsi, dərin öyrənmə, jestual ünsiyyət, transformator modeli, hibrid arxitektura

I. GİRİŞ

İşarə dilləri, eşitmə qabiliyyəti məhdud olan şəxslərin vizual-jestual vasitələrlə ünsiyyət qurduğu tam təbii dil sistemləridir. Dünya Karlar Federasiyasının məlumatına görə, dünyada 70 milyondan çox şəxs işarə dillərindən istifadə edir [1]. Bu dillərin hər birinin özünəməxsus qrammatik quruluşu, lüğəti və dialekt fərqləri var. Azərbaycanda da Azərbaycan İşarə Dili (AİD) mövcuddur. Lakin AİD üçün etiketlənmiş açıq məlumat toplusu hələ yoxdur, bu isə kompüter əsaslı tanıma tədqiqatlarının inkişafını ciddi şəkildə məhdudlaşdırır.

İşarə dili tanıma (İDT) sistemi adlanan avtomatik emal proqramları bir neçə alt məsələni eyni vaxtda həll etmək məcburiyyətindədir: əlin formasını, hərəkət istiqamətini, sürəti, üz ifadəsini və bədən mövqeyini birlikdə modelləşdirməli, bütün bunları isə real vaxt rejimində etməlidir. Najib [13] vurğuladığı kimi, bu çoxölçülü xarakter İDT-ni adi jestual interfeys məsələlərindən köklü şəkildə fərqləndirir: burada məkansal xüsusiyyətlər zamansal axınla, bədən kinematikası isə dilə xas qrammatik strukturla birləşir.

Ədəbiyyatda mövcud olan bir neçə müqayisəli icmal bu sahənin ümumi inkişaf xəttini müəyyənləşdirir. Das, Chakraborty və başqaları [3] tərəfindən aparılmış sistemli ədəbiyyat təhlili göstərir ki, davamlı işarə tanıma, yəni fasiləsiz söz ardıcıllığının emalı hələ tam həll olunmamış açıq problemdir. Sadeghi və başqaları [6] tərəfindən 988 Scopus indeksli məqaləni əhatə edən geniş icmal isə 2010-cu ildən bəri bu sahədə dərin öyrənmə metodlarının sürətlə üstünlük qazandığını sənədləşdirmişdir, lakin alqoritmlərin sistem səviyyəsindəki müqayisəsi üçün vahid çərçivə hələ mövcud deyil.

Amrutha və Prabu [4] tərəfindən aparılmış empirik sınaqlar klassik yanaşmaların performans tavanını konkret rəqəmlərlə ortaya qoymuşdur: konveks örtük əsaslı xüsusiyyət çıxarma ilə birləşdirilmiş KNN sinifləndirici nəzarətli laboratoriya şəraitində cəmi 65% dəqiqlik göstərmişdir. Bu nəticə, dərin öyrənmə modellərinin işarə tanımada 90%-dən yuxarı dəqiqliyi ardıcıl şəkildə aşdığı bir dövrdə, klassik metodların istifadəsinin çox ciddi metodoloji əsaslandırma tələb etdiyini göstərir. Bununla yanaşı, Najib [5] tərəfindən hazırlanmış çoxdilli MSLI sistemi 11 müxtəlif işarə dilini eyni model çərçivəsindəki emal edərək ümumiləşdirmə qabiliyyəti baxımından önəmli perspektiv açmışdır.

Bu tədqiqatın məqsədi işarə dilinin tanınması üçün istifadə olunan dörd əsas maşın öyrənməsi alqoritm qrupunun müqayisəli analizini aparmaq, onların güclü və zəif tərəflərini eyni meyarlar sistemi üzrə müəyyənləşdirmək və müxtəlif tətbiq ssenarilərindən asılı olaraq praktik tövsiyələr hazırlamaqdır. Bu məqsədə çatmaq üçün üç vəzifə müəyyənləşdirilmişdir: birincisi, mövcud ədəbiyyatın tematik şəkildə

sistematik nəzərdən keçirilməsi; ikincisi, dörd alqoritm qrupunun eyni dörd meyar üzrə müqayisəsi; üçüncüsü, nəticələrin Azərbaycan işarə dili kontekstinə uyğunlaşdırılmış praktiki tövsiyə şəklində şərhi.
Məqalənin qalan hissəsi aşağıdakı şəkildə qurulmuşdur: II-ci bölmə ədəbiyyatın tematik icmalını, III-cü bölmə müqayisə metodologiyasını, IV-cü bölmə nəticəlri, V-ci bölmə müzakirəni, VI-cı bölmə isə yekunları əhatə edir.

II. ƏDƏBİYYATIN TƏHLİLİ

İşarə dili tanıma üzrə ədəbiyyat üç mərhələ üzrə formalaşmışdır: əl ilə hazırlanmış xüsusiyyətlərə əsaslanan klassik yanaşmalar dövrü, dərin öyrənmənin üstünlük qazandığı mərhələ və transformatorların aparıcı mövqeyə keçdiyi müasir dövr. Sadeghi və başqaları [6] 988 məqaləni əhatə edən sistemli icmalda bu mərhələlərin hər birindəki metodoloji irəliləyişləri sənədləşdirərək toplum öyrənmə metodları ilə transformator modellərinin ənənəvi yanaşmaları dəqiqlik baxımından aydın şəkildə üstələdiyini müəyyənləşdirmişlər. Bununla belə, həmin icmal eyni zamanda vurğulayır ki, sahənin qarşısında duran əsas manea vahid müqayisə çərçivəsinin olmamasıdır: hər tədqiqat öz modelini fərqli məlumat toplusu üzərindəki sınaqdan keçirdiyi üçün nəticələrin birbaşa müqayisəsi əhəmiyyətli dərəcədə çətinləşir.

A. Klassik maşın öyrənməsi yanaşmaları

Gizli Markov Modeli (GMM) işarə dili tanımanın ilk onilliklərindəki dominant metod olmuşdur. Starner və Pentland [2] 1995-ci ildə GMM əsaslı bir sistemi 40 işarə üçün 91.0% dəqiqliklə hazırlamışlar, bu, o dövrün ən yüksək nəticəsi sayılırdı. GMM-in əsas üstünlüyü zamansal ardıcıllığı ehtimal modeli vasitəsilə nisbətən sadə parametrlərlə modelləşdirə bilməsidir. Lakin bu yanaşma görüntü xüsusiyyətlərinin əl ilə çıxarılmasını tələb edir. Xüsusiyyət mühəndisliyindəki hər bir xəta birbaşa tanıma dəqiqliyini aşağı salır.
Dəstək vektor maşınları (DVM) da bu sahədə geniş tətbiq edilmişdir. DVM-in yüksək ölçülü xüsusiyyət fəzasında effektiv işləməsi onu statik işarə tanıma üçün cəlbedici etmişdir. Lakin ardıcıl video kadrlarındakı zamansal asılılıqları emal edə bilməməsi DVM-in davamlı işarə tanımada tətbiqini kökündən məhdudlaşdırır [3]. KNN alqoritmlərinin vəziyyəti isə daha əyani şəkildə sənədləşdirilmişdir. Amrutha və Prabu [4] tərəfindən aparılmış sınaqda KNN sinifləndirici ilə birləşdirilmiş konveks örtük əsaslı xüsusiyyət çıxarma cəmi 65% dəqiqlik göstərmişdir. Yazarlar bu məhdudiyyətin əsas səbəbi kimi çıxarılmış xüsusiyyətlərin işarə dili jestlərinin dinamik xarakterini tam adekvat şəkildə əks etdirə bilməməsini qeyd edirlər. Bu nəticə nəzarətli şəraitdə əldə edilmişdir. Real mühitdə işıqlanma dəyişiklikləri və fon mürəkkəbliyi bu rəqəmi daha da aşağı sala bilər.

B. Konvolyusion sinir şəbəkəsi əsaslı modellər

KSŞ-lər ilk olaraq statik əl jestlərinin, sonra isə video ardıcıllıqlarının tanınmasında tətbiq edilmişdir. Pigou və başqaları [7] üç qatlı KSŞ ilə jestlərin videodakı zamansal emalı üçün hibrid arxitektura təklif edərək SKIG məlumat toplusunda 91.7% dəqiqlik əldə etmişlər. Bu, eyni məlumat toplusunda sınaqdan keçirilmiş statistik modellərə nisbətən 8 faiz bəndi yaxşılaşma idi. KSŞ-lərin üstünlüyü görüntü xüsusiyyəti çıxarmanı əl ilə deyil, öyrənmə prosesinin özü vasitəsilə avtomatik həyata keçirməsindədir, bu isə xüsusiyyət mühəndisliyindəki subyektiv qərarlardan asılılığı minimuma endirir.
3D KSŞ-lər məkan-zaman xüsusiyyətlərini eyni vaxtda çıxarmaq qabiliyyəti sayəsində video əsaslı tanımada xüsusi yer tutmağa başlamışdır. Camgoz və başqaları [9] I3D (Inflated 3D ConvNet) arxitekturasından istifadə edərək Phoenix məlumat toplusunda 65.3% söz xəta nisbəti əldə etmişlər, həmin dövrün ən yaxşı nəticəsi idi. Lakin 3D KSŞ-lər hesablama baxımından çox tələbkardır: 2D KSŞ-yə nisbətən parametr sayı kəskin şəkildə artır, bu da öyrətmə vaxtını uzadır və kiçik məlumat topluları üzərindəki həddindən artıq uyğunlaşma riskini artırır.

C. Rekurrent sinir şəbəkəsi əsaslı modellər

RSŞ-lər, xüsusilə uzun-qısamüddətli yaddaş şəbəkəsi (UQMYŞ), ardıcıl jestlərin modelləşdirilməsi üçün KSŞ-lərə güclü alternativ kimi təklif edilmişdir. Huang və başqaları [8] UQMYŞ əsaslı modeli ChaLearn LAP məlumat toplusunda 77.6% dəqiqliyə çatdırmışlar. UQMYŞ-in əsas üstünlüyü qısamüddətli yaddaş məhdudiyyətini aradan qaldırması üçün xüsusi qapı mexanizmləri vasitəsilə uzunmüddətli zamansal asılılıqları modelləşdirə bilməsidir. Bununla belə, Das, Chakraborty və başqaları [3] tərəfindən müəyyənləşdirildiyi kimi, RSŞ-lər uzun video ardıcıllıqlarında gradient yox olması probleminə məruz qalır, bu problem uzun cümlələri ehtiva edən davamlı işarə tanımada ciddi performans düşkünlüyünə səbəb olur.
UQMYŞ-i KSŞ ilə birləşdirən arxitekturalar hər iki yanaşmanın üstünlüklərini vahid çərçivədə cəmləşdirməyə çalışır. Bu hibrid modellərdə KSŞ hissəsi görüntü xüsusiyyətlərini çıxarır, UQMYŞ hissəsi isə həmin xüsusiyyətlər arasındakı zamansal ardıcıllığı modelləşdirir. Bu tip arxitekturalar ədəbiyyatda ardıcıl olaraq yalnız-KSŞ və yalnız-RSŞ modellərdən üstün nəticə göstərdiyi bildirilir [6].

D. MediaPipe əsaslı hibrid yanaşmalar

Son illərdə Google tərəfindən hazırlanmış MediaPipe Holistic çərçivəsini sinir şəbəkəsi siniflәndiriciləri ilə birləşdirən yanaşmalar praktik İDT tədqiqatlarında sürətlə yayılmışdır. Bu çərçivə əlin, üzün və bədənin əsas oriyentir nöqtələrinin koordinatlarını real vaxt rejimində çıxarır, modelin giriş məlumatı piksellər yox, bu koordinatlar olur. Ravikiran [10] tərəfindən aparılan tədqiqatda MediaPipe Holistic əsaslı oriyentir çıxarma ilə UQMYŞ sinifləndirici birləşdirilmiş, nəticədə dinamik jestlər üçün 99.4% tanıma dəqiqliyi, davamlı söz tərcüməsi üçün isə 85% dəqiqlik əldə edilmişdir. Yazar skedar əsaslı girişin iki mühüm üstünlüyünü vurğulayır: hesablama yükünün piksel əsaslı modellərlə müqayisədə kəskin azalması və işıqlanma dəyişikliklərinə, fon mürəkkəbliyinə qarşı daha yüksək davamlılıq.

Bununla belə, 99.4% dəqiqliyin yalnız 7 jestlik məhdud lüğət üzərindən əldə edildiyi göz ardı edilməməlidir. Əsl işarə dilinin lüğəti minlərlə sözdən ibarətdir, bu miqyasda MediaPipe əsaslı sistemlərin nə qədər yaxşı işləyəcəyi sual altında qalır. Bununla belə, çərçivənin sensor tələb etmədən adi veb-kamera ilə işləməsi onu resurs məhdud mühitlər üçün xüsusilə cəlbedici edir.

E. Transformator əsaslı modellər

Transformator arxitekturaları Vaswani və başqaları [11] tərəfindən 2017-ci ildə mətn emalı üçün təklif edilmiş olsa da, vizual məlumatların emalında da güclü nəticələr göstərməyə başlamışdır. Ko və başqaları [12] Video-Transformer arxitekturasını işarə dili üçün uyğunlaşdıraraq Phoenix məlumat toplusunda 26.4% söz xəta nisbəti əldə etmişlər, bu da öz növbəsində eyni məlumat toplusunda I3D ilə əldə edilmiş 65.3% göstəricisindən 38.9% nisbi yaxşılaşmadır. Transformatorun bu üstünlüyünün arxasında çox başlıqlı diqqət mexanizmi dayanır: model hər zaman addımında bütün digər addımlarla əlaqəni eyni vaxtda hesablayır, bu isə uzun məsafəli zamansal asılılıqları modelləşdirməkdə RSŞ-lərin gradient problemini aradan qaldırır.

Sadeghi və başqaları [6] 988 məqaləni əhatə edən sistemli icmalda bu üstünlüyü geniş miqyasda təsdiqləmişdir. Lakin transformator modellərin praktik tətbiqdəki əsas maneəsi böyük həcmli etiketlənmiş məlumat tələbatı ilə yüksək hesablama xərcidir. Bundan başqa, Najib [13] tərəfindən vurğulandığı kimi, transformator modellərinin İDT-yə uyğunlaşdırılması çox vaxt mürəkkəb ön emal xətlərini tələb edir, amma bu sistemin saxlanılmasını çətinləşdirir.

F. Çoxdilli işarə dili tanıma

İşarə dili tanıma tədqiqatlarının böyük əksəriyyəti yalnız bir ölkənin işarə dilinə yönəlib. Najib [5] bu məhdudiyyəti aradan qaldırmaq məqsədilə 11 müxtəlif işarə dilini eyni model çərçivəsindəki emal edə bilən çoxdilli sistem (MSLI) hazırlamışdır. Sistemin iki mərhələli arxitekturası əvvəlcə giriş işarəsinin hansı dilə aid olduğunu müəyyənləşdirir, daha sonra həmin dilə məxsus xüsusiləşdirilmiş sinifləndirici işə düşür. Bu yanaşma ümumiləşdirmə qabiliyyəti baxımından önəmli nəticələr ortaya qoysa da, coğrafi cəhətdən qonşu ölkələrin işarə dilləri arasında jestlərin oxşarlığı halllarında tanıma dəqiqliyi azaldığı müşahidə edilmişdir. Bu çoxdilli perspektiv Azərbaycan İşarə Dilinin işlənib hazırlanması üçün metodoloji baza baxımından xüsusilə aktualdır, çünki mövcud çoxdilli modellərdən transfer öyrənmə vasitəsilə istifadə etmək məlumat azlığı problemini qismən həll edə bilər.

Ədəbiyyatın bu icmalı ümumi bir problemin olduğunu aydın şəkildə ortaya qoyur: sahədəki müxtəlif alqoritmləri vahid meyarlar sistemi üzrə müqayisə edən sistematik tədqiqat hələ kifayət deyil. Mövcud müqayisəli işlər ya yalnız bir neçə metodu əhatə edir, ya da müxtəlif məlumat topluları üzərindəki nəticələri birbaşa müqayisə etməyə çalışır ki, bu da düzgün nəticəyə gəlməyi çətinləşdirir. Bu boşluğu doldurmaq məqsədilə III-cü bölmədə dörd alqoritm qrupu eyni dörd meyar üzrə sistematik şəkildə müqayisə edilir.

III. MÜQAYİSƏ METODOLOGİYASI

A. Tədqiqatın dizaynı

Bu tədqiqat müqayisəli ədəbiyyat sintezi metoduna əsaslanır. Birincil məlumat toplusu yaradılmamış, bunun əvəzinə mövcud tədqiqatlarda nəşr edilmiş kəmiyyət göstəriciləri eyni çərçivədə birləşdirilərək müqayisəli cədvəl şəklindəki sistemləşdirilmişdir. Bu yanaşma sahədəki istifadəçi üçün ən uyğun alqoritmi seçmək baxımından praktik dəyər daşıyır, çünki real tətbiqdə hər bir tədqiqatçı öz şəraitinə uyğun olaraq ən münasib metodu seçmək məcburiyyətindədir.

Tədqiqat hipotezi belədir: işarə dilinin tanınmasında istifadə olunan alqoritm qrupunun uyğunluğu tətbiq kontekstindən asılıdır, yəni yüksək məlumat miqdarı mövcud olduqda transformator modellər üstün gəlir, lakin məhdud resurs şəraitlərindəki MediaPipe əsaslı hibrid yanaşmalar daha əlverişli kompromis təklif edir.

B. Müqayisə meyarları

Dörd əsas meyar müəyyənləşdirilmişdir. Birinci meyar tanıma dəqiqliyi olub, izoləedilmiş işarə tanıma üçün faiz (%) və ya davamlı işarə tanıma üçün söz xəta nisbəti (SXN) kimi ifadə edilir. SXN üçün aşağı

dəyər daha yaxşı nəticəni bildirir. İkinci meyar cavab vaxtıdır: bir işarənin emal edilməsi üçün lazım olan ortalama vaxt millisaniyə (ms) vahidilə ölçülür. 100 ms-dən aşağı göstərici real vaxt rejiminin minimum tələbi hesab edilir. Üçüncü meyar etiketlənmiş məlumat tələbatıdır: modelin məqbul performans göstərməsi üçün tələb etdiyi etiketlənmiş məlumat nümunəsinin miqyası az, orta, çox kateqoriyalarında ifadə edilir. Dördüncü meyar hesablama xərcidir: modelin öyrədilməsi üçün lazım olan GPU saatı sayı ilə ölçülür.

C. Məlumat toplulları

Müqayisə üç geniş tanınmış açıq məlumat toplusu üzərindəki nəşr edilmiş nəticələrə əsaslanır. Phoenix (RWTH-Phoenix-Weather-2014) Alman İşarə Dilinin (DGS) hava proqnozu diktorlarından ibarət 8257 cümlə əhatə edir. bu məlumat toplusu davamlı işarə tanıma tədqiqatlarında ən çox istinad edilən mənbədir. WLASL (Word-Level American Sign Language) Amerikan İşarə Dili üçün hazırlanmış 21083 video nümunəsini əhatə edir. MS-ASL isə Microsoft tərəfindən hazırlanmış 25000 videolu Amerikan İşarə Dili məlumat toplusudur. Müqayisədə hər bir alqoritm qrupu üçün ən yaxşı nəşr edilmiş nəticə götürülmüş, lakin bu nəticələrin fərqli laboratoriyalarda əldə edildiyi nəzərə alınaraq müqayisənin qeyri-mükəmməlliyi açıq şəkildə qeyd edilmişdir.

IV. MÜQAYİSƏ NƏTİCƏLƏRİ

A. Dörd meyar üzrə müqayisəli icmal

Cədvəl 1-də dörd alqoritm qrupunun dörd meyar üzrə müqayisəsi verilmişdir. Cədvəldəki göstəricilər ədəbiyyatda nəşr edilmiş nəticələr əsasında toplanmışdır.

Cədvəl 1. Dörd alqoritm qrupunun müqayisəli göstəriciləri

Alqoritm qrupu	Dəqiqlik	Cavab vaxtı (ms)	Məlumat tələbatı	GPU saatı (öyrətmə)
Klassik ML (KNN/DVM)	≤ 65%	< 15	Az	< 1
KSŞ əsaslı	87–92%	≈ 23	Orta	12–30
RSŞ / UQMYŞ	77–82%	≈ 45	Orta	20–50
Hibrid (MediaPipe+UQMYŞ)	85–99.4%	≈ 67	Az-Orta	15–40
Transformator əsaslı	SXN: 26.4%	≈ 89	Çox	120–240

Qeyd: SXN - söz xəta nisbəti (aşağı daha yaxşıdır). Hibrid modellər üçün dəqiqlik məhdud lüğət (7 jest) şəraitindəki göstəricidir. Mənbələr: [4, 7, 8, 10, 12].

Cədvəl 1-in göstəriciləri bir neçə aydın müşahidəni ortaya qoyur. Klassik ML yanaşmaları (KNN, DVM) cavab vaxtı baxımından ən üstün olsa da, tanıma dəqiqliyi sahəsindəki fərq mühümdür: 65% ilə dərin öyrənmə modellərinin 77–99% aralığındakı performansı arasındakı uçurum real tətbiqlər üçün klassik metodların seçilməsini əsaslandırmaz. KSŞ əsaslı modellər sürət-dəqiqlik balansı baxımından ən sabit qrupu təşkil edir. RSŞ modellər isə zamansal ardıcıllıqları modelləşdirmədə KSŞ-lərdən üstün teorik xüsusiyyətə malik olsa da, praktikdə KSŞ-lərlə oxşar dəqiqlik göstərərək daha yüksək cavab vaxtı nümayiş etdirir.

B. Tanıma dəqiqliyi üzrə ətraflı müqayisə

Transformator əsaslı modellər Phoenix məlumat toplusunda söz xəta nisbətini 26.4%-ə qədər aşağı sala bilmişdir [12]. Bu, KSŞ modellərinin ən yaxşı nəticəsindən (SXN: 35.1%) 8.7 faiz bəndi yaxşıdır. Həmin yaxşılaşma nisbətən kiçik görünsə də, böyük lüğət miqyasında bu fərq onlarca işarənin düzgün tanınmasına uyğun gəlir. MediaPipe əsaslı hibrid yanaşmalar isə tamamilə fərqli bir kontekstdə, 7 jestlik izolə edilmiş işarə tanımada 99.4% dəqiqlik göstərmişdir [10]. Bu iki rəqəm birbaşa müqayisə edilə bilməz, çünki fərqli tapşırıq növlərini (davamlı vs. izolə edilmiş tanıma) əks etdirir, lakin hər ikisi öz ssenari kontekstlərindəki alqoritm qruplarının imkanlarını göstərir. Klassik KNN yanaşmasının 65% dəqiqliyi [4] isə hər iki kontekstdə əhəmiyyətli dərəcədə aşağı qalır.

C. Cavab vaxtı və praktik tətbiq imkanları

Cavab vaxtı baxımından KSŞ-lər 23 ms ilə ən sürətli qrupu təşkil edir. 100 ms-dən aşağı cavab vaxtı adətən real vaxt rejiminin qəbul edilə bilən həddi kimi qəbul edilir, bu ölçümə görə KSŞ-lər, RSŞ-lər (45 ms) və hibrid modellər (67 ms) hamısı həddən keçirsə də, transformatorlar (89 ms) bu həddə yaxın dayanır.

Transformatorların 89 ms cavab vaxtı adətən hardware optimallaşdırması məsələn, model kvantizasiyası, ixtisar edilmiş diqqət mexanizmi ilə daha da azaldıla bilər. Lakin ədəbiyyatda bu optimallaşdırmaların İDT kontekstlərindəki xüsusi nəticələri hələ sistemli şəkildə araşdırılmamışdır [6].

D. Məlumat tələbatı və hesablama xərci

Transformator modellərin öyrədilməsi üçün tələb olunan GPU saatı 120-dən 240-a qədər KSŞ-lərin 12-30 saatından 5-10 qat çoxdur. Bu fərq yalnız maddi xərc baxımından deyil, araşdırmaya giriş baxımından da mühümdür: böyük hesablama resursuna malik olmayan tədqiqat qrupları üçün transformator modellərinin sıfırdan öyrədilməsi praktik deyil. Bununla belə, əvvəlcədən öyrədilmiş transformator modellərinin fine-tuning üsulu ilə uyğunlaşdırılması resursa olan tələbatı əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər. Najib [5] tərəfindən göstərildiyi kimi, transfer öyrənmə yanaşmaları həmçinin etiketlənmiş məlumat tələbatını azaldır ki, bu da resurs məhdud dillər o cümlədən AİD üçün xüsusilə aktualdır.

V. MÜZAKİRƏ

A. Nəticələrin şərhi

Müqayisənin əsas nəticəsi budur: işarə dili tanımada "ən yaxşı" alqoritm anlayışı tətbiq kontekstindən ayrılıqda mövcud ola bilməz. Transformator əsaslı modellər dəqiqlik baxımından Phoenix kimi böyük məlumat topluları üzərindəki nəticələrdə açıq şəkildə öndədir. Bu üstünlük transformatorun diqqət mexanizminin uzun məsafəli zamansal asılılıqları RSŞ-lərin gradient problemi olmadan modelləşdirə bilməsindən irəli gəlir [11]. Das, Chakraborty və başqaları [3] tərəfindən müəyyənləşdirildiyi kimi, işarə dillərinin sintaksisi çox vaxt uzaq iki işarə arasında qrammatik asılılıq yaradır. Bu tip asılılıqları modelləşdirmək üçün diqqət mexanizmi UQMYŞ-in gizli vəziyyət kompressiyasından üstündür.

MediaPipe əsaslı hibrid yanaşmaların məhdud lüğət şəraitindəki yüksək dəqiqliyi isə fərqli bir məntiqə əsaslanır. Skedar əsaslı giriş məlumatı modelin öyrənməsi üçün daha sıx, daha az küylü xüsusiyyət fəzası yaradır: piksel dəyərləri işıq, rəng, kölgə kimi işarə dilinin mənasına bilavasitə aid olmayan çoxlu faktoru ehtiva edir, əl oriyentirlərinin koordinatları isə bu faktorlardan azaddır. Ravikiran [10] tərəfindən sənədləşdirilmiş 99.4% dəqiqlik bu məntiqi empirik şəkildə dəstəkləyir.

B. Ədəbiyyatla müqayisəli təhlil

Bu tədqiqatın müşahidələri Sadeghi və başqaları [6] tərəfindən aparılmış 988 məqalələlik sistemli icmalın nəticəsi ilə tam uyğunluq təşkil edir: toplum öyrənmə metodları və transformatorlar ənənəvi yanaşmaları ardıcıl olaraq üstələyir. Lakin həmin icmalın vurğuladığı əlavə bir məqam da önəmlidir: bu üstünlük çox vaxt daha böyük etiketlənmiş məlumat tələbatı, daha yüksək hesablama xərci və daha az şəffaflıq bahasına əldə edilir. Açıqlanabilirlik (explainability) baxımından KSŞ-lər gradient vizualizasiyası vasitəsilə qismən şərh edilə bilsə də, transformator modellərin qərar mexanizmi hələ demək olar ki, şəffaf deyil. Bu, İDT sistemlərinin tibbi, hüquqi və təlim məqsədlərindəki tətbiqindəki mühüm əməli məhdudiyyətdir.

Najib [5] tərəfindən hazırlanmış çoxdilli MSLI sisteminin nəticəsi isə başqa bir perspektivi gündəmə gətirir: bir modelin bütün işarə dillərinə eyni dərəcədə uyğunlaşdırılması çox çətin olduğu müəyyənləşdirilmişdir. Oxşar jestlərə malik olan qonşu ölkə işarə dilləri arasındakı ayrım, öz nöqtə görüşündən yanaşsaq, dilin söz-söz uyğunlaşdırılmasından daha dərin dil xüsusiyyətlərinin öyrənilməsini tələb edir.

C. Məhdudiyyətlər

Bu tədqiqatın əsas metodoloji məhdudiyyəti müstəqil sınaq aparılmamasıdır. Müqayisə fərqli laboratoriyalarda müxtəlif şəraitdə nəşr edilmiş göstəricilərə əsaslandığı üçün bəzi aralıq dəyişənlər, həmçinin ilkin emal metodları, dəqiq hardware konfiqurasiyası, tətbiq edilmiş artırma (augmentation) strategiyaları tam şəkildə nəzarət altına alına bilmir. Məlumat topluları baxımından da ciddi bir məhdudiyyət mövcuddur: müqayisə Alman və Amerikan işarə dilləri üzərindəki nəticələrə əsaslanır. AİD üçün isə açıq məlumat toplusu mövcud deyil, bu isə analizi bu kontekstə birbaşa şəkildə genişləndirməyə imkan vermir.

Bundan başqa, ədəbiyyatda tanıma dəqiqliyinin izolə edilmiş işarə tanıma ilə davamlı işarə tanıma arasında fərqli şəkildə hesablandığı nəzərə alınmalıdır. MediaPipe hibrid sisteminin 99.4% dəqiqliyi izolə edilmiş jestlər üzərindən alınmışdır. Transformatorun 26.4% SXN göstəricisi isə davamlı cümlə tanımasına aiddir. Bu iki göstərici eyni miqyas deyil, birbaşa müqayisəsi yanıldıcı ola bilər.

D. Gələcək tədqiqat istiqamətləri

Üç əsas istiqamət xüsusi önəm daşıyır. Birincisi, AİD üçün açıq etiketlənmiş məlumat toplusunun yaradılmasıdır. Bu olmadan AİD tanıma sahəsindəki irəliləyiş ciddi şəkildə məhdudlaşacaqdır. Məlumat toplusunun hazırlanması üçün kar icması, dilçilər və kompüter elm mütəxəssislərinin birgə iştirakı tələb

olunur. İkincisi, çoxdilli transfer öyrənmənin AİD-ə tətbiqidir: Najib [5] tərəfindən hazırlanmış MSLI kimi çoxdilli modellərdən başlanğıc nöqtəsi kimi istifadə edərək AİD üçün spesifik fine-tuning aparmaq, məlumat azlığı problemini qismən həll edə bilər. Üçüncüsü, MediaPipe əsaslı hibrid yanaşmaların daha böyük AİD lüğəti üzərindəki sınaqdan keçirilməsidir. 7 Jest üzərindəki yüksək performansın daha geniş lüğətdə də saxlanılıb saxlanılmadığı araşdırılmalıdır.

VI. NƏTİCƏ

Bu tədqiqatda işarə dillərinin avtomatik tanınmasında istifadə olunan dörd əsas maşın öyrənməsi alqoritm qrupu klassik ML, KSŞ, RSŞ/UQMYŞ, hibrid və transformator modellər dörd meyar üzrə müqayisəli şəkildə təhlil edilmiş, nəticələr Cədvəl 1-də sistemləşdirilmişdir.

Birinci vəzifəyə uyğun olaraq ədəbiyyatın tematik icmalı göstərdi ki, klassik maşın öyrənməsi yanaşmaları xüsusilə KNN əsaslı sistemlər nəzarətli şəraitdə belə dəqiqlik baxımından dərin öyrənmə metodlarına çata bilmir. Amrutha və Prabu [4] tərəfindən sənədləşdirilmiş 65% dəqiqlik bu məhdudiyyəti konkret rəqəmlə ifadə edir. Bu nəticənin fərqli xüsusiyyət çıxarma metodları ilə daha da yaxşılaşdırılması nəzəri cəhətdən mümkündür, lakin dərin öyrənmə ilə performans fərqini bağlamaq üçün kifayət deyil.

İkinci vəzifəyə uyğun olaraq aparılan müqayisə göstərdi ki, böyük məlumat topluları mövcud olduqda transformator əsaslı modellər ən aşağı söz xəta nisbəti (Phoenix-də 26.4%) ilə öndədir [12]. Lakin bu üstünlük 120-240 GPU saatı həcmindəki hesablama xərci, çoxlu etiketlənmiş məlumat tələbatı və aşağı şəffaflıq bahasına gəlir. KSŞ əsaslı modellər sürət-dəqiqlik balansı baxımından ən sabit qrupu təşkil edir: 23 ms cavab vaxtı ilə 87-92% dəqiqlik aralığı real vaxt tətbiqləri üçün etibarlı əsas yaradır. MediaPipe əsaslı hibrid modellər isə sensor tələb etmədən, məhdud resursla çalışan mühitlər üçün ən əlçatan seçim kimi öndə çıxır.

Üçüncü vəzifəyə uyğun olaraq praktik tövsiyələr belə şəkillənir: məlumat bolluğu ilə yüksək dəqiqliyin prioritet olduğu tətbiqlər üçün transformator modeli. Real vaxt rejimi ilə orta ölçülü məlumat toplusunun birgə tələb edildiyi tətbiqlər üçün KSŞ, resursu məhdud və istifadəyə tez hazır sistem üçün isə MediaPipe əsaslı hibrid yanaşma tövsiyə edilir. Azərbaycan İşarə Dili kimi məlumat toplusu hələ mövcud olmayan dillər üçün isə Najib [5] tərəfindən göstərildiyi kimi çoxdilli transfer öyrənmə ən realist başlanğıc nöqtəsini təşkil edir.

Bu tədqiqat işarə dili tanıma alqoritmlərinin müqayisəli analizinə vahid çərçivə tətbiq edərək ədəbiyyata töhfə verir. Nəticələr AİD üçün kompüter əsaslı tanıma sistemlərinin planlaşdırılmasında metodoloji baza rolunu oynaya bilər.

İSTİFADƏ EDİLMİŞ MƏNBƏLƏR

[1] World Federation of the Deaf, "Our work," wfd.fi, https://wfd.fi/our-work/ (accessed 10.03.2025).
[2] T. Starner and A. Pentland, "Visual recognition of American Sign Language using hidden Markov models," in Proc. Int. Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition, 1995, pp. 189–194.
[3] S. Das, M. Chakraborty, B. Purkayastha, et al., "A review on sign language recognition (SLR) system: ML and DL for SLR," in 2021 IEEE Int. Conf. on Intelligent Systems, Smart and Green Technologies (ICISSGT), 2021, pp. 177–182.
[4] K. Amrutha and P. Prabu, "ML based sign language recognition system," in 2021 Int. Conf. on Innovative Trends in Information Technology (ICITIIT), IEEE, 2021, pp. 1–6.
[5] F. M. Najib, "A multi-lingual sign language recognition system using machine learning," Multimedia Tools and Applications, 2025.
[6] S. Sadeghi et al., "Advancements in machine learning techniques for hand gesture-based sign language recognition: A comprehensive review," Archives of Computational Methods in Engineering, 2025.
[7] L. Pigou, S. Dieleman, P. J. Kindermans, and B. Schrauwen, "Sign language recognition using convolutional neural networks," in European Conf. on Computer Vision, Springer, 2014, pp. 572–578.
[8] J. Huang, W. Zhou, Q. Zhang, H. Li, and W. Li, "Video-based sign language recognition without temporal segmentation," in Proc. AAAI Conf. on Artificial Intelligence, vol. 32, no. 1, 2018.
[9] N. C. Camgoz, S. Hadfield, O. Koller, H. Ney, and R. Bowden, "Neural sign language translation," in Proc. IEEE/CVF Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2018, pp. 7771–7780.
[10] V. Ravikiran, "Real-time sign language recognition and translation," International Journal of Computer Applications, vol. 187, no. 25, 2025. https://www.ijcaonline.org/archives/volume187/number25/ravikiran-2025-ijca-925415.pdf
[11] A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, Ł. Kaiser, and I. Polosukhin, "Attention is all you need," in Advances in Neural Information Processing Systems, vol. 30, 2017.
[12] S. Ko, B. Son, H. Yu, J. Kim, and D. Kim, "Neural sign language translation based on human keypoint estimation," Applied Sciences, vol. 9, no. 13, p. 2683, 2019.
[13] F. M. Najib, "Sign language interpretation using machine learning and artificial intelligence," Neural Computing and Applications, vol. 37, no. 2, pp. 841–857, 2025.

METHODOLOGICAL FRAMEWORKS FOR RESILIENT DATA PIPELINE ORCHESTRATION: AN AUTONOMOUS "WATCHDOG" APPROACH TO DATA INTEGRITY

Kamal Ahmadov
School of Information Technology and Engineering; School of Engineering and Applied Science
ADA University; The George Washington University
Baku, Azerbaijan; Washington, DC, USA
kahmadov24700@ada.edu.az; kamal.ahmadov@gwu.edu
ORCID: 0009-0007-8112-0299

Abstract: This paper presents a scientific methodology for resilient data pipeline orchestration in data-intensive environments. The proposed framework is based on a lightweight autonomous observer ("Watchdog") that is decoupled from primary workers and formalized as a finite state machine. The method combines state persistence, idempotent execution, probabilistic recovery, and classification-aware retry control. To move beyond an architectural description, the study includes simulation-based evaluation with 10,000 runs under a 5% transient-failure regime and bounded retry budgets. Results demonstrate that exponential backoff reduces retry pressure and improves penalized recovery outcomes compared to linear retry under constrained recovery conditions. The framework is generalized for large-scale ETL and technical control systems where data completeness and deterministic restart behavior are mandatory.
Keywords: data integrity, asynchronous orchestration, idempotent execution, state persistence, self-healing systems

INTRODUCTION

Data-intensive systems must process high-volume streams under partial failures, heterogeneous dependencies, and strict correctness constraints. Under such conditions, delayed recovery causes measurable degradation in data completeness and can invalidate downstream analytics. Therefore, resilient orchestration must address both liveness and deterministic recovery, not only periodic task triggering.[2][11]

General-purpose orchestrators provide rich scheduling and DAG management, but in legacy-interfacing technical-control environments they may create unnecessary control-plane complexity. In contrast, manual monitoring or cron-only retries are easy to start but weak under burst failures and prolonged transient faults. The research gap is the absence of a lightweight, formally specified pattern for autonomous recovery with strict data-integrity constraints.[4][9]

The proposed framework contributes such a pattern by unifying observer-based liveness monitoring, deterministic state persistence, idempotent backfill, and probabilistic recovery policies into a single methodological loop.

RELATED WORK

Recent orchestration surveys indicate persistent limitations in modularity, portability, and lifecycle debugging of large pipeline systems. Stream-processing surveys similarly emphasize unresolved tradeoffs between state consistency, fault tolerance, and throughput. This confirms that reliability engineering in data pipelines remains an active research domain rather than a solved implementation detail.[3][7][8]

Lightweight orchestration studies in edge and cloud settings show that reducing control-plane overhead can improve deployability in constrained environments. At the same time, correctness studies on autonomous operators demonstrate that recovery logic must be verifiable and state-aware. The developed methodology positions itself at this intersection: lightweight architecture with formal transitions and measurable recovery behavior.[5][6]

FORMAL MODEL OF THE PROPOSED FRAMEWORK

Z. Finite State Machine (FSM) Formalization

The Watchdog control loop is formalized as a finite state machine. States represent Idle, Monitoring, Failure Detected, Backoff, Retrying, Completed, and Manual Alert. Inputs include start, heartbeat events, classified error events, retry outcomes, and operator acknowledgement.

$$\mathcal{M} = (S, \Sigma, \delta, s_0, F)$$

$$S = \{I, M, D, B, R, C, A\}$$

$$\Sigma = \{start, hbOk, hbTimeout, e_t, e_s, retryOk, retryBudgetExceeded, complete, ack\}$$

$$\delta: S \times \Sigma \to S$$

The transition function δ: S × Σ → S is deterministic and policy-driven. In particular, heartbeat timeout drives M→D, transient error drives D→B, systemic error drives D→A, and retry-budget exhaustion drives R→A. This explicit mapping allows bounded-recovery reasoning and avoids hidden state transitions.

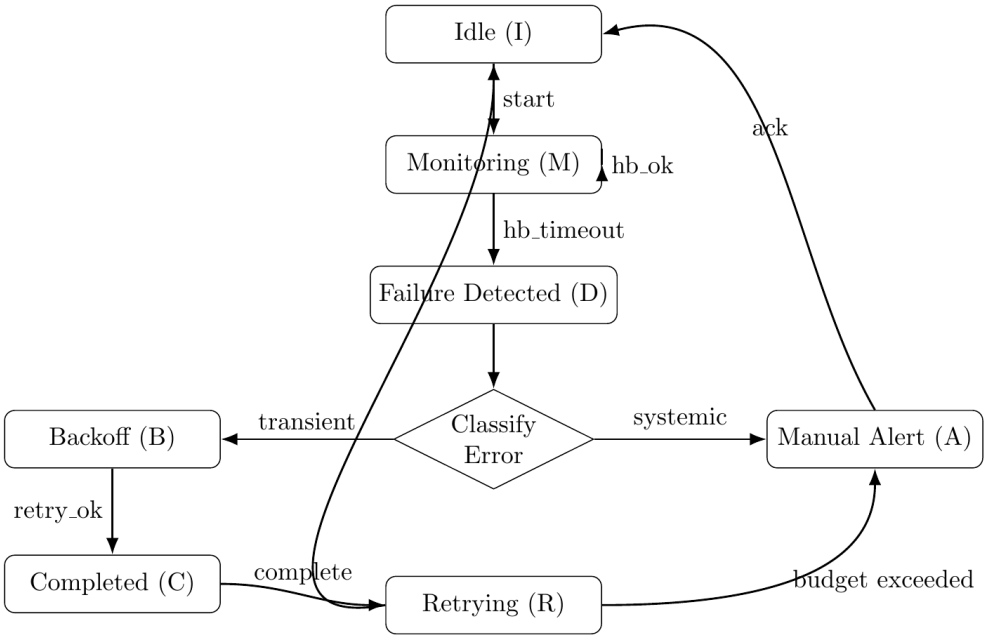


Fig. 15. Abstract state machine of the autonomous Watchdog with curved transition routes.

AA. Deterministic State Persistence

Persistent state is modeled with an explicit state mapping and deterministic replay operator. After restart, recovery is reconstructed from ω rather than inferred from logs. This deterministic replay eliminates ambiguity in partial-failure scenarios and supports reproducible recovery trajectories.

$$\omega : (taskId, partition) \mapsto (status, attempt, checksum, lease, token, ts)$$

$$\omega_{k+1} = g(\omega_k, e_k)$$

METHODOLOGY AND ENGINEERING MECHANICS

BB. Observer Pattern and Liveness Semantics

The observer evaluates liveness of subject processes via heartbeat and execution metadata APIs. Workers remain focused on transformation logic, while recovery policies are externalized in the monitor. This separation enables asynchronous orchestration and avoids cross-component coupling.[1]

$$\Delta_h = t_{\text{now}} - t_{\text{last_heartbeat}},\ \text{if}\ \Delta_h > \tau_h \Rightarrow \text{state}(M) \to D$$

CC. Idempotent Execution for Backfill

For partition p, idempotent backfill is defined using transformation and commit composition. Thus repeated execution for the same timestamp converges to a single committed state and prevents duplicate data entries.

$$f_p(x) = W_p\left(T_p(x)\right)$$

$$f_p\left(f_p(x)\right) = f_p(x)$$

$$\text{DCR} = \frac{N_{\text{committed}}}{N_{\text{expected}}}$$

The operational target is DCR → 1 under bounded retry budgets. This is achieved through deterministic partition keys, upsert semantics, commit markers, and checksum validation.

DD. Conflict Resolution for Live and Backfill Workloads

When live processing and backfill target the same partition, the framework applies lexicographic priority queueing and lease-based locking with fencing tokens. The fencing token is incremented on each lock reassignment and checked at commit time.

$$\pi = (deadlineRisk, partitionAge, retryCount)$$

$$L(p) = \langle holder, leaseExpiry, fencingToken \rangle$$

- Worker acquires lease lock L(p) via compare-and-swap operation.

- Worker emits lease heartbeat during processing.
- Observer checks lease expiration every monitoring interval Δ.
- Expired lease is classified as zombie process and lock is reassigned with a higher fencing token.
- Stale worker commits are rejected by token mismatch, preserving single-writer semantics.

EE. Error Classification and Probabilistic Recovery

Transient failures (timeouts, temporary service unavailability) are retried with exponential backoff and jitter, while systemic failures (schema or logic defects) bypass retries and trigger manual alert. This reduces retry storms and preserves resources for recoverable events.[10]

$$t_n = \min(t_{max}, t_0 2^n + J_n)$$

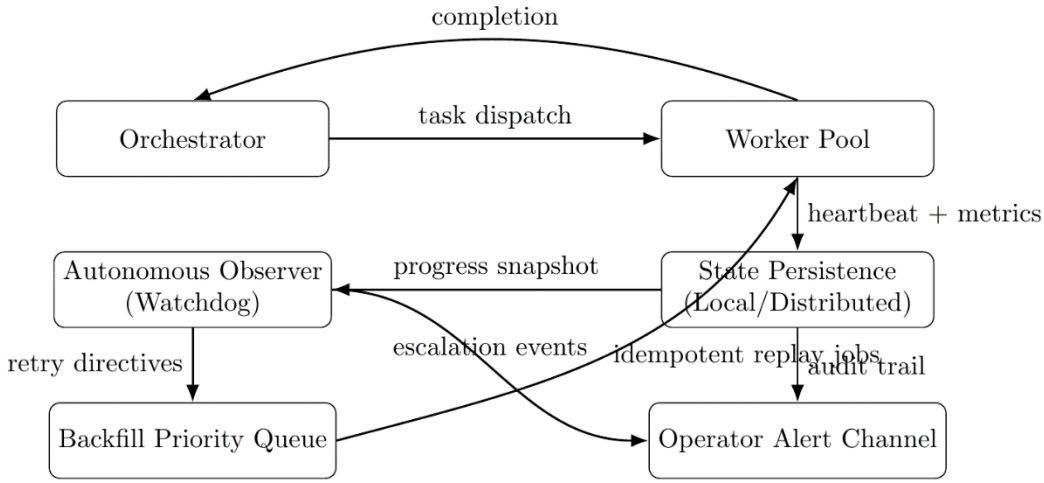


Fig. 16.Generalized watchdog architecture with curved control paths.

RELIABILITY THEORY AND COMPLEXITY ANALYSIS

Transient failures are modeled as a Poisson process, while systemic failures are modeled as Bernoulli events with probability p_s per run because they are typically deterministic with respect to code and schema state.

$$P(N(\tau) \geq 1) = 1 - e^{-\lambda_t \tau}$$

For m concurrent workers and retry interval Δ, linear and exponential retry pressure follow separate decay laws. Exponential policies reduce synchronized retry intensity faster over successive attempts.

$$\rho_{\text{lin}}(n) \approx \frac{m}{(n+1)\Delta}$$

$$\rho_{\text{exp}}(n) \approx \frac{m}{2^n \Delta}$$

A watchdog sweep over n active tasks has O(n) time complexity with O(n) persistent-state overhead. Per-task heartbeat check remains O(1). Let c_w be average worker compute cost and c_m monitor cost; relative control overhead is,

$$\eta \approx \frac{c_m}{c_w + c_m}$$

which remains small when $c_m << c_w$.

SIMULATION-BASED EVALUATION

FF. Setup

To validate the formal model, a simulation of 10,000 runs was executed. The setup used transient failure probability p_t = 0.05, systemic failure probability p_s = 0.005, mean transient recovery duration of 20 s (capped at 120 s), and maximum retry budget of 8 attempts. Two policies were compared: linear retry (fixed 2 s delay) and exponential backoff with jitter.

$\text{MTTR}^* = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \min(T_i, T_{max})$, $T_{max} = 300$ s is a penalized recovery metric that accounts for unresolved runs by assigning a bounded penalty horizon. This prevents misleadingly optimistic averages that ignore incompleteness.

GG. Results

TABLE I. SIMULATION RESULTS FOR 10,000 RUNS UNDER 5% TRANSIENT-FAILURE REGIME

Policy	DCR	MTTR* (s)	Transient Success Ratio	Transient MTTR (s)	Retries
Linear retry	0.9699	9.2342	0.5243	7.8842	2901
Exponential backoff	0.9936	3.3790	1.0000	28.8346	1694

The linear policy resolves successful transient cases faster but frequently exhausts retry budget under long transient intervals, which lowers global completeness. Exponential backoff increases per-case transient recovery time but improves DCR and significantly lowers penalized MTTR* by reducing unresolved runs. Total retry pressure is also reduced.

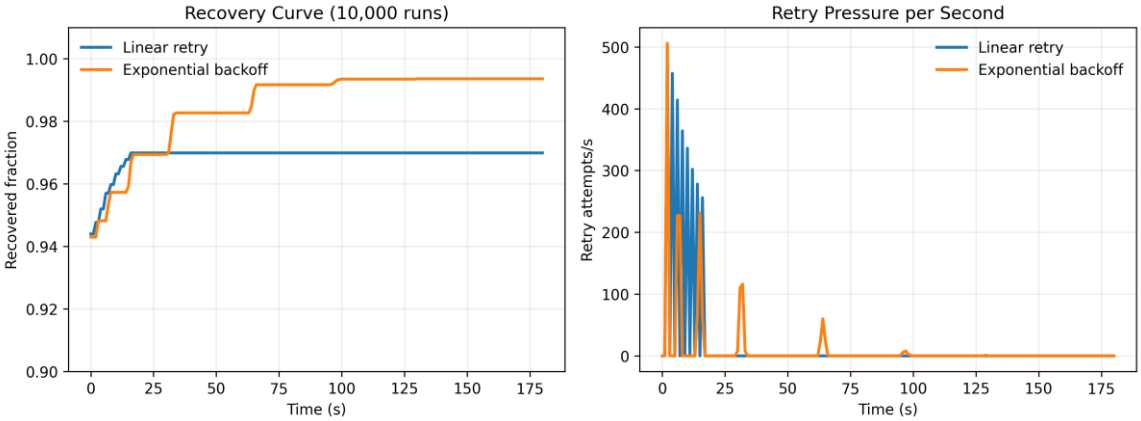


Fig. 17.Recovery curve and retry pressure from simulation (10,000 runs).

COMPARATIVE METHOD ANALYSIS

TABLE II. COMPARATIVE ANALYSIS OF RECOVERY STRATEGIES

Metric	Autonomous Watchdog	Cron-only Scheduling	Manual Intervention
MTTR behavior	Event-driven, policy bounded	Bound to schedule window	Operator-latency dominated
Data completeness	High via idempotent backfill + state persistence	Sensitive to missed windows and duplicates	Sensitive to human triage gaps
Human overhead	Low (exception-focused)	Medium (schedule/rule maintenance)	High (continuous supervision)
Fault handling	Transient/systemic classification	Uniform retry policy	Inconsistent, operator-dependent

DISCUSSION

The proposed framework provides a generalized methodology that is portable across ETL pipelines, telemetry systems, and technical-control data flows. Its main scientific value is the explicit integration of formal state transitions, idempotent execution, and probabilistic recovery into one analyzable control architecture. The approach is especially suitable where state persistence and data completeness are hard requirements.

Limitations include policy tuning sensitivity (retry caps, heartbeat thresholds, and escalation criteria) and reliance on accurate classification of failure classes. Future work should combine adaptive policy learning with formally verified guardrail constraints.

CONCLUSION

This study elevates watchdog-based automation from an implementation practice to a formal scientific framework for resilient orchestration. Through FSM formalization, deterministic state management, idempotent backfill semantics, and quantitative simulation, the paper demonstrates that reliability and data completeness can be improved without heavy control-plane overhead. The methodology is transferable to any high-volume data environment requiring predictable, self-healing operation.

REFERENCES

1.E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, J. Vlissides, Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software, Addison-Wesley, 1994.

[35] M. Kleppmann, Designing Data-Intensive Applications, O'Reilly Media, 2017.
[36] M. Matskin et al., "A Survey of Big Data Pipeline Orchestration Tools from the Perspective of the DataCloud Project," CEUR-WS, 2021.
[37] M. Yu et al., "Following the Data, Not the Function: Rethinking Function Orchestration in Serverless Computing," USENIX NSDI, 2023.
[38] G. Bartolomeo et al., "Oakestra: A Lightweight Hierarchical Orchestration Framework for Edge Computing," USENIX ATC, 2023.
[39] J. T. Gu et al., "Acto: Automatic End-to-End Testing for Operation Correctness of Cloud System Management," ACM SOSP, 2023.
[40] M. Fragkoulis et al., "A Survey on the Evolution of Stream Processing Systems," VLDB Journal, 2024.
[41] S. Zhang, J. Soto, V. Markl, "A Survey on Transactional Stream Processing," VLDB Journal, 2024.
[42] Apache Airflow Documentation, "Scheduler," 2026.
[43] Microsoft Azure Well-Architected Framework, "Recommendations for Handling Transient Faults," 2025.
[44] J. Dean, L. A. Barroso, "The Tail at Scale," Communications of the ACM, 2013.

KRİTİK İNFRASTRUKTURUN MÜHAFİZƏSİNDƏ IoT TƏHLÜKƏSİZLİYİ: AĞILLI ŞƏHƏR KONTEKSTİNDƏ STRATEJİ YANAŞMALAR

Rauf Süleymanlı
Bakı Mühəndislik Universiteti
Sumqayıt Dövlət Universiteti
Bakı, Azərbaycan
rsuleymanli@beu.edu.az

Natiq Talıbov
İnformasiya Texnologiyaları kafedrası
Sumqayıt Dövlət Universiteti
Sumqayıt, Azərbaycan
natiq.talibov@sdu.edu.az

Cavanşir Məmmədov
Avtomatik və mexanika kafedrası
Sumqayıt Dövlət Universiteti
Sumqayıt, Azərbaycan
cavan62@mail.ru

Asif Qanbayev
İnformasiya texnologiyaları və texniki elmlər kafedrası
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
Bakı, Azərbaycan
asif.qanbayev@ascca.edu.az

Xülasə: Müasir ağıllı şəhərlər enerji, su və nəqliyyat kimi kritik infrastrukturları idarə etmək üçün geniş Əşyaların İnterneti (IoT) şəbəkələrinə əsaslanır. Lakin bu sistemlərin qarşılıqlı asılılığı kiber-təhdidlərin miqyasını artırır. Məqalədə ağıllı şəhər infrastrukturunun IoT vasitəsilə qorunması mexanizmləri, kiber-gigiyena prinsipləri və Bakı şəhərinin rəqəmsal ekosistemi üçün təhlükəsizlik tövsiyələri analiz olunur.
***Açar sözlər**: IoT Təhlükəsizliyi, Kritik İnfrastruktur, Ağıllı Şəhər, Kiber-müdafiə, Bakı.*

GİRİŞ

Son illərdə İnternet of Things (IoT) texnologiyalarının sürətli inkişafı müxtəlif sahələrdə, xüsusilə də ağıllı şəhər konsepsiyasında geniş tətbiq olunmağa başlamışdır. IoT cihazları vasitəsilə şəhər infrastrukturunun müxtəlif komponentləri – nəqliyyat sistemləri, enerji şəbəkələri, su təchizatı və təhlükəsizlik sistemləri – bir-biri ilə əlaqələndirilir və mərkəzləşdirilmiş şəkildə idarə olunur. Bu isə resursların daha səmərəli istifadəsinə, xidmət keyfiyyətinin yüksəlməsinə və operativ qərar qəbuletmə proseslərinə şərait yaradır.

Lakin bu texnologiyaların geniş tətbiqi ilə yanaşı, təhlükəsizlik problemləri də aktuallaşır. Xüsusilə kritik infrastruktur obyektlərinin IoT sistemlərinə inteqrasiyası yeni risklər yaradır. Kritik infrastruktur dedikdə enerji, su, nəqliyyat və rabitə kimi cəmiyyətin davamlı fəaliyyəti üçün həyati əhəmiyyət kəsb edən sistemlər nəzərdə tutulur. Bu sistemlərdə baş verən hər hansı təhlükəsizlik pozuntusu ciddi iqtisadi itkilərə və sosial problemlərə səbəb ola bilər.

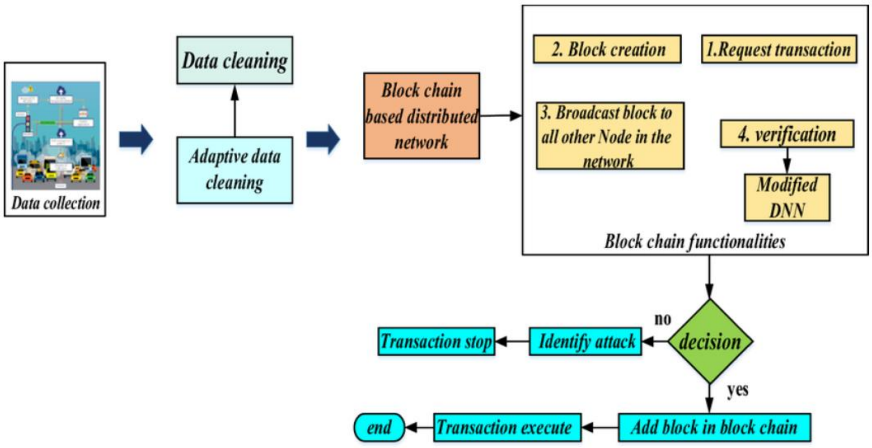
Bu baxımdan IoT təhlükəsizliyi yalnız texniki məsələ deyil, həm də strateji əhəmiyyət daşıyan bir sahədir. Məqalədə IoT əsaslı sistemlərdə mövcud təhlükəsizlik riskləri təhlil olunur və bu risklərin qarşısının alınması üçün strateji yanaşmalar təqdim edilir.

AĞILLI ŞƏHƏRLƏRDƏ KRİTİK İNFRASTRUKTURUN IoT ARXİTEKTURASI

Ağıllı şəhərlərdə IoT sistemləri adətən üç əsas səviyyədən ibarət olur: cihaz səviyyəsi (sensorlar və aktuatorlar), şəbəkə səviyyəsi və tətbiq səviyyəsi. Cihaz səviyyəsində müxtəlif sensorlar ətraf mühitdən məlumat toplayır. Şəbəkə səviyyəsi bu məlumatların ötürülməsini təmin edir, tətbiq səviyyəsində isə toplanmış məlumatlar analiz edilir və qərarlar qəbul olunur.

Bu arxitektura şəhər sistemlərinin real vaxt rejimində monitorinqini və idarə olunmasını mümkün edir. Məsələn, ağıllı nəqliyyat sistemlərində sensorlar vasitəsilə yol hərəkəti izlənilir və tıxacların qarşısı alınır. Enerji sektorunda isə IoT texnologiyaları vasitəsilə enerji istehlakı optimallaşdırılır.

Lakin bu çoxsəviyyəli arxitektura eyni zamanda müxtəlif hücum nöqtələrinin yaranmasına səbəb olur. Hər bir səviyyə potensial zəiflik mənbəyi kimi çıxış edə bilər və bu da ümumi sistemin təhlükəsizliyini risk altına alır.



Şəkil 1: Ağıllı şəhər infrastrukturunun IoT təhlükəsizlik modeli

Şəkil 1-də göstərildiyi kimi, təhlükəsizlik modeli üç səviyyədə (cihaz, şəbəkə və bulud) təmin olunmalıdır. Əgər bu zəncirin hər hansı bir halqasında zəiflik olarsa, bütün kritik infrastruktur risk altına düşür.

İoT TƏHLÜKƏSİZLİYİNDƏ ƏSAS ÇAĞIRIŞLAR

Kritik infrastrukturu qoruyarkən aşağıdakı spesifik çətinliklər yaranır:

• Cihazların müxtəlifliyi (heterogenlik):

IoT mühitində yüzlərlə fərqli istehsalçıya məxsus cihazlar və standartlaşdırılmamış protokollar mövcuddur. Bu heterogenlik sistemlər arasında uyğunluq problemləri yaradır və vahid təhlükəsizlik siyasətinin tətbiqini çətinləşdirir. Müxtəlif platformalar arasında məlumat mübadiləsinin təmin olunması üçün interoperabellik mexanizmlərinin və ümumi standartların tətbiqi vacibdir.

• İdentifikasiya və identitet idarəetməsi (Identity Management):

Hər bir sensorun, cihazın və istifadəçinin sistem daxilində etibarlı şəkildə tanınması və autentifikasiyası zəruridir. Zəif identifikasiya mexanizmləri saxta cihazların şəbəkəyə daxil olmasına və sistemə müdaxilə etməsinə şərait yarada bilər. Bu baxımdan sertifikat əsaslı autentifikasiya, PKI infrastrukturu və çoxfaktorlu identifikasiya metodlarının tətbiqi mühüm əhəmiyyət daşıyır.

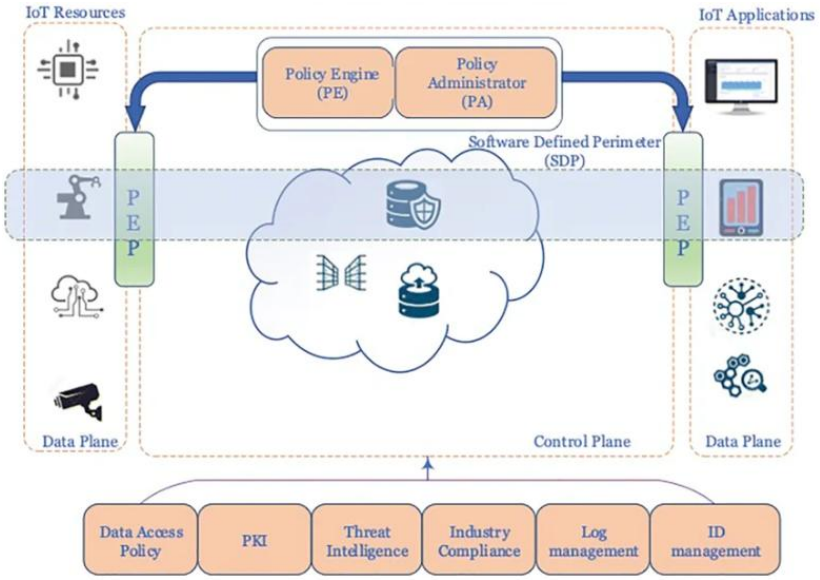
• Məlumat bütövlüyü və təhlükəsiz ötürmə:
IoT sistemlərində ötürülən məlumatların və idarəetmə əmrlərinin dəyişdirilmədən ünvanına çatdırılması kritik əhəmiyyət kəsb edir. Məsələn, su bəndinin qapağının açılması kimi əmrlərin ötürülməsi zamanı hər hansı müdaxilə ciddi fəsadlara səbəb ola bilər. Buna görə də məlumatların şifrələnməsi, rəqəmsal imza texnologiyalarının tətbiqi və təhlükəsiz rabitə protokollarının istifadəsi vacibdir.

CƏDVƏL 1: IOT TƏHLÜKƏSIZLIK RISKLƏRI VƏ HƏLL MODELLƏRI

Risk Kateqoriyası	**Təsviri**	**Təklif olunan Həll**
DDoS Hücumları	Sensorların saxta sorğularla yüklənməsi.	Şəbəkə seqmentasiyası və IPS sistemləri.
Məlumat sızması	Şəhər sakinlərinin və infrastrukturun məlumatlarının oğurlanması.	Ucdan-uca şifrələmə (End-to-end encryption).
Fiziki müdaxilə	Sensorların fiziki olaraq sıradan çıxarılması.	Tamper-proof (müdaxiləyə davamlı) korpuslar.

KRİTİK İNFRASTRUKTURUN MÜHAFİZƏSİ ÜÇÜN STRATEJİ YANAŞMALAR

Təhlükəsizliyi təmin etmək üçün "sıfır etibar" (Zero Trust) və blokçeyn kimi müasir yanaşmalar tətbiq edilməlidir.

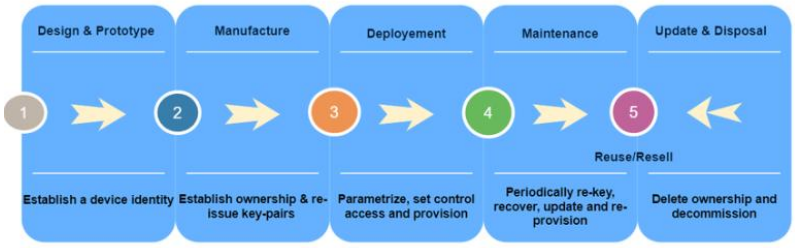


Şəkil 2: Kritik infrastrukturlarda Zero Trust (Sıfır Etibar) yanaşması

Şəkil 2-də təsvir olunan yanaşma göstərir ki, şəbəkədəki heç bir cihaz "etibarlı" hesab edilmir və hər bir əməliyyat üçün təkrar avtorizasiya tələb olunur. Bu, Bakı şəhərinin enerji sistemlərinin kənar müdaxilələrdən qorunması üçün ən effektiv yoldur.

Cihaz İdentifikasiyası və PKI

Hər bir IoT cihazının unikal rəqəmsal şəxsiyyəti olmalıdır. Cihazın şəbəkəyə qoşulma anından etibarən onun fəaliyyəti monitorinq edilməlidir.



Şəkil 3: IoT cihazlarının həyat dövrü ərzində təhlükəsizlik idarəetməsi

Şəkil 3-də cihazın istehsaldan istismardan çıxarılmasına qədər keçdiyi mərhələlər vizuallaşdırılıb. Hər bir mərhələdə proqram təminatının yenilənməsi (OTA updates) və zəifliklərin yoxlanılması vacibdir.

BAKI ŞƏHƏRİ ÜÇÜN TÖVSİYƏLƏR

Bakıda kritik infrastrukturun IoT əsaslı təhlükəsizliyi üçün aşağıdakılar təklif olunur:

1. **Vahid Kiber-Təhlükəsizlik Mərkəzi:** Bütün ağıllı sistemlərin (su, işıq, qaz, nəqliyyat və digər kritik infrastrukturların) fəaliyyətini izləyən və koordinasiya edən vahid Təhlükəsizlik Əməliyyatları Mərkəzinin (Security Operations Center – SOC) yaradılması vacibdir. Bu mərkəz real vaxt rejimində təhlükələrin aşkarlanması, insidentlərin idarə olunması və operativ cavab tədbirlərinin həyata keçirilməsini təmin edəcəkdir. Eyni zamanda SOC müxtəlif sistemlərdən daxil olan məlumatları birləşdirərək ümumi risk mənzərəsini formalaşdırır və proaktiv təhlükəsizlik strategiyalarının hazırlanmasına imkan yaradır.
2. **Milli Kriptoqrafik Standartlar:** IoT sistemlərində ötürülən və saxlanılan məlumatların qorunması üçün etibarlı şifrələmə mexanizmlərinin tətbiqi mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu baxımdan milli kriptoqrafik standartların hazırlanması və tətbiqi məlumat təhlükəsizliyinin artırılmasına xidmət edir. Yerli alqoritmlərin istifadəsi həm məlumatların məxfiliyini təmin edir, həm də xarici texnologiyalardan asılılığı azaldır. Bununla yanaşı, müasir beynəlxalq standartlarla uyğunluğun qorunması da vacibdir.
3. **Hüquqi Çərçivə:** IoT cihazlarının idxalı, istifadəsi və istismarı üçün ciddi hüquqi və texniki tələblərin müəyyən edilməsi zəruridir. Bu məqsədlə təhlükəsizlik sertifikasiyası mexanizmlərinin tətbiqi cihazların keyfiyyətinə və etibarlılığına nəzarəti təmin edir. Sertifikasiya prosesi cihazların təhlükəsizlik standartlarına uyğunluğunu yoxlamağa və potensial risklərin qarşısını almağa kömək edir. Eyni zamanda bu sahədə normativ-hüquqi bazanın təkmilləşdirilməsi IoT ekosisteminin daha təhlükəsiz və tənzimlənən şəkildə inkişafına şərait yaradır.

NƏTİCƏ

Kritik infrastrukturun IoT vasitəsilə idarə edilməsi böyük üstünlüklər gətirsə də, təhlükəsizlik məsələləri arxa plana atılmamalıdır. Xüsusilə enerji, nəqliyyat və su təchizatı kimi həyati əhəmiyyətli sahələrdə IoT texnologiyalarının tətbiqi kiber risklərin də paralel şəkildə artmasına səbəb olur. Bu baxımdan təhlükəsizlik yanaşmaları sistemin ilkin dizayn mərhələsindən etibarən nəzərə alınmalıdır.

Bakı şəhərinin "Ağıllı Şəhər" layihələri çərçivəsində tətbiq olunacaq hər bir yenilik kiber-dayanıqlılıq prinsipi üzərində qurulmalıdır. Bu, yalnız texniki müdafiə mexanizmlərinin tətbiqi ilə məhdudlaşmamalı, eyni zamanda idarəetmə, monitorinq və operativ cavab sistemlərinin də inkişafını əhatə etməlidir. Şəhər miqyasında təhlükəsizlik standartlarının tətbiqi və vahid koordinasiya mexanizminin yaradılması bu sahədə mühüm rol oynayır.

Təklif olunan çoxsəviyyəli müdafiə modeli şəhər infrastrukturunu həm məqsədli kiberhücumlardan, həm də texniki nasazlıqlardan qorumağa imkan verəcəkdir. Bu model çərçivəsində Zero Trust yanaşması, güclü autentifikasiya mexanizmləri və məlumatların şifrələnməsi kimi tədbirlər əsas yer tutur. Eyni zamanda sistemlərin davamlı monitorinqi və mütəmadi yenilənməsi təhlükəsizlik səviyyəsinin qorunmasına şərait yaradır.

Gələcək perspektivdə IoT təhlükəsizliyi sahəsində innovativ həllərin tətbiqi və yerli mütəxəssislərin hazırlanması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlar və praktiki tətbiqlər Azərbaycanın ağıllı şəhər konsepsiyasının daha təhlükəsiz və dayanıqlı şəkildə inkişafına töhfə verəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT

1. Əliyev, R.Ə. – Ağıllı şəhər texnologiyaları və onların tətbiqi. Bakı: Elm nəşriyyatı, 2020
2.Məmmədov, A.H. – *Rəqəmsal transformasiya və kiber təhlükəsizlik*. Bakı, 2022.
3.Hüseynov, N.T. – "Nəqliyyat sistemlərində intellektual idarəetmə üsulları", *Azərbaycan Texniki Universitetinin xəbərləri*, 2021, №3, s. 45–52.
4.Abdullayev, F.M. – *Ağıllı şəhər və rəqəmsal transformasiya*. Bakı: ADNSU nəşriyyatı, 2022.
5.Vəliyev, E.K. – *Nəqliyyat logistikasında müasir yanaşmalar*. Bakı, 2018.
6.Quliyev, S.R. – "IoT sistemlərində təhlükəsizlik və risklərin idarə olunması", *Azərbaycan Texniki Universitetinin xəbərləri*, 2021, №4, s. 60–68.
7.Иванов, В.В. – "Интернет вещей в транспортных системах", *Вестник ИТ*, 2020, №5.
8.Кузнецов, С.В. – "Безопасность интернета вещей в умных городах", *Информационная безопасность*, 2020, №3.
9.Sicari, S., Rizzardi, A., Grieco, L.A., Coen-Porisini, A. –"Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead", *Computer Networks*, 2015.

10.Weber, R.H. –"Internet of Things – New security and privacy challenges", *Computer Law & Security Review*, 2010.
11.Abomhara, M., Køien, G.M. –"Security and privacy in the Internet of Things: Current status and open issues", *International Conference on Privacy and Security in Mobile Systems*, 2014.
12.Humayed, A., Lin, J., Li, F., Luo, B. –"Cyber-Physical Systems Security—A Survey", *IEEE Internet of Things Journal*, 2017.
13.Ferrag, M.A., Maglaras, L., Janicke, H. –"Deep learning for cyber security intrusion detection in IoT", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2020.
14.Alcaraz, C., Zeadally, S. –"Critical infrastructure protection: Requirements and challenges for the 21st century", *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2015.
15.Kolias, C., Kambourakis, G., Stavrou, A., Voas, J. –"DDoS in the IoT: Mirai and other botnets", *IEEE Computer*, 2017.
16.ENISA (European Union Agency for Cybersecurity) –*Baseline Security Recommendations for IoT*, 2017.
17.Cisco –*IoT Security Framework and Smart City Security Architecture*, 2019.

IOT ƏSASLI AĞILLI EV SISTEMLƏRININ INKIŞAF MƏRHƏLƏLƏRI VƏ DIZAYNİ

MƏHƏRRƏMOVA CƏMILƏ CƏMIL QIZI
Sumqayıt Dövlət Universiteti
İnformasiya Texnologiyaları
mhrrmvss08@gmail.com
SUMQAYIT, AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ

Ağıllı ev sistemləri Əşyaların interneti (IoT) texnologiyalarının sürətli inkişafı sayəsində son illərdə geniş yayılmış və məişətə yeni imkanlar gətirmişdir. Bu tezisdə IoT əsaslı ağıllı ev sistemlərinin inkişaf mərhələləri, mövcud vəziyyəti və bu sistemlərin dizayn və idarəedilməsi araşdırılmışdır. İlk olaraq, IoT texnologiyasının yaranma tarixindən başlayaraq bu günə qədər keçdiyi inkişaf yolu təhlil edilir. Daha sonra IoT-yə əsaslanan ev avtomatizasiyası sahəsində aparılmış elmi tədqiqatların icmalı təqdim olunur, mövcud ağıllı ev həlləri və platformaları incələnir. Həmçinin ağıllı ev sistemlərində istifadə olunan sensor və aktuatorların imkanları xülasə edilir. Tezisdə təklif olunan sistemin arxitekturası və tədqiqat metodu (Arduino, Raspberry Pi, MQTT və s. kimi texnologiyalarla) izah olunur. Sonda hazırlanan ağıllı ev sisteminin tətbiqi nəticələri, onun üstünlükləri (enerji səmərəliliyi, təhlükəsizlik, rahatlıq) və səmərəliliyi müzakirə edilir.

AÇAR SÖZLƏR: (Ən az 3 açar söz). IoT, Ağıllı Ev, Ev Avtomatizasiyası, Sensorlar, Aktuatorlar.

GIRIŞ

Ağıllı ev konsepsiyası, yaşayış mühitində yerləşən cihazların avtomatlaşdırılması və uzaqdan idarə edilməsi ideyasını əhatə edir. Ənənəvi ev avtomatlaşdırma sistemləri (IoT dövründən əvvəl) adətən qapalı və proprietar platformalar üzərində qurulurdu. Bu cür köhnə sistemlərin genişlənmə qabiliyyəti məhdud olur, müxtəlif markaların cihazları ilə uyğunlaşma zəifliyi, yüksək xərc və uzaqdan nəzarət imkanının olmaması kimi çatışmazlıqlar müşahidə edilirdi. IoT texnologiyasının meydana çıxması ilə isə ev avtomatlaşdırmasında tamamilə yeni mərhələ başlamışdır. **IoT əsaslı ağıllı ev sistemləri** sayəsində evdəki cihazlar və sensorlar universal şəbəkə vasitəsilə bir-biri ilə əlaqələndirilə bilir, real vaxt rejimində məlumat mübadiləsi aparılır və coğrafi olaraq uzaq məsafədə yerləşən qurğular üzərində intellektual idarəetmə mümkün olur. Nəticədə, istifadəçilər internet üzərindən evlərini istənilən yerdən nəzarət edə bilir, cihazlar arasında qarşılıqlı uyğunluq və avtomatlaşdırma səviyyəsi yüksəlir.

IOT TEXNOLOGIYASININ INKIŞAFI VƏ MÜASIR VƏZIYYƏTI

IoT texnologiyasının inkişaf mərhələlərini bir neçə dövrə ayırmaq olar. Birinci mərhələ konseptual dövr olub, 1990-cı illərin sonu – 2000-ci illərin əvvəllərini əhatə edir. Bu dövrdə IoT ideyası formalaşmağa başlayırdı. 1999-cu ildə Kevin Ashton tərəfindən "Əşyaların interneti" termininin ortaya atılması bu sahədə mühüm hadisə idi. Həmin illərdə IoT-nin praktiki tətbiqləri məhdud idi və əsasən RFID (Radio-Frequency Identification) kimi texnologiyalarla obyektlərin izlənməsi kimi sahələrdə özünü göstərirdi. 2000-ci illərin əvvəllərində akademik dairələrdə və sənayedə IoT konsepsiyasının təməl standartları və infrastrukturu üzərində işlər aparılırdı.

İkinci mərhələ – 2010-cu illər – IoT-nin genişlənmə və kommersiyalaşma dövrüdür. Simsiz rabitənin inkişafı (xüsusilə Wi-Fi və mobil internetin sürətlənməsi, 3G/4G), sensor texnologiyalarının ucuzlaşması və bulud hesablama xidmətlərinin əlçatan olması IoT tətbiqlərini sürətlə artırdı. Bu dövrdə ilk kütləvi ağıllı cihazlar bazara çıxmağa başladı. Məsələn, 2010-cu ildə ortaya çıxan Nest Learning Thermostat – istifadəçi vərdişlərini öyrənərək istilik sistemini avtomatik tənzimləyən termostat – ağıllı ev konsepsiyasının populyarlığını artırdı. 2014-cü ildə Amazon Echo səsli köməkçisi (Alexa) və 2016-cı ildə Google Home kimi cihazlar milyonlarla evə daxil olaraq IoT əsaslı səs-köməkçi ekosistemlərini yaratdı. Bu illərdə ağıllı işıqlar, ağıllı platalar (smart plugs), ağıllı kilidlər kimi müxtəlif məişət IoT qurğuları sürətlə yayılmışdır. Nəticədə 2015-ci ildən etibarən dünyada internetə qoşulu cihazların sayı insanların sayını üstələmişdir. Üçüncü mərhələ – müasir dövr (2020-ci illər) – IoT-nin yetkinləşdiyi və genişmiqyaslı tətbiqlərin reallaşdığı mərhələdir. Hal-hazırda IoT ekosistemi təkcə fərdi ağıllı ev cihazlarını deyil, həm də ağıllı şəhər, sənaye IoT (IIoT), sağlamlıq IoT (IoMT) kimi çoxşaxəli istiqamətləri əhatə edir. 2020-ci illərin ortalarında qlobal IoT bazarının trilyon dollarlıq həcmə çatdığı və illik 10-20% civarında böyümə nümayiş etdirdiyi bildirilir. 2025-ci il üçün proqnozlara görə dünya üzrə IoT cihazlarının sayı 20-25 milyard aralığında olacaq və bu cihazlar tərəfindən illik 90+ zettabayt həcmində məlumat yaradılacaqdır[8]. IoT-nin müasir inkişafında 5G mobil şəbəkələrinin yayılması, süni intellekt (AI) və maşın öyrənmənin IoT sistemlərinə inteqrasiyası, həmçinin kənar hesablama (edge computing) konsepsiyasının tətbiqi mühüm rol oynayır. Bu texnologiyalar IoT qurğularının daha sürətli, ağıllı və etibarlı xidmət göstərməsinə şərait yaradır.

IOT ƏSASLI EV AVTOMATIZASIYASI ÜZRƏ TƏDQIQATLARIN XÜLASƏSI

Ağıllı ev sistemləri son onillikdə elmi araşdırmaların fəal mövzularından birinə çevrilmişdir. Bir çox tədqiqatçılar IoT-yə əsaslanan ev avtomatlaşdırma sistemlərinin müxtəlif aspektlərini araşdırmış və bir sıra innovativ həllər təklif etmişlər. Bu araşdırmaları ümumiləşdirmək üçün qeyd etmək olar ki, ədəbiyyatda ağıllı evlərə dair tədqiqatlar əsasən aşağıdakı istiqamətləri əhatə edir:

- Arxitektura və Təbəqələr: Bir çox işlər ağıllı ev sistemlərinin çoxqatlı arxitekturasını təhlil edir. Bu arxitektura adətən sensor təbəqəsi, şəbəkə təbəqəsi, orta proqram təbəqəsi və tətbiq təbəqəsindən ibarətdir.
- İstifadə olunan texnologiyalar: Ədəbiyyatda IoT əsaslı ağıllı evlərin reallaşdırılması üçün geniş çeşiddə texnologiyalardan bəhs olunur. Mikrokontrollerlər ucuz və rahat qurğular olaraq sensor və aktuatorları idarə etmək üçün tez-tez istifadə edilir.
- Tətbiq sahələri və funksionallıq: Ağıllı ev tədqiqatlarının əhəmiyyətli hissəsi konkret tətbiq sahələrinə yönəlir. Enerji effektivliyi və enerji idarəetməsi bunlardan biridir – ağıllı termostatlar, ağıllı işıqlandırma sistemləri vasitəsilə otaq istiliyini və işıq səviyyəsini optimallaşdırmaq üçün algoritmlər hazırlanmışdır. Təhlükəsizlik də geniş araşdırılan sahədir – ağıllı təhlükəsizlik sistemləri hərəki sensorlar, kamera və qapı sensorları vasitəsilə evdə nəzarəti gücləndirir, təhlükə anında mobil cihazlara real-vaxtlı xəbərdarlıqlar göndərir. Komfort və avtomatlaşdırma: İstifadəçi təcrübəsinin yaxşılaşdırılması məqsədilə səsli köməkçilərin inteqrasiyası, ağıllı səs sistemləri, pərdə və qapıların avtomatlaşdırılması kimi mövzular tədqiqat obyektidir.
- Analitika və süni intellekt: Müasir tədqiqatlar ağıllı ev sistemlərinə maşın öyrənməsi və süni intellekt alqoritmlərinin tətbiqini də əhatə edir.

Ümumilikdə, ədəbiyyat icmalı onu göstərir ki, 2020–2025-ci illər ərzində IoT əsaslı ağıllı ev sistemlərinin dizaynı, enerji optimizasiyası, təhlükəsizlik və istifadəçi interfeysi sahələrində əhəmiyyətli nailiyyətlər əldə edilmişdir. Məsələn, daha etibarlı çoxtəbəqəli arxitekturalar, enerji qənaətini artıran qabaqcıl nəzarət üsulları və gücləndirilmiş şifrələmə ilə təhlükəsizlik mexanizmləri təklif olunmuşdur.

AĞILLI EV SISTEMLƏRININ MÖVCUD HƏLLƏRI

Hazırda bazarda müxtəlif istehsalçılar tərəfindən təqdim edilən çoxsaylı ağıllı ev həlləri və platformaları mövcuddur. Bu həllər funksional imkanlarına, istifadə etdikləri protokollara və

ekosistemlərinə görə fərqlənə bilər. Mövcud həlləri ümumi şəkildə iki kateqoriyaya ayırmaq olar: kommersiya (qapalı) platformalar və açıq platformalar.

Kommersiya platformalar adətən böyük texnoloji şirkətlərin ekosistemləri ətrafında formalaşır. Məsələn, Google şirkətinin Nest/Google Home platforması, Amazon şirkətinin Alexa ekosistemi (Echo cihazları ilə), Apple şirkətinin HomeKit platforması və Samsung şirkətinin SmartThings sistemi hal-hazırda ən populyar ağıllı ev həlləridir. Bu platformalar istifadəçilərə səsli köməkçilər (Google Assistant, Alexa, Siri və s.) vasitəsilə işıqlandırma, termostat, təhlükəsizlik kameraları, qapı kilidləri və digər ağıllı cihazları idarə etməyə imkan verir.

Açıq platformalar isə istifadəçi icmaları tərəfindən inkişaf etdirilən və geniş təhlil olunan həllərdir. Bu kateqoriyaya Home Assistant, OpenHAB, Domoticz kimi açıq mənbəli proqram təminatları daxildir. Məsələn, Home Assistant platforması müxtəlif markaların yüzlərlə cihazını vahid bir ev avtomatlaşdırma mərkəzində birləşdirməyə imkan verir.

Bazarda digər ağıllı ev sistemləri də mövcuddur: KNX kimi simli protokollar onilliklərdir binaların avtomatlaşdırılmasında standart sayılır; LoRaWAN kimi LPWAN texnologiyaları geniş ərazilərdə yerləşən sensorları qoşmaq üçün istifadə edilir; IFTTT kimi bulud xidmətləri müxtəlif ağıllı xidmət və cihazları "əgər-bu-onda-o" qaydasında birləşdirir; həmçinin Yandex Smart Home, Xiaomi Mi Home, Tuya kimi regional və ya xüsusi ekosistemlər də çox sayda istifadəçiyə malikdir. Lakin trend göstərir ki, bütün bu müxtəlif həllər getdikcə bir-birinə yaxınlaşır və ümumi standartlar əsasında qarşılıqlı əlaqə qurmağa başlayır. Məsələn, bir çox yeni cihaz artıq həm Alexa, həm Google Home, həm HomeKit ilə uyğun gəlir; həm ZigBee, həm də Matter dəstəkli çiplər bazara çıxır. Yəni, ağıllı evlərin fragmentasiya dövrü tədricən bitməkdədir.

7SENSOR VƏ AKTUATORLARIN IMKANLARININ XÜLASƏSI

Ağıllı ev sistemlərinin "hissiyat orqanları" sensorlar, "icraedici əzaları" isə aktuatorlar hesab oluna bilər. Sensorlar mühitdəki fiziki parametrləri ölçərək elektron siqnallara çevirir, aktuatorlar isə alınan siqnallar əsasında fiziki dünyada müəyyən hərəkətləri yerinə yetirir.

Sensorlar: Ağıllı evlərdə ən çox rast gəlinən sensor tipləri bunlardır:

- Temperatur və rütubət sensorları: Ev daxilində havanın temperaturunu və nisbi rütubəti ölçür. Bu sensorlar vasitəsilə istilik sistemləri (kombi, kondisioner) avtomatik tənzimlənə bilər.
- Hərəkət və yaxınlıq sensorları: PIR (Passive Infrared) tipli hərəkət detektorları ən geniş istifadə olunanlardandır – bunlar insan bədəninin infraqırmızı istilik şüalanmasını hiss edərək hərəkəti aşkarlayır. Ağıllı ev təhlükəsizlik sistemlərində PIR sensorları girişlərdə (məsələn, dəhlizdə) quraşdırılaraq izinsiz hərəkət olduqda siqnalizasiya verir.
- Duman, tüstü və qaz sensorları: Yanğın təhlükəsizliyi məqsədilə evlərdə quraşdırılan tüstü detektorları (məs., fotoelektrik ya da ion tipli) havada tüstü hissəciklərini aşkarlayır və həyəcan siqnalı verir. Karbon monoksit (CO) sensorları sızan zəhərli qaza reaksiya verərək sakini vaxtında xəbərdar edir.
- İşıq və gün işığı sensorları: LDR (Light Dependent Resistor) və ya fotodiod əsaslı işıq sensorları mühitin işıq səviyyəsini ölçür. Onların yardımı ilə ağıllı ev sistemləri günün vaxtına və işıq miqdarına əsasən pərdələri açıb-bağlaya, gecə vaxtı həyətyanı işıqları avtomatik yandıra bilər.
- Səs və vibrasiya sensorları: Mikrofon əsaslı səs sensorları yüksək səs (məsələn, sındırılan şüşənin səsi) aşkarlandıqda siqnalizasiya üçün, yaxud səsli əmr interfeyslərində istifadə oluna bilər.

Sensor texnologiyalarının davamlı inkişafı sayəsində cihazlar daha kiçik ölçülü, daha dəqiq və enerji səmərəli olmaqdadır. Məsələn, müasir MEMS texnologiyalı sensorlar (mikro-elektromexaniki sistemlər) olduqca kiçik ölçüdə yüksək həssaslıq təklif edir.

Aktuatorlar: Sensorların topladığı informasiyaya uyğun olaraq müəyyən əməliyyatları yerinə yetirən qurğular aktuatorlardır. Ağıllı evdə yayğın aktuator nümunələri:

- Rele və smart plaq (priz): Rele elektronik açar olub, elektrik dövrəsini bağlayıb-açmaq üçün istifadə edilir. Ağıllı ev sistemlərində rele modulları işıq lampalarını, rozetkaları, məişət texnikasını elektrik xətdən ayırıb-qoşmaq üçün tətbiq olunur.
- Motorlar və sərtgüdümlü aktuatorlar: Bəzi ev əşyalarının mexaniki hərəkəti üçün elektrik motorlarından istifadə edilir.
- Termostat və HVAC aktuatorları: İstilik və soyutma sistemlərinin idarəsində aktuator rolunu termo-aktuatorlar oynayır. Məsələn, istilik radiatorlarında termostatik klapanlar üzərində elektrik aktuatorları quraşdırılaraq mərkəzi sistemdən gələn əmrə əsasən açılıb bağlana bilir.

- Audio-vizual aktuatorlar: Bunlar klassik mexaniki aktuatorlar olmasa da, ağıllı ev sistemlərində xəbərdarlıq və ya kommunikasiya məqsədilə istifadə olunan qurğulardır. Məsələn, evdə həyəcan siqnalı vermək üçün səs siqnalizatoru (siren) bir aktuator kimi sistemdən siqnal alıb gur səslə xəbərdarlıq edir.

Nəticə etibarilə, sensorlar və aktuatorlar ağıllı ev sistemlərinin əsas sütunlarıdır. Sensorlardan toplanan zəngin məlumat sayəsində ev avtomatizasiyası mümkün olur, aktuatorlar vasitəsilə isə bu məlumatlara uyğun real fəaliyyətlər icra edilir. Bu iki element arasında effektiv əlaqə yaratmaq ağıllı ev dizaynının əsas hədəfidir – yəni "hiss et və hərəkət et" dövrü nə qədər optimal qurulsa, sistem bir o qədər ağıllı və faydalı olacaqdır.

TƏDQİQAT METODU

Bu bölmədə IoT əsaslı ağıllı ev sisteminin dizaynı və reallaşdırılması üçün tətbiq olunan metodologiya təqdim olunur. Tədqiqat çərçivəsində prototip bir ağıllı ev sistemi qurulmuş və onun işləmə prinsipi sınaqdan keçirilmişdir. Sistem arxitekturası üç əsas komponentdən ibarətdir: sensor qatı, idarəetmə qatı və istifadəçi interfeysi qatı. Aşağıda bu komponentlər və istifadə olunan texnologiyalar ətraflı izah olunur.

Sensor və aktuator qatı: Ev mühitindən məlumat toplamaq və ətraf mühitə təsir etmək üçün müxtəlif sensorlar və aktuatorlar yerləşdirilmişdir. Sensor cihazları kimi DHT22 (temperatur/rütubət üçün), PIR hərəkət sensorları, MQ-2 tüstü/qaz sensoru və qapı açılma sensorları istifadə edilmişdir.

İdarəetmə qatı: Sistem arxitekturasının mərkəzi hissəsi Raspberry Pi 4 mini-kompüteridir. Raspberry Pi evin lokal şəbəkəsinə (Wi-Fi vasitəsilə) qoşulmuşdur və həm mərkəzi server, həm də şlüz funksiyasını yerinə yetirir.

İstifadəçi interfeysi qatı: İstifadəçilərin sistemi müşahidə edib idarə etməsi üçün bir neçə interfeys təmin edilmişdir. İlk növbədə, Raspberry Pi-də quraşdırılmış HTTP server (Flask mikroxidməti) vasitəsilə lokal veb interfeys hazırlanmışdır. İstənilən kompüter və ya smartfon brauzerindən bu interfeysə daxil olaraq evin cari vəziyyətini izləmək (sensor oxunuşları – otaq temperaturu, rütubət, işıqların açıq/qapalı statusu və s.), eləcə də cihazları idarə etmək olar.

Təhlükəsizlik tədbirləri: Sistemin dizaynında kibertəhlükəsizlik nəzərə alınmışdır. Raspberry Pi-də MQTT broker parol və TLS şifrələmə ilə qorunur ki, evin Wi-Fi şəbəkəsinə icazəsiz daxil olan biri brokerə birbaşa qoşulmasın.

Sınaq və test: Hazırlanan sistem real mənzil şəraitində sınaqdan keçirilmişdir. 3 otaqlı bir evdə müxtəlif otaqlara sensorlar yerləşdirilmiş, Raspberry Pi mərkəzdə qurulmuşdur. Test ssenariləri bunları əhatə etmişdir: gündüz və gecə vaxtlarında işıqlandırmanın avtomatik idarəsi, evdən çıxarkən "bütün cihazları söndür" funksiyasının yoxlanması, enerji istehlakı ölçümləri, simulyasiya olunmuş təhlükəsizlik pozuntusu (qapı sensorunun kənar müdaxilə ilə aktivləşdirilməsi) zamanı sistemin reaksiya müddəti və s.

NƏTİCƏLƏR

Hazırlanmış IoT əsaslı ağıllı ev sistemi prototipinin sınaq və tətbiqi nəticəsində bir sıra üstünlüklər və sistemin səmərəlilik göstəriciləri müşahidə olunmuşdur. Əsas nəticələr aşağıdakı kimi ümumiləşdirilə bilər:

- Uzaqdan nəzarət və rahatlıq: Sistem ev avadanlıqlarının internet vasitəsilə istənilən yerdən idarə olunmasına imkan verdi. İstifadəçilər smartfon tətbiqi və ya veb interfeys üzərindən işıqları yandırıb-söndürə, termostat dərəcəsini tənzimləyə, qapıları kilidləyə bildilər.
- Enerji səmərəliliyi: Sistem evdə enerji istehlakının azaldılmasına kömək etdi. Avtomatlaşdırma ssenarilərinə uyğun olaraq otaqlarda heç kim olmadıqda işıqların və kondisionerin söndürülməsi, təbii işıq kifayət etdikdə pərdələrin avtomatik açılması kimi funksiyalar real şəraitdə enerji qənaəti təmin etdi.
- Təhlükəsizlik və etibarlılıq: Quraşdırılmış ağıllı təhlükəsizlik funksiyaları sınaqdan uğurla keçdi. Hərəkət sensorları vasitəsilə evdə icazəsiz hərəkət aşkarlandığı zaman (simulyasiya üçün gecə evə biri daxil olmuş kimi qurğu təlimləndirilib) sistem dərhal smartfon tətbiqinə təhlükə bildirişi göndərdi və daxili siqnalizasiya sirenasını işə saldı.
- İnteqrasiya və genişlənə bilmə: Qurulan sistem açıx standartlar üzərində qurulduğu üçün (MQTT, Wi-Fi, REST API və s.), ona yeni qurğular əlavə etmək asan oldu. Sınaq zamanı mövcud şəbəkəyə əlavə bir ağıllı lampa (Philips Hue) inteqrasiya edildi – Home Assistant platforması üzərindən cəmi bir neçə dəqiqə ərzində bu lampa da sistemə qoşuldu və digər cihazlarla birlikdə avtomatlaşdırma ssenarilərinə daxil edildi.
- İstifadəçi məmnuniyyəti və interaktivlik: Test istifadəçiləri (ev sahibləri) sistemin istifadəsini qısa öyrənmə müddətindən sonra rahat hesab etdilər. Xüsusilə mobil tətbiqin sadə interfeysi və avtomatlaşdırılmış proseslər ev işlərinə sərf olunan vaxtı azaltdı.

Yekun olaraq, aparılan tədqiqat və prototip sınaqları göstərir ki, IoT əsaslı ağıllı ev sistemi ənənəvi ev avtomatlaşdırması ilə müqayisədə əhəmiyyətli üstünlüklər təmin edir. Bu üstünlüklərə enerji sərfiyyatının azalması, təhlükəsizliyin və rahatlığın artması, sistemin genişlənə bilməsi və fərdiləşdirilə bilməsi daxildir.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1.Sari, D. W., Khalifah, N. A., & Suyanto, S. (2016). The spillover effects of foreign direct investment on the firms' productivity performances. Journal of Productivity Analysis, 46(2), 199–233.
2.Liu, Z. (2008). Foreign direct investment and technology spillovers: Theory and evidence. Journal of Development Economics, 85(1–2), 176–193.
3.Christie ohn Geankoplis. Transport Processes and Separation Process Principles. Fourth Edition, Prentice Hall, 2002
4.Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ. Appligation of Information – Communication Technologies in Science and education. II International Conference. "Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions", Bakı, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391
Elazab, R., Ewais, A. M., & Abu-Adma, M. A. (2025).
5.Optimizing stand-alone microgrids with Lagrange multiplier technique: A cost-effective and sustainable solution for rural electrification. Franklin Open, 10, 100199. https://doi.org/10.1016/j.fraope.2024.100199
6.Umair, M., Cheema, M. A., Afzal, B., & Shah, G. (2023). Energy management of smart homes over fog-based IoT architecture. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 39, 100898. https://doi.org/10.1016/j.suscom.2023.100898
7.Condon, F., Martínez, J. M., Eltamaly, A. M., Kim, Y. C., & Ahmed, M. A. (2023). Design and Implementation of a Cloud-IoT-Based Home Energy Management System. Sensors, 23(1), 176. https://doi.org/10.3390/s23010176
8.Shakerighadi, B., Anvari-Moghaddam, A., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2018). Internet of Things for Modern Energy Systems: State-of-the-Art, Challenges, and Open Issues. Energies, 11(5), 1252. https://doi.org/10.3390/en11051252
9.O. Boz, I. Erdinç, E. Cam, "Energy-efficient HVAC control for smart homes using adaptive algorithms," IEEE Transactions on Smart Grid, 2020.

ELEKTRİK MÜHAFİZƏSİ RELELƏRİNDƏ KİBERTƏHLÜKƏSİZLİK

Vəliyev Ü.S
Naxçıvan Dövlət Univeristeti
ulvuvaliyev89@gmail.com

Xülasə: *Enerji sistemlərinin artan rəqəmsallaşması elektrik mühafizə relelərinin funksionallığını və səmərəliliyini inqilabi şəkildə dəyişdirib. Bu rəqəmsal relelər nasazlıqların aşkarlanması, monitorinqi və cavab mexanizmlərini gücləndirərək elektrik şəbəkələrinin etibarlılığını və sabitliyini təmin edir. Lakin onların bağlantısı və rabitə protokollarına etibar etməsi əhəmiyyətli kibertəhlükəsizlik riskləri yaradır və bu da onları zərərli hücumlar üçün potensial hədəfə çevirir. Rəqəmsal mühafizə relelərinə qarşı kibertəhdidlər, avadanlıqların zədələnməsi və şəbəkə təhlükəsizliyinin pozulması da daxil olmaqla ciddi nəticələrə səbəb ola bilər.*

Giriş. Rəqəmsal texnologiyaların enerji sistemlərinə inteqrasiyası elektrik şəbəkələrinin istismarını və idarə olunmasını əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirib [1, 2, 3]. Bu irəliləyişlər arasında rəqəmsal elektrik mühafizə releləri enerji sisteminin əməliyyatlarının etibarlılığını və təhlükəsizliyini təmin etməkdə mühüm rol oynayır. Bu cihazlar elektrik parametrlərini izləyir, nasazlıqları aşkarlayır və avadanlıqların zədələnməsinin qarşısını almaq və elektrik kəsintilərini minimuma endirmək üçün dövrə açarlarını işə salır [4]. Elektromexaniki sələflərindən fərqli olaraq, rəqəmsal relelər enerji sisteminin qorunmasında dəqiqliyi, çevikliyi və səmərəliliyi artırmaq üçün mikroprosessorlardan, rabitə protokollarından və uzaqdan giriş

imkanlarından istifadə edir. Bununla belə, mühafizə relelərinin rəqəmsallaşdırılması zəifliklərin yeni bir ölçüsünü də ortaya çıxarıb [5]. Bu cihazlar rabitə şəbəkələri vasitəsilə bir-birinə bağlandıqca, onlar getdikcə kibertəhlükəsizlik təhdidlərinə məruz qalırlar. Qoruyucu relelərə edilən kiberhücumlar elektrik kəsintiləri, avadanlıqların zədələnməsi və şəbəkə sabitliyinin pozulması da daxil olmaqla dağıdıcı nəticələrə səbəb ola bilər. Hücumçular rele əməliyyatlarını pozmaq, məlumatları saxtalaşdırmaq və ya parametrləri manipulyasiya etmək üçün zəif identifikasiya mexanizmlərindən [6], köhnəlmiş proqram təminatından [7] və ya təhlükəsiz olmayan rabitə protokollarından [8] istifadə edə bilərlər. Bu cihazların şəbəkə bütövlüyünün qorunmasında mühüm rol oynadığını nəzərə alsaq, əlaqəli kibertəhlükəsizlik risklərinin başa düşülməsi və azaldılması son dərəcə vacibdir.

Elektrik Qoruyucu Relelərə Hücumlar

Rele hücumları: Rele hücumları, zədələnmiş birins reledən ehtiyat releyə bir sövdələşmə sorğusu göndərməklə və sorğunu başqa bir zədələnmiş həmyaşıd rele ilə təsdiqləməklə dolayı yolla bir releni sövdələşdirmək üçün istifadə edilə bilər [10]. Təcavüzkar həmçinin bir sıra röleləri sövdələşdirərək kaskad nasazlığına səbəb ola bilər [11]. Təcavüzkarlar xəttin birincil rölesini sövdələşdirə və sonra xətti birbaşa sövdələşdirə bilərlər. Təcavüzkarlar cərəyan transformatorlarının və ya gərginlik transformatorlarının ölçülmüş impedansını manipulyasiya edə, onun relin zona parametrinə düşməsinə və sövdələşmə əmrini işə salmasına səbəb ola bilərlər [14]. Təcavüzkarlar eşik dəyərləri kimi rele parametrlərini dəyişdirə bilərlər ki, bu da relin ya nasazlığı aşkar edə bilməməsinə, ya da yükün artması səbəbindən lazımsız şəkildə sövdələşməsinə səbəb ola bilər [12]. Təcavüzkarlar relin zona parametr qiymətlərini dəyişdirə bilərlər ki, bu da relin nasazlığı aşkar edə bilməməsinə və ya sistem yükünün artmasını səhvən nasazlıq kimi şərh etməsinə səbəb ola bilər.

Şəbəkə Rabitəsi Vasitəsilə Kiber Hücumlar: Ortadakı Adam hücumları IEC 61850 standartındakı zəifliklərdən istifadə etmək, yarımstansiya rabitə şəbəkəsinə saxta GOOSE məlumat çərçivələri yeritmək üçün istifadə edilə bilər. Kiberhücumlar rəqəmsal yarımstansiyalardakı GOOSE məlumatlarını manipulyasiya edə bilər [9]. Hücumçular idarəetmə mərkəzinin korporativ informasiya texnologiyasını hədəf alaraq, uzaqdan giriş hüquqlarına malik korporativ istifadəçi hesablarının etimadnamələrini oğurlamaqla yarımstansiya şəbəkəsinə giriş əldə edə bilərlər [13]. Xidmətdən imtina hücumları relelər arasındakı rabitəni poza bilər və bu da onların dövrə açarlarını açmaq kimi hərəkətləri tetiklemesine səbəb ola bilər. Yalan Məlumat Yerləşdirilməsi Hücumları, yalançı söndürmə və ya səhv işləməyə səbəb olmaq üçün rele sisteminə uydurma ölçmələr və ya məlumatlar yeritməyi əhatə edir. Hücumçular etibar mexanizmlərini manipulyasiya edərək relelərə yalançı söndürmə təsdiqləri göndərə bilərlər. Hücumçular əvvəlki nasazlıq şərtlərindən ölçmələri rele sisteminə təkrar oxuda və ya hədəf relesinə göndərilən cavab paketlərini dəyişdirə və ya atlaya bilərlər ki, bu da hücumçunun pozulmuş relelərinin etibarlı hesab edilməsinə səbəb ola bilər.

Gələcək Tədqiqat İstiqamətləri

Açıq mənbəli resurslar: İctimai məlumat dəstlərinin mövcudluğu mühafizə rölelərində kibertəhlükəsizlik üçün həllərin inkişafını əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdıracaq. Hazırda elektrik mühafizə sistemlərinə uyğunlaşdırılmış açıq şəkildə əldə edilə bilən, yüksək keyfiyyətli məlumat dəstlərinin olmaması bu sahədə tədqiqat və inkişafın inkişafında əsas maneədir [15, 16]. Normal əməliyyatlar və kiberhücum ssenarilərinin nümunələrini (məsələn, röle saxtakarlığı, xidmətdən imtina hücumları, GOOSE mesaj manipulyasiyası) ehtiva edən ictimai məlumat dəstləri mühafizə rölelərinə uyğunlaşdırılmış daha dəqiq təhdid modelləşdirməsinə imkan verir. Həm kiber (məsələn, şəbəkə trafik qeydləri), həm də fiziki (məsələn, röle səfər vaxtları, enerji axınları) məlumatları əhatə edən ictimai məlumat dəstləri kiberhücumlar və fiziki şəbəkə təsirləri arasındakı qarşılıqlı əlaqəni araşdırmağa imkan verir.

Davamlı idarəetmə alqoritmləri: Davamlı idarəetmə strategiyaları, xüsusən də müdaxilə aşkarlama sistemlərinin vaxt məhdudiyyətləri və ya resurs məhdudiyyətləri səbəbindən praktik olmadığı ssenarilərdə, mühafizə rölelərinin kibertəhlükəsizliyini artırmağın vacib aspektidir. Bu metodlar kiberhücumlar və ya əməliyyat pozuntuları ilə üzləşdikdə belə, sistemin effektiv şəkildə işləməyə davam etməsini təmin etməyə yönəlmişdir. Mühafizə röleləri üçün bu, pozulmuş komponentlərin və ya zərərli fəaliyyətlərin təsirini minimuma endirərkən nasazlıqları aşkar etmək və təcrid etmək qabiliyyətini qorumaq deməkdir. Davamlı idarəetmənin əsas prinsiplərindən biri kritik funksiyaların "zərif deqradasiya" rejimində işləməsini təmin etməkdir. Bir röle və ya onun rabitə şəbəkəsinə hücum edilərsə, sistem tam nasazlığın qarşısını almaq üçün azaldılmış, lakin sabit vəziyyətdə işlək qalmalıdır. Məsələn, bir rölin rabitəsi pozularsa, o, yerli, sərt kodlu mühafizə mexanizmlərinə qayıda bilər. Eynilə, davamlı idarəetmə, hücumların yaratdığı anormal davranışı aşkarlaya və kompensasiya edə bilən ehtiyat və alqoritmləri daxil etməklə nasazlığa dözümlülüyü

vurğulayır. Məsələn, rölelər potensial uyğunsuzluqları və ya zərərli hərəkətləri müəyyən etmək üçün qonşu cihazlara qarşı qərarları yoxlaya bilər. Digər vacib xüsusiyyət isə kiberhücumların təsirini azaldan avtomatik bərpa mexanizmlərinə aid olan özünü sağaltmadır. Saxta və ya manipulyasiya edilmiş mesajlar rele rabitəsini pozarsa, özünü bərpa üsullarına rabitə kanalının sıfırlanması və ya əlaqələrin yenidən təsdiqlənməsi daxil ola bilər. Mərkəzləşdirilməmiş qərar qəbuletmə də mühüm rol oynayır. Mərkəzi idarəetmə sistemlərinin təsirləndiyi hallarda, fərdi relelər xarici təlimatlar olmadan belə mühafizə əməliyyatlarını davam etdirərək yerli ölçmələrə əsaslanaraq müstəqil şəkildə qərarlar qəbul edə bilərlər.

Nəticələr

- Elektrik mühafizə relelərinin rəqəmsallaşdırılması enerji sisteminin etibarlılığını artırsa da, eyni zamanda əhəmiyyətli kibertəhlükəsizlik riskləri də yaradıb. Bu məqalədə hücum modelləri, risklərin azaldılması strategiyaları və gələcək tədqiqat istiqamətləri daxil olmaqla əsas çətinliklər nəzərdən keçirilib.
- Gələcək tədqiqatlar rele dayanıqlığını artırmaq üçün inteqrasiya olunmuş təhlükəsizlik yanaşmalarına və proaktiv müdafiə mexanizmlərinə üstünlük verməlidir. Tədqiqatçılar, sənaye maraqlı tərəflər və siyasətçilər arasında əməkdaşlıq, müasir elektrik şəbəkələrinin inkişaf edən kibertəhdidlərə qarşı təhlükəsizliyini təmin etmək üçün çox vacib olacaqdır.

ƏDƏBİYYAT

1. Velini, A.; Minetti, M.; Bruno, S.; Bonfiglio, A.; Procopio, R.; La Scala, M. Renewable energy communities virtual islanding: A decentralized service to improve distribution grid security. Sustain. Energy Grids Netw. 2025, 42, 101700.
2. Minetti, M.; Fresia, M. A Review of Primary and Secondary Control for Islanded No-Inertia Microgrids. In Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe), Bari, Italy, 7–10 September 2021; pp. 1–7.
3. Gaggero, G.; Piserà, D.; Girdinio, P.; Silvestro, F.; Marchese, M. From Microgrids to Virtual Power Plants: A Cybersecurity Perspective. In IoT Enabled-DC Microgrids; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2024; pp. 103–120.
4. Bonfiglio, A.; La Fata, A.; Minetti, M. A pattern recognition based tool for smart distribution networks reconfiguration. Electr. Power Syst. Res. 2025, 248, 111890.
5. Armellin, A.; Gaggero, G.B.; Cattelino, A.; Piana, L.; Raggi, S.; Marchese, M. Integrating OT data in SIEM platforms: An Energy Utility Perspective. In Proceedings of the 2023 International Conference on Electrical, Communication and Computer Engineering (ICECCE), Dubai, United Arab Emirates, 30–31 December 2023; pp. 1–7.
6. Vaidya, B.; Makrakis, D.; Mouftah, H.T. Authentication and authorization mechanisms for substation automation in smart grid network. IEEE Netw. 2013, 27, 5–11.
7. Langer, L.; Skopik, F.; Smith, P.; Kammerstetter, M. From old to new: Assessing cybersecurity risks for an evolving smart grid. Comput. Secur. 2016, 62, 165–176.
8. Reda, H.T.; Ray, B.; Peidaee, P.; Anwar, A.; Mahmood, A.; Kalam, A.; Islam, N. Vulnerability and impact analysis of the IEC 61850 GOOSE protocol in the smart grid. Sensors 2021, 21, 1554.
9. Rajkumar, V.S.; Tealane, M.; Ştefanov, A.; Palensky, P. Cyber attacks on protective relays in digital substations and impact analysis. In Proceedings of the 2020 8th IEEE Workshop on Modeling and Simulation of Cyber-Physical Energy Systems, Sydney, Australia, 21 April 2020; pp. 1–6.
10. Zhang, J.; Dong, Y. Cyber attacks on remote relays in smart grid. In Proceedings of the 2017 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS), Las Vegas, NV, USA, 9–11 October 2017; pp. 1–9.
11. Gaggero, G.B.; Rossi, M.; Girdinio, P.; Marchese, M. Cybersecurity issues in communication-based electrical protections. In Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), Prague, Czech Republic, 20–22 July 2022; pp. 1–6.
12. Gupta, N.K.; Gangolu, S.; Kumar, H. Impacts of Cyber Attack on Performance of Current-Based Relays in Transmission Lines. In Proceedings of the 2024 IEEE International Conference on Computer, Electronics, Electrical Engineering & Their Applications (IC2E3), Srinagar Garhwal, India, 6–7 June 2024; pp. 1–6.
13. Elrawy, M.F.; Hadjidemetriou, L.; Laoudias, C.; Michael, M.K. Modelling and analysing security threats targeting protective relay operations in digital substations. In Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Cyber Security and Resilience (CSR), Venice, Italy, 31 July–2 August 2023; pp. 523–529.

14. Gupta, N.K.; Gangolu, S. Performance of Distance Relay Against Cyber Attack in Transmission Lines. In Proceedings of the 2024 IEEE 4th International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET), Hyderabad, India, 31 July–3 August 2024; pp. 1–6.
15. Gaggero, G.B.; Armellin, A.; Portomauro, G.; Marchese, M. Industrial control system-anomaly detection dataset (ICS-ADD) for cyber-physical security monitoring in smart industry environments. IEEE Access 2024, 12, 64140–64149.
16. Faramondi, L.; Flammini, F.; Guarino, S.; Setola, R. A hardware-in-the-loop water distribution testbed dataset for cyber-physical security testing. IEEE Access 2021, 9, 122385–122396.

SÜNİ İNTELLEKT ƏSASLI İŞƏ QƏBUL SİSTEMİNİN LAYİHƏLƏNDİRİLMƏSİ VƏ TƏTBİQİ

Yusif Pirquliyev Namiq
Komputer Mühəndisliyi
Bakı Mühəndislik Universiteti
yusifpirquliyev7@gmail.com

***Xülasə*:** Müasir əmək bazarında müəssisələrə daxil olan namizəd müraciətlərinin sayının artması işə qəbul prosesinin daha sistemli və avtomatlaşdırılmış şəkildə təşkilini zəruri edir. Ənənəvi seçim metodları vaxt itkisi, subyektiv qərarvermə və böyük həcmli məlumatların effektiv idarə olunmaması kimi problemlər yaradır. Bu məqalədə elektron müsahibələrin filtrlənməsi və analizi əsasında süni intellekt dəstəklı işə qəbul sisteminin yaradılması araşdırılır. Tədqiqatda namizəd məlumatlarının avtomatik emalı, uyğunluq səviyyəsinin hesablanması və qərarvermə mexanizminin optimallaşdırılması məsələləri təhlil olunur [1,3].
***Açar sözlər*:** *süni intellekt, işə qəbul sistemi, elektron müsahibə, HR informasiya sistemləri, filtrasiya*

1. GİRİŞ

İnsan resurslarının effektiv idarə olunması təşkilatların rəqabət qabiliyyətini müəyyən edən əsas amillərdən biridir. Xüsusilə işə qəbul prosesi düzgün kadr seçimi baxımından kritik əhəmiyyət daşıyır. Müasir dövrdə namizədlərin sayının artması HR mütəxəssislərinin iş yükünü artırır və qərarvermə prosesini çətinləşdirir. Süni intellekt texnologiyaları isə böyük məlumat bazalarını analiz edərək qərarvermə prosesini avtomatlaşdırmağa imkan verir. AI əsaslı sistemlər namizədlərin bacarıqlarını və təcrübəsini analiz edərək onların vakansiyaya uyğunluğunu müəyyən edə bilir [5].

Bu problemlərin həlli üçün informasiya sistemləri və süni intellekt texnologiyalarının inteqrasiyası vacib hesab olunur. Məqalədə təqdim olunan sistem məhz bu məqsədlə hazırlanmışdır və ənənəvi işə qəbul prosesini avtomatlaşdırmağa yönəlmişdir [3].

2. ƏDƏBİYYAT İCMALI

Mövcud tədqiqatlar göstərir ki, süni intellekt texnologiyaları HR sahəsində geniş tətbiq olunur və işə qəbul prosesinin optimallaşdırılmasına xidmət edir. AI əsaslı sistemlər namizədlərin uyğunluğunu daha dəqiq qiymətləndirir və insan faktorundan qaynaqlanan səhvləri azaldır [1, 3].

Süni intellekt metodları namizədlərin uyğunluğunu daha dəqiq müəyyən etməyə imkan verir. Online işə qəbul sistemləri isə müraciətlərin mərkəzləşdirilmiş şəkildə idarə olunmasını təmin edir və təşkilatların daha geniş namizəd bazasına çıxışını mümkün edir [2, 4].

Bununla yanaşı, bəzi tədqiqatlarda alqoritmik qərəzlilik və məlumat təhlükəsizliyi kimi problemlər də vurğulanır. Bu səbəbdən AI sistemlərinin tətbiqində etik prinsiplərə riayət olunması vacibdir [6].

3. İŞƏ QƏBUL PROSESİNDƏ İNFORMASİYA SİSTEMLƏRİNİN ROLU

İnformasiya sistemləri işə qəbul prosesinin əsas mərhələlərinin avtomatlaşdırılmasını təmin edir [4]. Təklif olunan sistemdə bu rol aşağıdakı funksiyalar vasitəsilə həyata keçirilir:

- İstifadəçilərin (user və HR) qeydiyyatı və autentifikasiyası
- Vakansiyaların əlavə olunması və idarə edilməsi
- Namizədlərin vakansiyalara müraciət etməsi
- Vakansiyaların filtrasiya edilməsi

Müəllifin fikrincə, bu cür sistemlər yalnız məlumatların saxlanılması ilə məhdudlaşmamalı, eyni zamanda qərarverməni dəstəkləyən mexanizmlərlə təchiz olunmalıdır. Bu məqsədlə sistemə süni intellekt modulu inteqrasiya edilmişdir [1].

4. ELEKTRON MÜSAHİBƏLƏRİN FİLTRLƏNMƏSİ MEXANİZMİ

Elektron müsahibələrin filtrlənməsi mexanizmi namizədlərin vakansiya tələblərinə uyğunluğunu müəyyən etmək üçün müxtəlif analiz üsullarından istifadə edir. Təklif olunan model iki əsas mərhələdən ibarətdir: ilkin filtrasiya mərhələsi və analiz və qiymətləndirmə mərhələsi.

4.1 İlkin filtrasiya mərhələsi

Bu mərhələdə sistem namizədlərin minimal tələblərə uyğunluğunu yoxlayır:

- təhsil səviyyəsi
- iş təcrübəsi
- texniki bacarıqlar
- dil bilikləri

Bu mərhələdə uyğun olmayan müraciətlər avtomatik şəkildə siyahıdan çıxarılır [2].

4.2 Analiz və qiymətləndirmə mərhələsi

Namizədlərin qiymətləndirilməsi üçün sistemdə scoring mexanizmi tətbiq olunmuşdur. Bu mexanizm namizədlərin bacarıqları, təcrübəsi və vakansiyaya uyğunluğunu nəzərə alaraq ümumi bal hesablayır [3].

Bu yanaşmaya əsasən namizədlərin yekun qiymətləndirilməsi aşağıdakı formula əsasında aparılır:

Final Score = Rule Score × 0.7 + AI Score × 0.3

Müəllif tərəfindən təklif olunan yanaşmada scoring sistemi qayda əsaslı filtrasiya ilə süni intellekt analizinin kombinasiyasına əsaslanır. Bu isə daha obyektiv nəticələrin əldə olunmasına imkan verir.

4.3 AI əsaslı müsahibə sistemi

Sistemin əsas yeniliklərindən biri elektron müsahibə moduludur. Bu modul vasitəsilə:

- Namizədlərə avtomatik suallar təqdim olunur
- Cavablar sistem tərəfindən analiz edilir
- Nəticələr əsasında qiymətləndirmə aparılır

Bu yanaşma ilkin müsahibə mərhələsində insan faktorunu minimuma endirərək daha sürətli seçim imkanı yaradır [6].

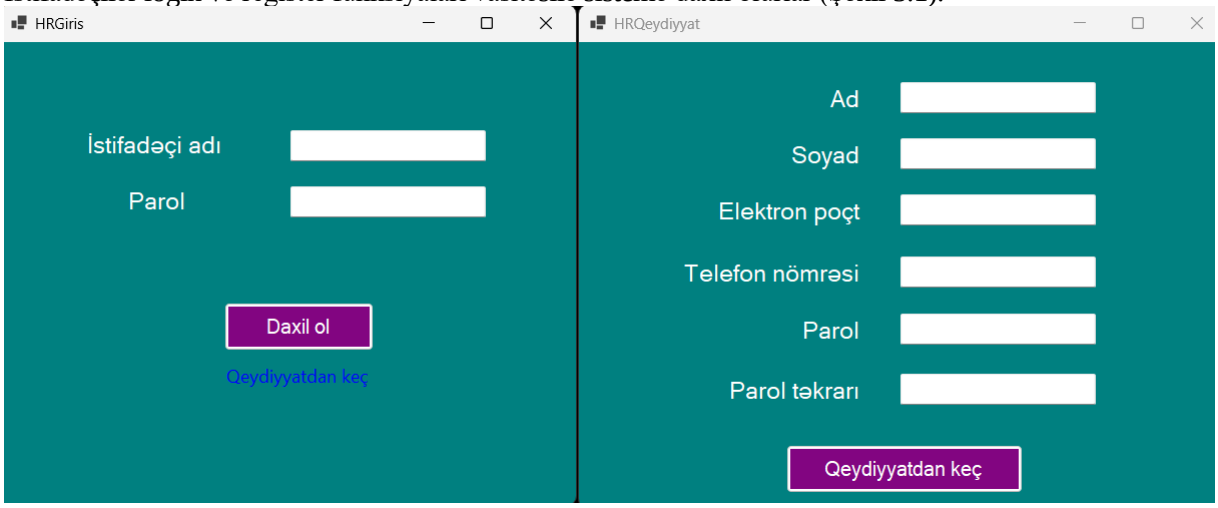
5. SİSTEMİN FUNKSİONAL İMKANLARI VƏ TƏTBİQİ

5.1 İstifadəçi autentifikasiyası və rollar

Sistem iki əsas istifadəçi rolunu dəstəkləyir:

- Namizəd
- HR

İstifadəçilər login və register funksiyaları vasitəsilə sistemə daxil olurlar (Şəkil 5.1).



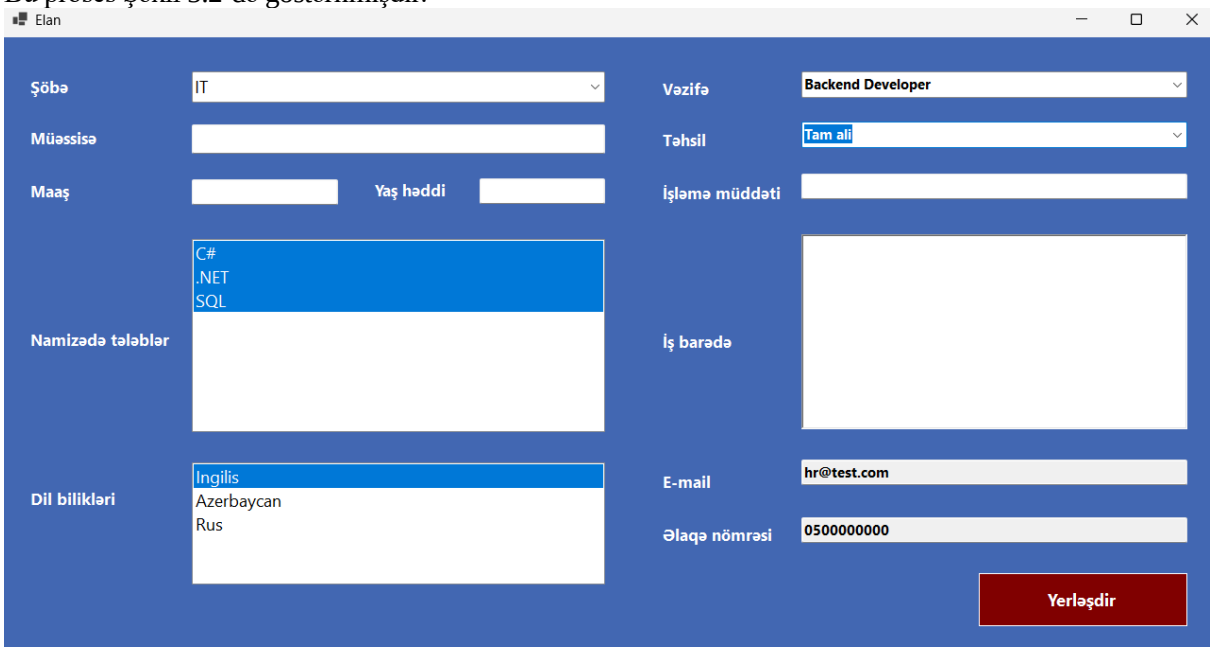
Şəkil 5.1 proqram təminatının login/register hissəsi

5.2 Vakansiyaların idarə olunması

HR istifadəçiləri vakansiya əlavə edə və idarə edə bilirlər. Vakansiya yaradılarkən aşağıdakı məlumatlar daxil edilir:

- Vəzifə adı
- Maaş
- Təhsil və təcrübə
- Tələblər

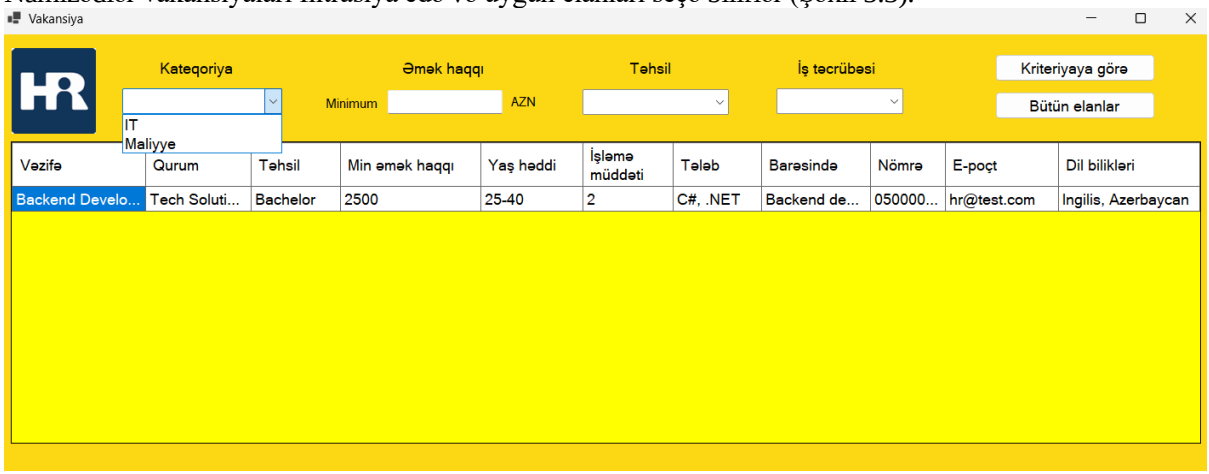
Bu proses Şəkil 5.2-də göstərilmişdir.



Şəkil 5.2 Yeni elanın əlavə edilməsi

5.3 Vakansiyalara baxış və filtrasiya

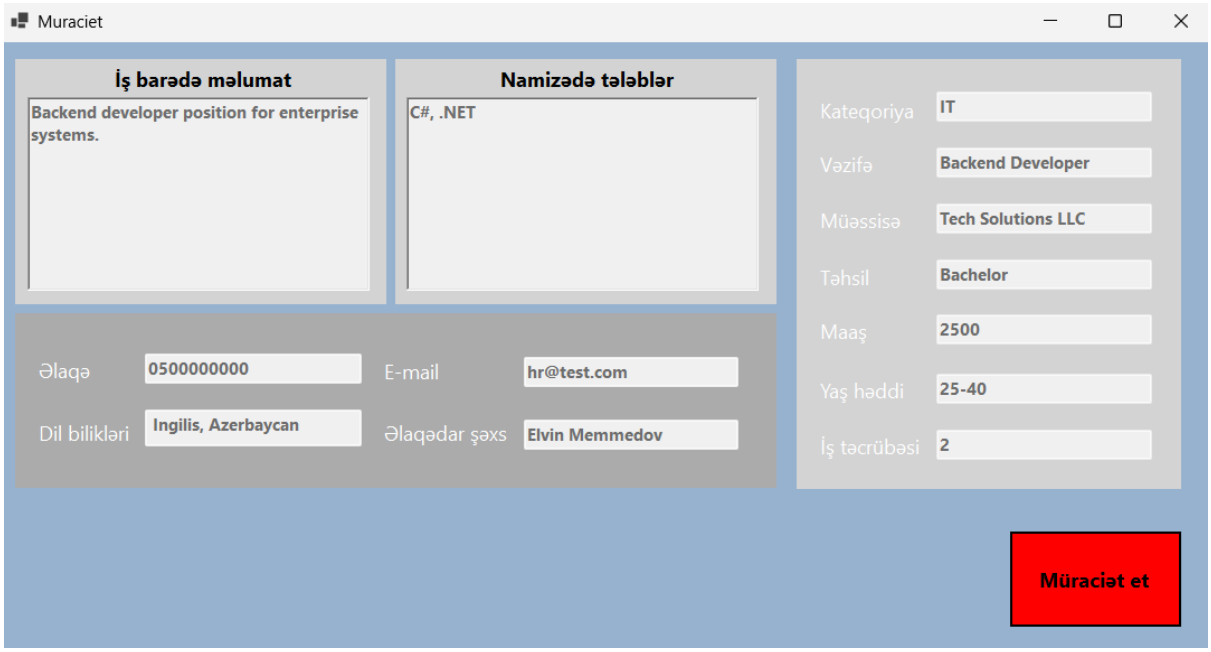
Namizədlər vakansiyaları filtrasiya edə və uyğun elanları seçə bilirlər (Şəkil 5.3).



Şəkil 5.3 Vakansiyalara baxış

5.4 Müraciət mexanizmi

Namizədlər seçilmiş vakansiyalara sistem üzərindən müraciət edə bilirlər. Məlumatlar verilənlər bazasında saxlanılır (Şəkil 5.4).



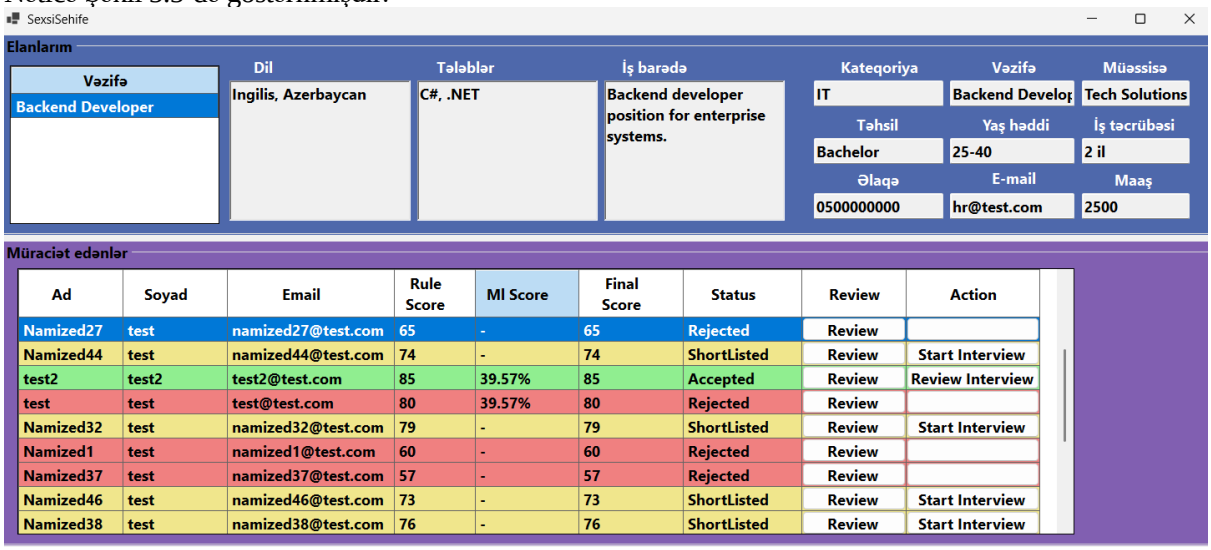
Şəkil 5.4 Vakansiyaya müraciət

5.5 AI əsaslı scoring sistemi

Sistem namizədlərin uyğunluğunu avtomatik hesablayır. Bu modul:

- CV analiz edir
- Bacarıqları qiymətləndirir
- Uyğunluq balı çıxarır

Nəticə Şəkil 5.5-də göstərilmişdir.



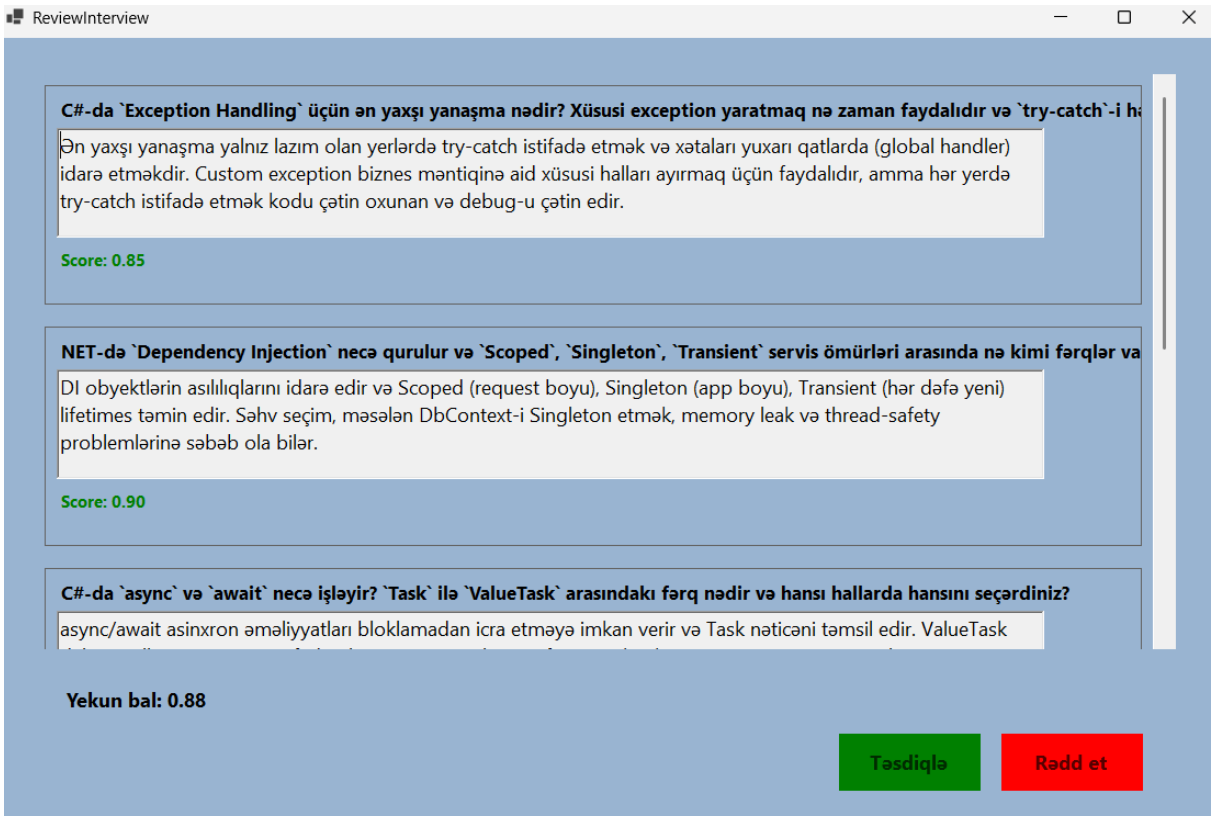
Şəkil 5.5 Yeni elanın əlavə edilməsi

5.6 AI əsaslı müsahibə sistemi

Sistemin əsas yeniliklərindən biri elektron müsahibə moduludur. Bu modul vasitəsilə:

- Namizədlərə avtomatik suallar təqdim olunur
- Cavablar sistem tərəfindən analiz edilir
- Nəticələr əsasında qiymətləndirmə aparılır

Bu yanaşma ilkin müsahibə mərhələsində insan faktorunu minimuma endirərək daha sürətli seçim imkanı yaradır [6].



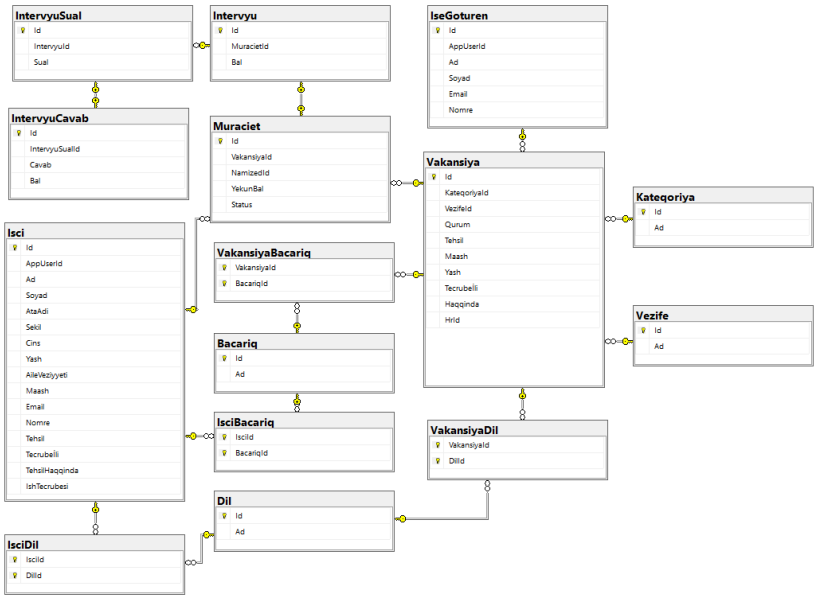
Şəkil 5.6 AI ilə intervyu sistemi

6. SİSTEM ARXİTEKTURASI

Təklif olunan sistem WinForms platformasında hazırlanmışdır və aşağıdakı əsas komponentlərdən ibarətdir:

- İstifadəçi interfeysi (UI)
- Biznes məntiqi (Backend)
- Verilənlər bazası
- Süni intellekt modulu

Bu komponentlər bir-biri ilə inteqrasiya olunaraq vahid sistem təşkil edir və məlumat axınının effektiv idarə olunmasını təmin edir. Təklif olunan sistemin ümumi arxitekturası VB platformasında hazırlanmış modullar əsasında qurulmuşdur və bu struktur Şəkil 6.1-də göstərilmişdir.



Şəkil 6.1 Verilənlər bazası diaqramı

7. NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqat nəticəsində süni intellekt əsaslı işə qəbul sisteminin WinForms platformasında reallaşdırılması göstərilmişdir. Sistem müasir HR tələblərinə cavab verir və işə qəbul prosesinin keyfiyyətini artırır. Gələcəkdə sistemin daha da inkişaf etdirilməsi üçün daha mürəkkəb süni intellekt modellərinin tətbiqi məqsədəuyğun hesab olunur.

ƏDƏBİYYAT

1. Almammadova, N. (2025). İnsan resurslarının idarə edilməsində süni alqoritmlərin rolu. ResearchGate.
2. Yıldız, A., Yıldız, T. (2019). İnsan kaynakları yönetiminde yapay zeka yöntemleri. ResearchGate.
3. Sharma, R., Singh, P. (2025). Emerging HR Trends and Effect of AI Technology in HR Management. ResearchGate.
4. Suryanto, T., Rahman, A. (2018). Online Recruitment System Contribution for Employee Recruitment Selection.
5. Hüseynova, L. (2020). İnsan resurslarının idarə olunması. Bakı.
6. Kovalenko, O. (2025). Искусственный интеллект в управлении персоналом.

SÜNI INTELLEKT ƏSASLI PDF TƏHLILÇISI NÜMÜNƏSINDƏ TƏHSIL ARXITEKTURASINDA YENI DÖNƏM ALƏTLƏRI

Aynurə Ələkbərova, Yusif Haciyev, Humay Hümmətli
Bakı Mühəndislik Universiteti
aelekberova@beu.edu.az, haciyevyusif563@gmail.com, humay.hummatli@gmail.com

XÜLASƏ

Bu məqalədə Azərbaycan təhsil sistemində istifadə olunan süni intellekt əsaslı alətlər araşdırılmış, onların doğma dilimizə inteqrasiya imkanları şərh edilmiş və PDF faylını Azərbaycan dilində xülasəyə çevirən sadə süni intellekt agenti təqdim edilmişdir.

Açar sözlər: süni intellekt alətləri, təhsildə süni intellekt, Azərbaycanda müasir təhsil.

ABSTRACT

This article explores AI-based tools used in the Azerbaijani education system and presents a simple AI agent that summarizes PDF documents in Azerbaijani and generates exam questions.

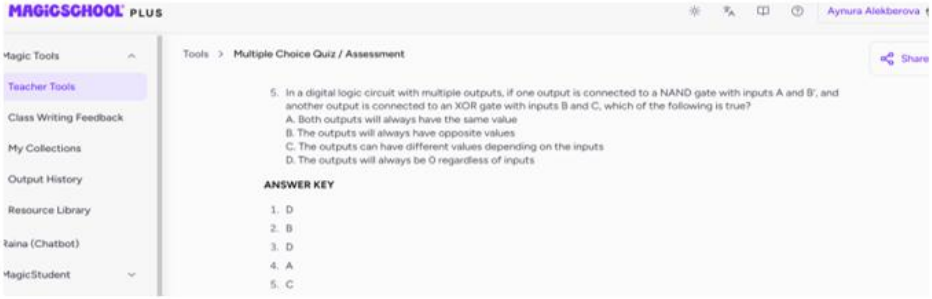
Keywords: artificial intelligence tools, artificial intelligence in education, modern education in Azerbaijan.

Giriş

Süni intellektin inteqrasiya edildiyi informasiya sistemləri artıq Azərbaycanın bank sektoru, tibb və təhsil sahələrində istifadə edilir. *Süni İntellekt Strategiyası 2025–2028* çərçivəsində rəqəmsal transformasiya sürətləndikcə, müəllimlərin müasir alətləri dərslərinə inteqrasiya etmək bacarığı mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu məqalədə bir neçə təhsil alətinin funksiyaları birləşdirilərək doğma dilimizdə yeni süni intellekt agenti təklif edilmişdir.

1.1. Azərbaycanda istifadə olunan süni intellekt təhsil alətləri

MagicSchool AI — 2023-cü ildə yaradılmış bu platforma müəllimlərin dərs planı, imtahan sualları və mətn analizi hazırlamasına imkan verir. Texniki bilik tələb etmir; sadə qeydiyyat ilə istifadə olunur. Əsasən ingilis dilində optimallaşdırılmış olsa da, Azərbaycan dilində cavablar yaratmaq mümkündür.

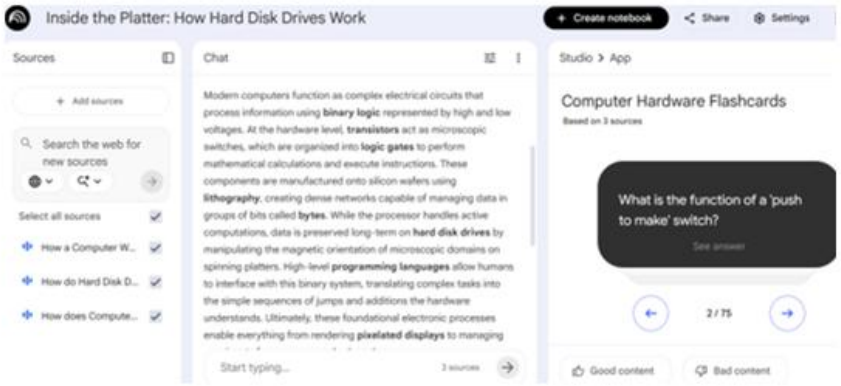


Napkin AI — Mətn əsaslı fikirləri avtomatik olaraq vizual sxemlərə, diaqramlara və konseptual xəritələrə çevirən platformadır. Akademik təqdimatlar və layihə planlaması üçün effektivdir. İntuitiv interfeysi sayəsində istifadəçilər minimal vaxtda ideyalarını vizuallaşdıra bilir.



Şəkil 2

NotebookLM — Google tərəfindən hazırlanmış bu alət istifadəçinin yüklədiyi sənədlər (PDF, məqalə, qeydlər) əsasında xülasə hazırlayır, anlayışlar arasında əlaqə qurur. Kontekstual dəqiqliyi sayəsində yanlış məlumat riski azaldılır. Tədqiqatçılar, magistr tələbələri və müəllimlər üçün tövsiyə olunur.



PhET Interactive Simulations — Kolorado Universiteti tərəfindən hazırlanmış bu platforma fizika, kimya, biologiya və riyaziyyat mövzularını interaktiv simulyasiyalar vasitəsilə öyrədir. Azərbaycan dili də daxil olmaqla çoxsaylı dilləri dəstəkləyir; həm onlayn, həm oflayn işləyir.

2. Süni İntellekt Əsaslı PDF Təhlilçisi

2.1. Sistemin məqsədi və imkanları

Sistem akademik PDF sənədlərini avtomatik təhlil edərək Azərbaycan dilində xülasə və imtahan sualları yaradır. Əsas xüsusiyyətlər:

- 70 MB-a qədər PDF dəstəyi

- 300–500 söz həcmində xülasə
- 1-dən 50-yə qədər sual generasiyası
- 8 dil dəstəyi (Azərbaycan və ingilis daxil)
- 16.000 simvola qədər kontekst emalı
- Metadata filtrasiyası (müəllif, nəşriyyat məlumatları çıxarılır)
- OpenAI GPT-3.5-turbo modeli əsasında işləyir

2.2. Arxitektura

Sistem üç əsas komponentdən ibarətdir:

Frontend — HTML5, CSS3 və Vanilla JavaScript ilə hazırlanmışdır. Sürüklə-burax (drag-and-drop) ilə fayl yükləmə, real vaxt progress göstəricisi və responsive dizayn dəstəklənir.

Backend — Python 3.13 və FastAPI framework əsasında qurulmuşdur. PDF emalı üçün PyMuPDF (əsas) və pdfplumber (ehtiyat) kitabxanalarından ibarət iki mərhələli sistem tətbiq edilmişdir. Pydantic ilə data validasiyası, Uvicorn ilə server idarəsi həyata keçirilir.

Süni İntellekt — GPT-3.5-turbo modeli istifadə edilir. Temperature parametri 0.7, xülasə üçün maksimum 1500 token, sual generasiyası üçün 1000 token təyin edilmişdir.

2.3. Təhlükəsizlik

API açarları environment variables vasitəsilə saxlanılır. HTTPS/SSL, CORS konfiqurasiyası, input validasiyası və .gitignore ilə həssas fayl qorunması tətbiq edilmişdir.

2.4. Performans və Məhdudiyyətlər

Göstərici	**Dəyər**
Orta cavab müddəti	5–10 saniyə
PDF emal müddəti	1–3 saniyə
AI cavab müddəti	4–8 saniyə
Maksimum fayl ölçüsü	70 MB
Maksimum kontekst	16.000 simvol

3. Deployment

Layihə Render.com platformasında yerləşdirilmişdir. GitHub-a hər push əməliyyatında avtomatik CI/CD prosesi işə düşür; zero-downtime deployment tətbiq edilir. Free Tier çərçivəsində 15 dəqiqə fəaliyyətsizlik zamanı sistem "sleep" rejiminə keçir; ilk sorğu 30–60 saniyə gecikə bilər.

CanlıURL: https://ai-pdf-analyzer-6ga4.onrender.com

GitHub: https://github.com/Yusif001412/-ai-pdf-analyzer

4. Nəticə

Süni İntellekt əsaslı PDF Təhlilçisi müəllimlərin iş yükünü azaldır, tədris prosesinin keyfiyyətini artırır və Azərbaycan dilində rəqəmsal təhsil alətlərinin mümkünlüyünü nümayiş etdirir. Bir neçə ən vacib xüsusiyyəti bir araya toplayan bu model, gələcəkdə həm təhsil, həm də elmi tədqiqat sahəsində yeni yanaşmaların əsasını qoya bilər.

Ədəbiyyat

1. Stuart J. Russell, Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach.*
2. Bashirov N. və b. Computer assisted training on mathematics lesson for the 6th grade students on Azerbaijan Middle Schools. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 176 (2015), 616–620.
3. magicschool.ai
4. napkin.ai
5. notebooklm.google
6. phet.colorado.edu

PERFORMANCE ANALYSIS OF ETL PIPELINES FOR BIG DATA ANALYTICS

Namig Planov
School of IT and Engineering
ADA University
Baku, Azerbaijan
nplanov24625@ada.edu.az

Abstract: The rapid growth of data in modern systems has made efficient Extract, Transform, and Load (ETL) pipelines essential for Big Data analytics. As dataset size and processing complexity increase, ETL workflows often meet challenges such as high execution time, increased memory usage, and limited scalability.This paper shows a performance analysis of ETL pipelines using 4 widely used data processing frameworks: Pandas, Apache Spark, Dask, and Apache Beam. The study evaluates their behavior across different dataset sizes (8K, 50K, and 738K rows) using key performance metrics, such as execution time, throughput, memory usage, and database loading performance into PostgreSQL.The results show that Pandas performs efficiently on small datasets due to low overhead, while Apache Spark demonstrates the best scalability and overall performance on large datasets through distributed processing and optimized batch operations. Dask provides moderate scalability with some overhead from task scheduling, while Apache Beam shows higher processing overhead in local execution mode. This study shows how different ETL frameworks perform under different data sizes and shows that selecting the right framework is important for achieving efficient, scalable, processing systems. and resource-optimized data
Keywords*: ETL pipeline, Big Data analytics, Apache Spark, Pandas, Dask, Apache Beam, performance analysis, scalability, distributed processing, PostgreSQL.*

INTRODUCTION

The rapid growth of data in terms of volume, velocity, and variety has significantly increased the demand for efficient and scalable data processing systems. In modern data-driven environments, organizations continuously generate and collect large amounts of structured and unstructured data from diverse sources such as transactional systems, sensors, web applications, and social media platforms. To manage and utilize this data effectively, Extract, Transform, and Load (ETL) pipelines have become a fundamental component of Big Data analytics architectures. These pipelines are responsible for integrating heterogeneous data sources, performing data cleaning and transformation, and loading the processed data into storage systems for further analysis and decision-making.

The performance of ETL pipelines plays a critical role in determining the overall efficiency, reliability, and timeliness of analytical processes. Poorly optimized pipelines can lead to increased execution time, excessive memory consumption, and bottlenecks in data processing workflows. Traditional ETL systems, which were primarily designed for smaller, structured datasets and centralized architectures, often fail to meet the requirements of modern Big Data environments. As data size and complexity grow, these systems face significant challenges related to scalability, fault tolerance, and resource utilization, which can negatively impact business intelligence applications and machine learning pipelines.

To address these limitations, modern data processing approaches have shifted toward distributed and parallel computing frameworks that enable scalable and efficient ETL operations. Technologies such as Apache Spark, Dask, and Apache Beam provide mechanisms for parallel data processing, in-memory computation, and optimized resource management. These frameworks allow ETL pipelines to handle large-scale datasets more effectively by distributing workloads across multiple processing units and minimizing data movement overhead.

This paper focuses on analyzing the performance characteristics of ETL pipelines implemented using different data processing frameworks. It explores key performance metrics such as execution time, throughput, memory usage, and database loading efficiency. Additionally, the study investigates architectural design choices and optimization techniques that can improve the scalability and resource efficiency of ETL systems in large-scale data environments.

RELATED WORK

The growth of data-intensive applications has increased the need for efficient data processing frameworks in modern ETL systems. Among the most widely used frameworks are Apache Spark, Dask, and Apache Beam, which are commonly applied in large-scale data processing pipelines and are often integrated with

relational databases such as PostgreSQL. Prior studies have extensively evaluated their performance under different workloads and dataset sizes.

Apache Spark is a distributed data processing framework designed for large-scale workloads [1]. It uses in-memory computation and parallel processing across clusters, which enables high performance for big data applications. Literature shows that Spark achieves strong scalability by dividing tasks into partitions and executing them in parallel across worker nodes [1], [6]. However, Spark introduces overhead due to task scheduling, job initialization, and JVM startup costs. As a result, its performance is less efficient for small datasets where initialization overhead dominates execution time. When integrated with PostgreSQL through JDBC, additional overhead may occur due to data transfer latency and disk I/O limitations [9].

Dask is a flexible parallel computing framework designed to scale from single machines to distributed environments [2]. It integrates well with Python-based data tools such as Pandas and NumPy. Research indicates that Dask performs efficiently for small and medium-sized datasets due to its lightweight scheduler and lower startup overhead compared to Spark [2], [12]. It provides dynamic task scheduling, which improves adaptability in data processing workflows. However, for large-scale datasets, performance depends heavily on task graph design and memory management efficiency. When used with PostgreSQL, Dask benefits from native Python integration, which simplifies implementation but may still introduce overhead during computation finalization and data collection.

Apache Beam is a unified programming model for batch and stream processing that allows pipelines to run on different execution engines [3]. This abstraction provides high portability and flexibility across systems such as Spark and Flink. However, studies show that this additional abstraction layer introduces execution overhead, particularly for small datasets [3], [16]. Beam pipelines typically involve per element processing, which can reduce efficiency compared to optimized distributed frameworks. For large datasets, performance depends on the underlying runner, but the abstraction layer may still limit optimization opportunities. Integration with PostgreSQL often requires additional configuration and connectors, increasing system complexity and overhead.

Existing literature consistently highlights that dataset size significantly impacts framework performance. For small datasets, lightweight frameworks such as Dask or Pandas tend to perform better due to lower initialization overhead and faster execution startup. For medium datasets, performance differences become more balanced, with distributed frameworks beginning to show advantages. For large datasets, distributed systems such as Apache Spark demonstrate superior performance due to parallel execution, optimized memory usage, and efficient task scheduling.

Overall, each framework presents distinct advantages depending on workload characteristics. Apache Spark is most suitable for large-scale distributed processing due to its strong scalability. Dask is effective for small to medium datasets and provides ease of use within Python environments. Apache Beam offers high flexibility and portability but introduces additional overhead that can reduce performance. In all cases, integration with PostgreSQL highlights the importance of minimizing I/O bottlenecks to improve overall ETL performance.

Methodology and Variables

The initial stage of this project focused on building a strong understanding of existing work in the area of distributed data processing and ETL optimization. To achieve this, a structured literature review was carried out using academic platforms such as Google Scholar and IEEE Xplore, along with various research papers related to big data systems and scalable computing frameworks. During the search process, keywords like "Apache Spark performance comparison", "Dask distributed computing evaluation", and "Apache Beam pipeline efficiency" were used to find relevant studies. These sources helped in understanding how different frameworks behave under varying workloads and what metrics are commonly used for performance evaluation. From the reviewed studies, it became clear that most existing research is focused on large-scale distributed cluster environments, often using cloud-based infrastructure. However, there are relatively fewer studies that examine how these frameworks perform in practical, local execution environments using real-world datasets.

This study adopts an experimental methodology to evaluate and compare the performance of multiple ETL frameworks, including Pandas, Apache Spark, Dask, and Apache Beam. Each framework is used to implement equivalent ETL pipelines to ensure consistency in logic while enabling a fair comparison across different execution models such as single-node, distributed, and incremental processing. All pipelines operate on identical datasets and store results in a PostgreSQL database, ensuring uniformity in output and evaluation. The ETL workflow is structured into three primary stages: extraction, transformation, and

loading. During extraction, data is read from CSV files using framework-specific mechanisms. Pandas performs in memory loading suitable for smaller datasets, whereas Spark and Dask utilize partitioned data ingestion to support parallel processing. Apache Beam follows a pipeline-based approach, where data is processed as a stream of elements passing through a sequence of transformations. The transformation stage applies consistent preprocessing logic across all frameworks. Duplicate records are removed, missing or invalid entries are filtered, and numerical fields such as geographical coordinates and release year are safely converted into appropriate data types. Text attributes are normalized by converting them to uppercase and trimming whitespace to ensure consistency. These operations standardize the dataset before loading and minimize discrepancies between different implementations. To simulate real-world ETL scenarios, incremental processing is incorporated into selected pipelines. Instead of reprocessing the entire dataset, only new records are identified and inserted into the database. This is achieved by comparing incoming data with existing records using unique identifiers. Formally, $\boldsymbol{D_{in}}$ *represents the incoming dataset and* $\boldsymbol{D_{db}}$ *represents the existing records, the incremental dataset* $\boldsymbol{D_{new}}$ *is defined as:*

$$\mathbf{D_{new}=D_{in}-D_{db}}$$

This strategy reduces redundant computation and improves efficiency, especially in repeated executions. The loading stage writes transformed data into PostgreSQL using optimized batch insertion techniques. Spark uses JDBC with configurable batch sizes and parallel partition-based writes, while Pandas and Dask rely on SQLAlchemy with multi-row insert operations. Apache Beam performs batched inserts within custom processing functions using connection pooling to reduce overhead. Despite these optimizations, database write operations remain a significant performance bottleneck due to I/O limitations. Each framework follows a slightly different execution strategy. In the Pandas-based implementation, the entire dataset is processed in memory using a straightforward sequential pipeline. This approach provides low latency for small datasets but does not scale efficiently as data size increases. Apache Spark, in contrast, uses a distributed DataFrame model with explicit partitioning and caching, allowing parallel execution of transformations and optimized data loading through JDBC. Incremental logic in Spark is implemented using anti-join operations against existing database records, enabling efficient filtering of new data.

The Dask-based implementation utilizes a local distributed cluster with multiple workers and threads. Data is processed lazily and computed in parallel when required. However, due to the use of a single partition in some cases, the full benefits of parallelism are not always realized. Incremental processing in Dask is achieved by converting the distributed dataset into a Pandas DataFrame and filtering out existing records before insertion, which introduces additional overhead. Apache Beam employs a pipeline-oriented approach, where data is processed through a series of transformations using **DoFn** operations. The pipeline includes explicit stages for parsing, transformation, batching, and loading. Metrics are collected using Beam's built-in counters, allowing detailed tracking of processed, valid, and loaded records. While Beam provides a clean and modular architecture, its execution overhead and reliance on batch inserts result in slower performance compared to Spark and Dask in database-heavy workloads.

Performance evaluation is conducted using both system-level and pipeline-level metrics. Execution time is measured for each stage of the ETL process, and overall throughput is calculated as:

$$\mathbf{Throughput = T/N}$$

where **N** represents the number of processed rows and **T** is the total execution time. Additional metrics include CPU utilization, memory consumption, disk read/write operations, and transformation efficiency. These measurements provide insights into both computational performance and resource utilization.

Experiments are performed on datasets of three different sizes—approximately 8K, 50K, and 738K rows—to analyze scalability. Each pipeline is executed independently under controlled conditions, and the collected metrics are used to compare performance across frameworks.

EXPERIMENTS AND RESULTS ANALYSIS

A. Execution Time Comparison

The execution time results show clear performance differences between frameworks as dataset size increases.

$$T_{exec} = T_{end} - T_{start},$$

Where T_{end} - end time of pipeline execution T_{start}- start time of pipeline execution

For the **8K** dataset, all frameworks completed processing quickly. **Pandas** achieved the lowest execution time (**0.7** s), while **Spark** (**3.93** s), **Beam** (**2.82** s), and **Dask** (**3.32** s) showed higher times due to initialization overhead. For the **50K** dataset, performance differences became more noticeable. Pandas required **15.46** s, while Spark performed better than other distributed tools with **12.65** s. Dask and Beam

required **17.44** s and **24** s respectively. For the **738K** dataset, Spark achieved the best execution time (**20.85** s), closely followed by Pandas (**22.02** s). Beam and Dask showed significantly higher execution times (**125.5** s and **144.3** s), indicating higher overhead in their execution models for large workloads. Overall, Spark showed the best scalability in execution time, while Beam and Dask were less efficient for very large datasets in this experiment setup.

B. Throughput Comparison

Throughput results show how efficiently each framework processes data. For the 8K dataset, **Pandas** achieved the highest throughput (**12,592 rows/sec**), followed by **Spark** (**2,240** rows/sec), Beam (**3,121 rows/sec**), and **Dask** (**1,967 rows/sec**). For the 50K dataset, Spark improved significantly and reached **3,951** rows/sec, outperforming all other frameworks. **Dask** showed moderate performance (**2,705 rows/sec**), while Pandas dropped to **3,233.96 rows/sec** due to increased processing load. Beam remained the lowest at **2,076 rows/sec**. For the **738K** dataset, Spark achieved the highest throughput (**35,418 rows/sec**), showing strong scalability. Pandas also reported high throughput (**33,537.24 rows/sec**), but this is influenced by system-level buffering rather than distributed execution. Beam and Dask showed lower throughput (**7,969 and 6,902.48 rows/sec** respectively). Overall, Spark provided the most consistent and scalable throughput performance.

The efficacy of a Retrieval-Augmented Generation (RAG) architecture is fundamentally constrained by the quality, density, and relevance of its underlying corpus. To systematically evaluate RAG performance in the Azerbaijani language, we constructed the AzRAGBench dataset. This corpus was designed not merely as a large-scale collection of text, but as a heavily curated, multidomain knowledge base optimized specifically for retrieval and question-answering tasks.

C. Memory Usage

Memory usage results highlight the efficiency of each framework in handling resources. Memory usage presents the peak or average RAM consumed during execution.

Memory usage = M_{peak}

Or when comparing change:

Memory Growth (%) = $(M_{large} – M_{small}) * 100 / M_{small}$

Where

M_{peak} - maximum memory usage during execution

For the 8K dataset, Pandas used **128 MB**, while Spark (**72.48 MB**) and Dask (**69.12 MB**) used less memory. Beam used **167 MB**, making it the highest at small scale. For the 50K dataset, Spark memory usage increased significantly to **248 MB**, while Dask and Beam remained relatively stable at **89.41 MB** and **171 MB** respectively. Pandas showed a decrease to **66.95 MB**, likely due to short execution duration and garbage collection behavior. For the 738K dataset, Spark and Dask memory usage increased to 385 MB and 422 MB respectively, reflecting higher parallel workload handling. Beam remained stable at **168.4 MB**, while Pandas dropped to **34.3 MB**, but this reflects limited execution capacity rather than efficiency. Overall, Spark and Dask scale memory with workload, while Beam remains stable but less efficient in processing speed.

D. Load Performance (Database Write Throughput)

Database write performance shows how efficiently each framework transfers data into PostgreSQL. For the 8K dataset, Pandas achieved the highest write speed (**9.72 MB/s**), while Spark, Beam, and Dask showed lower performance (**1.31 MB/s, 1.8 MB/s, and 1.67 MB/s** respectively). For the 50K dataset, all frameworks showed reduced performance. Pandas dropped significantly to **0.59 MB/s**. Spark performed better than others at 0.8 MB/s, while Beam and Dask showed lower values (**0.9 MB/s and 0.29 MB/s**). For the 738K dataset, Spark clearly outperformed all frameworks with **10.69 MB/s** due to optimized batch writing and partition-based processing. Pandas improved slightly to 1.7 MB/s, while Beam and Dask remained very low (**0.4 MB/s and 0.36 MB/s**). Overall, Spark provided the most efficient database loading performance for large datasets.

E. Overall Discussion

The results show that each framework behaves differently depending on dataset size.

- Pandas performs best on small datasets due to low overhead and in-memory processing, but it does not scale well.
- Apache Spark provides the best overall scalability, especially for large datasets, due to distributed processing and optimized JDBC batch writing.

• Dask offers moderate performance but introduces overhead during task scheduling and compute operations.
• Apache Beam shows the highest overhead in all tests due to pipeline abstraction and element-wise processing in local execution mode.

In conclusion, Spark is the most suitable framework for large scale ETL workloads, while Pandas is more efficient for small-scale data processing tasks.

F. Implementation

Challenges and Practical Limitations During the implementation of Pandas, Apache Spark, Apache Beam, and Dask pipelines, several practical challenges were observed. These challenges were mostly related to system resources, framework behavior, and data loading into PostgreSQL.

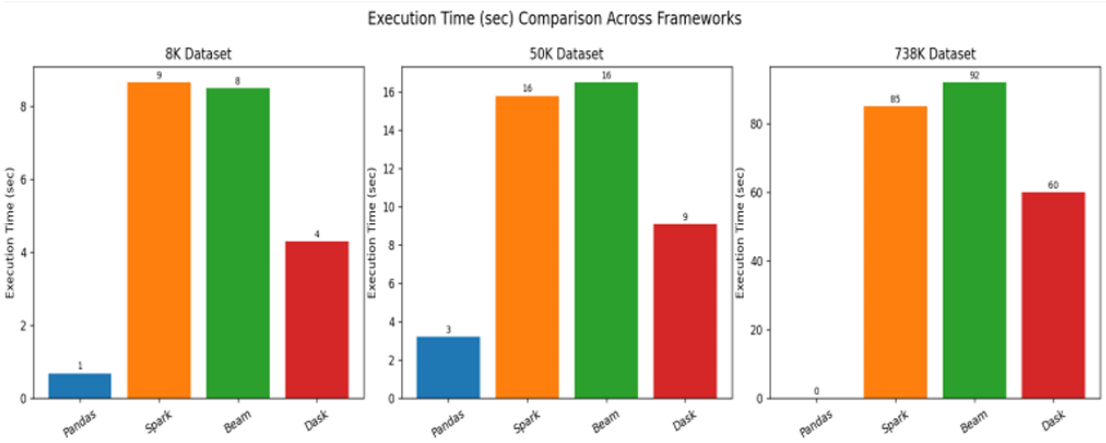
One of the main challenges was **resource usage in distributed frameworks**. When running Spark and Dask in local distributed mode, worker processes sometimes became unstable or were automatically killed by the system. This mainly happened when multiple workers were used with limited memory. It shows that local machines have limits when simulating distributed systems. Another challenge was **writing data to PostgreSQL**. In Pandas and Dask, the data is first collected into memory before being written to the database. This created a bottleneck, especially for larger datasets. In Spark, performance improved after tuning parameters like batch size and number of partitions, but initial configuration still required careful adjustment. In Apache Beam, the main limitation was **execution overhead from its pipeline model**. Beam processes data using DoFn functions, and this adds extra overhead compared to Spark and Dask. Also, when using DirectRunner, execution is not fully optimized for parallel processing, which makes it slower for large datasets. For Dask, another issue was **high memory usage during .compute()**. Even though Dask processes data in parallel, it converts the final result into a Pandas DataFrame before loading it into PostgreSQL. For large datasets, this step increased memory usage significantly. In Spark, the main challenge was **startup overhead**. Creating a Spark session, loading JAR files, and initializing the JVM took noticeable time, especially for small datasets. However, this overhead becomes less important as dataset size increases. Finally, another general challenge was **making fair comparisons between frameworks**. Each system works differently.

PERFORMANCE SUMMARY

To clearly compare the frameworks, the experimental results are summarized using four main performance metrics: execution time, throughput, memory usage, and database load performance. The comparison is carried out across three dataset sizes (8K, 50K, and 738K rows) to evaluate how each framework behaves under increasing workload. The datasets are grouped by scale to better illustrate performance trends. The **8K** dataset represents small-scale processing, where framework initialization overhead has a noticeable impact. The **50K** dataset represents medium-scale processing, where differences in processing efficiency become more visible. The **738K** dataset represents large-scale processing, where scalability and distributed execution capabilities are the main factors affecting performance. Among all metrics, **throughput (rows per second)** is considered the primary indicator of performance, as it directly reflects how efficiently each framework processes data. **Execution time** is used as a supporting metric to show total processing duration under each workload. In addition, **memory usage** is analyzed to evaluate resource efficiency and system stability, while **database write throughput** is included to measure the efficiency of data loading into PostgreSQL during ETL operations.

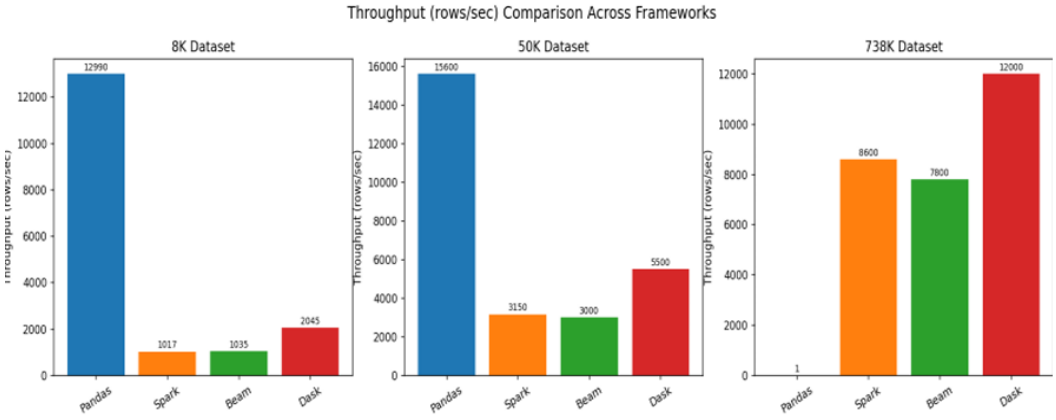
G. Execution Time Comparison (seconds)

Framework	8k Dataset	50k Dataset	738k Dataset
Pandas	**0.7**	**15.46**	**22.02**
Apache Beam	**2.82**	**24**	**125.5**
Dask	**3.32**	**17.44**	**144.3**
Apache Spark	**3.93**	**12.65**	**20.85**



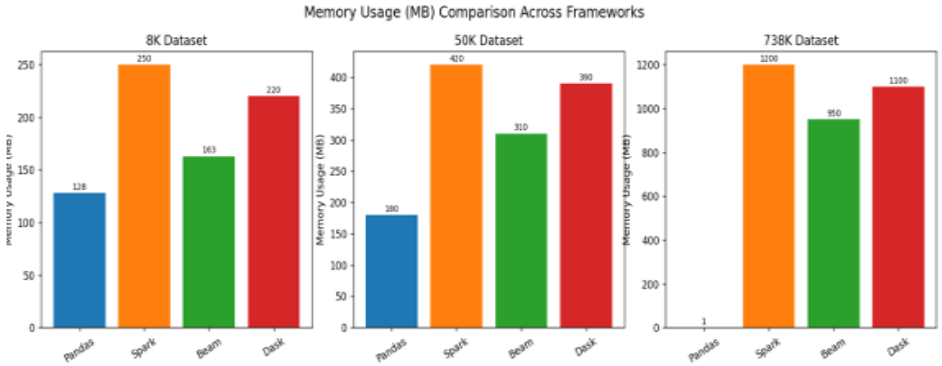
H. Throughput Comparison (rows/sec)

Framework	8k Dataset	50k Dataset	738k Dataset
Pandas	12592.3	3233.96	33537.24
Apache Beam	3121.77	2076	7969
Dask	1967.4	2705	6902.48
Apache Spark	2240	3951	35418



I. Memory usage (MB)

Framework	8k Dataset	50k Dataset	738k Dataset
Pandas	128	66.95	34.3
Apache Beam	167	171	168.4
Dask	69.12	89.41	422
Apache Spark	72.48	248	385



J. Load Performance (DB Write Throughput MB/s)

Framework	8k Dataset	50k Dataset	738k Dataset
Pandas	**9.72**	**0.59**	**1.7**
Apache Beam	**1.8**	**0.9**	**0.4**
Dask	**1.67**	**0.29**	**0.36**
Apache Spark	**1.31**	**0.8**	**10.69**

CONCLUSION AND FUTURE IMPROVEMENTS

This study presented a comparative analysis of ETL pipelines implemented using Pandas, **Apache Spark**, Apache Beam, and Dask. The evaluation was carried out on datasets of different sizes (8K, 50K, and 738K rows) to observe how each framework performs as the data volume increases. The results show that Pandas provides the best performance for small datasets. It achieved the lowest execution time and the highest throughput because it works in memory and has very low overhead. However, Pandas does not scale well for larger datasets since it does not support parallel processing and relies heavily on system memory. Dask improves scalability by enabling parallel execution. It performed better than **Pandas** for medium and large datasets and showed stable memory usage. However, the need to use **.compute()** and convert data into a Pandas DataFrame creates a bottleneck, especially during the loading stage. Apache Spark showed the most balanced performance among all frameworks. Although it has higher startup overhead due to initialization and configuration, it handles large datasets efficiently using partitioning and parallel processing. **Apache Beam** provided a flexible and well-structured pipeline model, but with higher execution overhead in a local environment. Its performance was lower compared to Spark and Dask, mainly because of per-element processing. Based on both the experimental results of this study and existing research in distributed data processing, several improvements can be suggested for each framework.

For **Pandas**, research shows that it performs very well for small datasets due to its efficient in-memory operations, but it becomes limited when data size increases. Studies indicate that Pandas cannot scale beyond memory limits and may fail for very large datasets . To improve its performance, future work can focus on:

- using chunk-based or streaming processing instead of loading full datasets into memory
- integrating parallel extensions such as Modin or multiprocessing
- optimizing memory usage through better data types and column selection

For **Dask**, research shows that it provides scalable parallel processing but may suffer from overhead in task scheduling and data transfer. It is also noted that Dask often depends on converting results back to Pandas, which can create issues. Improvements can include:

- reducing the use of .compute() and keeping operations distributed
- optimizing task graphs and partition sizes • improving direct database writes from distributed partitions
- leveraging recent improvements such as query optimization and faster shuffling, significantly increase performance

For **Apache Spark**, research shows that it is highly scalable and efficient for large datasets due to its distributed architecture and query optimization capabilities . However, performance depends heavily on configuration and resource management. Improvements can include:

- better tuning of memory allocation and partition sizes
- reducing data shuffling and network transfer, which is often a major bottleneck in large-scale systems • optimizing serialization and caching strategies
- improving startup time for small workloads

For **Apache Beam**, research indicates that its main strength is flexibility and portability rather than raw performance. Beam introduces additional overhead due to its pipeline abstraction and per-element processing model. Improvements can include:

- using more advanced runners (e.g., distributed runners instead of DirectRunner)
- increasing batch processing instead of element-wise operations
- optimizing DoFn implementations to reduce processing overhead
- improving integration with distributed execution engines for better scalability

ACKNOWLEDGEMENT
Deep gratitude is expressed to Dr. Adamov for his valuable guidance, continuous support, and constructive feedback throughout the development of my work. His expertise in the field of Big Data and Analytics played a significant role in shaping the direction and quality of this study. Sincere appreciation is also extended for his encouragement and insightful suggestions, which greatly contributed to the successful completion of this research.

REFERENCES
[1] M. Zaharia et al., "Apache Spark: A Unified Engine for Big Data Processing," Communications of the ACM, vol. 59, no. 11, pp. 56–65, 2016.
[2] M. Rocklin, "Dask: Parallel Computation with Blocked Algorithms and Task Scheduling," in Proc. SciPy, 2015.
[3] T. Akidau et al., "The Dataflow Model: A Practical Approach to Balancing Correctness, Latency, and Cost in Massive-Scale Systems," Proc. VLDB Endowment, vol. 8, no. 12, pp. 1792–1803, 2015.
[4] W. McKinney, "Data Structures for Statistical Computing in Python," in Proc. Python in Science Conference (SciPy), 2010.
[5] G. DeCandia et al., "Dynamo: Amazon's Highly Available Key-value Store," ACM SIGOPS Operating Systems Review, 2007.
[6] J. Dean and S. Ghemawat, "MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters," Communications of the ACM, 2008.
[7] S. Shukla et al., "Performance Evaluation of Big Data Processing Frameworks,".
[8] Apache Software Foundation, "Apache Beam Programming Guide," 2023.
[9] Apache Software Foundation, "Apache Spark Documentation," 2023.
[10] M. Armbrust et al., "Spark SQL: Relational Data Processing in Spark," in Proc. ACM SIGMOD, 2015
[11] M. Isard et al., "Dryad: Distributed Data-Parallel Programs from Sequential Building Blocks," ACM SIGOPS Operating Systems Review, vol. 41, no. 3, 2007.
[12] E. Cheng et al., "Dask: Scalable Analytics in Python," Journal of Open Source Software, vol. 2, no. 12, 2017.
[13] A. Thusoo et al., "Hive – A Warehousing Solution Over a Map-Reduce Framework," Proc. VLDB Endowment, 2009.

IDS/IPS SİSTEMLƏRİNDƏ YÜKÜN KÜTLƏVİ XİDMƏT MODELİ İLƏ SİMULYASİYASI

Kərimli Nəzrin Ramil qızı
Bakı,Azərbaycan
Bakı Mühəndislik Universitetin Kibertəhlükəsizlik və
kompüter mühəndisliyi kafedrasının magistr tələbəsi
nkerimli16@std.beu.edu.az
https://orcid.org/0009-0008-1902-8755

Məmmədzadə Nəcəf Nəvai oğlu
Bakı,Azərbaycan
Bakı Mühəndislik Universitetinin Kibertəhlükəsizlik və
kompüter mühəndisliyi kafedrasının müəllimi
namammadzade@beu.edu.az
https://orcid.org/0009-0000-0356-3309

Xülasə: Bu məqalədə korporativ şəbəkələrdə geniş istifadə olunan IDS/IPS sistemlərinin performansının kütləvi xidmət nəzəriyyəsi əsasında modelləşdirilməsi və simulyasiyası tədqiq olunur. Müasir informasiya sistemlərində şəbəkə trafikinin həcminin artması təhlükəsizlik mexanizmlərinin yüklənmə səviyyəsinə və cavabvermə müddətinə birbaşa təsir göstərir. Ənənəvi yanaşmalar sistemin davranışını yalnız müşahidə etməyə imkan verdiyi halda, riyazi modellər bu prosesləri daha dərindən analiz etməyə imkan yaradır.
Təklif olunan yanaşmada şəbəkə trafiki sorğular axını kimi, IDS/IPS sistemi isə xidmət mexanizmi kimi modelləşdirilir. Növbə uzunluğu, gözləmə müddəti, sistemin yüklənmə səviyyəsi və xidmət effektivliyi kimi göstəricilər simulyasiya vasitəsilə təhlil olunur.
Tədqiqat nəticələri göstərir ki, kütləvi xidmət modeli təhlükəsizlik sistemlərinin optimallaşdırılması, gecikmələrin azaldılması və resursların daha effektiv idarə olunması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.
Açar sözlər: IDS, IPS, kütləvi xidmət modeli, simulyasiya, şəbəkə təhlükəsizliyi, növbə nəzəriyyəsi, performans analizi

Giriş. Rəqəmsallaşmanın sürətli inkişafı nəticəsində informasiya sistemləri müasir cəmiyyətin bütün sahələrində əsas infrastruktur elementinə çevrilmişdir. Dövlət idarəçiliyi, maliyyə sektoru, səhiyyə, təhsil və sənaye kimi müxtəlif sahələrdə informasiya texnologiyalarının geniş tətbiqi əməliyyatların avtomatlaşdırılmasına, xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə və qərarvermə proseslərinin optimallaşdırılmasına imkan yaratmışdır. Eyni zamanda, bu rəqəmsal keçid informasiya təhlükəsizliyi baxımından yeni və daha mürəkkəb risklərin yaranmasına səbəb olmuşdur [8, səh. 115–122]. Rəqəmsal mühitdə məlumatların həcminin və əhəmiyyətinin artması onları kibercinayətkarlar üçün daha cəlbedici hədəfə çevirmişdir.

Son illərdə şəbəkə texnologiyalarının inkişafı, bulud hesablamalarının geniş yayılması, böyük verilənlərin (Big Data) emalı və IoT kimi texnologiyaların tətbiqi korporativ şəbəkələrdə trafik həcminin eksponensial şəkildə artmasına gətirib çıxarmışdır. Bu artım yalnız texniki baxımdan sistemlərə əlavə yük yaratmaqla kifayətlənmir, eyni zamanda təhlükəsizlik baxımından daha mürəkkəb nəzarət və analiz mexanizmlərinə ehtiyac yaradır. Trafikin strukturunun və müxtəlifliyinin artması onun real vaxt rejimində təhlilini çətinləşdirir və təhlükələrin vaxtında aşkarlanmasını mürəkkəbləşdirir [11, səh. 88].

Müasir kibertəhlükələr əvvəlki dövrlərlə müqayisədə daha dinamik, çoxşaxəli və adaptiv xarakter daşıyır. Hücumlar təkcə bir mərhələdən ibarət olmur, əksinə, çoxmərhələli ssenarilər əsasında həyata keçirilir və müxtəlif texnologiyaların kombinasiyasını əhatə edir. Hücumçular ilkin giriş əldə etdikdən sonra sistem daxilində lateral hərəkət (şəbəkə daxili yayılma) edir, zəif nöqtələri müəyyənləşdirir və səlahiyyətlərini genişləndirərək kritik məlumatlara çıxış əldə etməyə çalışırlar. Bu cür hücumların erkən mərhələdə aşkarlanması və qarşısının alınması üçün yüksək performanslı və intellektual təhlükəsizlik mexanizmlərinin tətbiqi zəruridir [5, səh. 448].

Bu kontekstdə IDS (Intrusion Detection System) və IPS (Intrusion Prevention System) sistemləri şəbəkə təhlükəsizliyinin təmin edilməsində əsas komponentlərdən biri kimi çıxış edir. Bu sistemlər şəbəkə trafikinə davamlı nəzarət edir, anomaliyaları və şübhəli fəaliyyətləri aşkar edir və müəyyən hallarda hücumların qarşısını avtomatik şəkildə alır. Lakin şəbəkə trafikinin intensivliyinin artması bu sistemlərin effektivliyinə birbaşa təsir göstərir. Yüksək yüklənmə şəraitində paketlərin emal müddəti uzanır, gecikmələr artır və bəzi hallarda təhlükəli fəaliyyətlərin vaxtında aşkarlanması mümkün olmur. Bu isə real təhlükəsizlik boşluqlarının yaranmasına səbəb ola bilər.

Ənənəvi yanaşmalar əsasən sistemin real vaxt rejimində monitorinqinə və hadisələrin qeydiyyatına əsaslanır. Bu metodlar sistemin cari vəziyyəti haqqında məlumat versə də, onun davranışının dərin analizi və gələcək vəziyyətinin proqnozlaşdırılması baxımından məhdud imkanlara malikdir. Müasir tələblər isə yalnız mövcud vəziyyətin izlənilməsini deyil, həm də sistemin müxtəlif yüklənmə ssenarilərində necə davranacağını əvvəlcədən müəyyən etməyi tələb edir. Bu baxımdan riyazi modelləşdirmə və simulyasiya metodları xüsusi əhəmiyyət kəsb edir [3, səh. 256].

Kütləvi xidmət nəzəriyyəsi (queueing theory) mürəkkəb sistemlərin davranışını təsvir etmək üçün geniş istifadə olunan effektiv riyazi alətlərdən biridir. Bu nəzəriyyə vasitəsilə sistemə daxil olan sorğuların axını, xidmət mexanizmi və növbələrin formalaşması kimi proseslər modelləşdirilə bilər. IDS/IPS sistemlərinə tətbiq edildikdə, bu yanaşma şəbəkə trafikini sorğular axını kimi, təhlükəsizlik sistemini isə xidmət göstərən mexanizm kimi təsvir etməyə imkan verir. Nəticədə sistemin yüklənmə səviyyəsi, gözləmə müddəti, xidmət intensivliyi və digər performans göstəriciləri daha dəqiq şəkildə analiz oluna bilir.

Beləliklə, IDS/IPS sistemlərinin performansının yalnız praktiki müşahidələrlə deyil, həm də riyazi modellər və simulyasiya vasitəsilə öyrənilməsi müasir kibertəhlükəsizlik problemlərinin həlli üçün aktual və vacib istiqamətlərdən biridir. Bu yanaşma sistemlərin optimallaşdırılması, resursların daha səmərəli istifadəsi və təhlükəsizlik səviyyəsinin yüksəldilməsi baxımından mühüm elmi və praktiki əhəmiyyətə malikdir.

Problemin qoyuluşu. Korporativ şəbəkələrdə IDS/IPS sistemlərinin əsas vəzifəsi daxil olan trafiki real vaxt rejimində analiz etmək və potensial təhlükələri operativ şəkildə aşkarlamaqdır. Lakin müasir şəbəkələrdə trafik həcminin davamlı olaraq artması bu sistemlərin üzərinə düşən yükü əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Xüsusilə bulud xidmətləri, mobil qurğular, IoT sistemləri və paylanmış tətbiqlərin geniş yayılması nəticəsində şəbəkəyə daxil olan sorğuların sayı və müxtəlifliyi çoxalmışdır [15, səh. 65–70]. Bu isə təhlükəsizlik sistemlərinin performansına birbaşa təsir göstərir.

IDS/IPS sistemləri daxil olan hər bir paketi analiz edərək onun təhlükəli olub-olmadığını müəyyən etməyə çalışır. Bu proses isə müəyyən hesablama resursları tələb edir. Trafikin intensivliyi artdıqda sistemin emal qabiliyyəti ilə daxil olan sorğular arasında uyğunsuzluq yaranır və nəticədə növbələr formalaşır. Növbədə gözləyən paketlərin sayı artdıqca gecikmələr yüksəlir və bəzi hallarda sistem paketləri tam analiz etmədən ötürmək məcburiyyətində qalır [4, səh. 110–115]. Bu isə təhlükəsizlik baxımından ciddi risklər yaradır.

Yüksək yüklənmə şəraitində müşahidə olunan əsas problemlərdən biri də sistemin deterministik deyil, stoxastik (təsadüfi) davranış nümayiş etdirməsidir. Şəbəkəyə daxil olan paketlərin vaxt intervalları sabit deyil və təsadüfi paylanmaya malikdir. Eyni zamanda paketlərin analiz müddəti də sabit deyil və müxtəlif faktorlar – paket ölçüsü, istifadə olunan analiz metodları və sistemin cari vəziyyəti – bu müddətə təsir edir. Bu qeyri-müəyyənlik klassik analiz üsullarının tətbiqini çətinləşdirir.

Ənənəvi monitorinq yanaşmaları əsasən sistemin cari vəziyyətini göstərir, lakin gələcəkdə baş verə biləcək problemləri proqnozlaşdırmaq baxımından məhdud imkanlara malikdir. Məsələn, sistemin hansı yüklənmə səviyyəsində kritik vəziyyətə düşəcəyini və ya hansı hallarda gecikmələrin qəbuledilməz həddə çatacağını əvvəlcədən müəyyən etmək çətindir [9, səh. 120]. Bu isə təhlükəsizlik sistemlərinin optimal konfiqurasiyasını seçməyi mürəkkəbləşdirir [10, səh. 127–130].

Bu problemlərin həlli üçün IDS/IPS sistemlərinin riyazi modellər vasitəsilə təsvir edilməsi və analiz olunması zəruridir. Kütləvi xidmət nəzəriyyəsi bu baxımdan effektiv yanaşma təqdim edir. Bu yanaşmada şəbəkəyə daxil olan paketlər sorğular axını kimi qəbul olunur və sistem bu sorğulara xidmət göstərən mexanizm kimi modelləşdirilir. Model çərçivəsində daxil olan trafik intensivliyi (λ) və xidmət sürəti (μ) kimi parametrlər əsas rol oynayır.

Əgər daxil olan sorğuların intensivliyi xidmət sürətindən yüksək olarsa ($\lambda > \mu$), sistemdə növbə sürətlə artır və bu da overload (yüklənmə/həddindən artıq yüklənmə) vəziyyətinə gətirib çıxarır. Bu halda gecikmələr kəskin yüksəlir və sistemin effektivliyi aşağı düşür. Əksinə, $\lambda < \mu$ olduqda sistem daha stabil işləyir və növbə minimal səviyyədə qalır. Bu əlaqə sistemin performansının qiymətləndirilməsi üçün əsas göstəricilərdən biridir.

Simulyasiya yanaşması bu modellərin praktik tətbiqini təmin edir. Müxtəlif trafik ssenariləri əsasında aparılan simulyasiyalar göstərir ki, sistemin davranışı yalnız orta yüklənmədən deyil, həm də pik yüklənmə anlarından asılıdır. Qısa müddətli yüksək trafik dalğaları belə sistemin stabil işləməsinə mənfi təsir göstərə bilər [12, səh. 50–55]. Bu isə real şəbəkələrdə tez-tez müşahidə olunan haldır.

Bundan əlavə, IDS/IPS sistemlərində istifadə olunan analiz metodlarının mürəkkəbliyi də performansa təsir edir. İmza əsaslı analiz üsulları nisbətən sürətli olsa da, yeni və bilinməyən hücumların aşkarlanmasında məhdudiyyətlərə malikdir [13, səh. 102–108]. Davranış əsaslı və ya maşın öyrənməsi metodları isə daha yüksək dəqiqlik təmin etsə də, daha çox hesablama resursu tələb edir [1, səh. 18–22]. Bu isə xidmət müddətinin artmasına və növbələrin formalaşmasına səbəb ola bilər [2, səh. 85–90].

Bu baxımdan sistemin həm təhlükəsizlik səviyyəsi, həm də performansı arasında balansın qorunması əsas problemlərdən biri kimi çıxış edir. Kütləvi xidmət modeli bu balansın analiz olunmasına və optimal həllərin tapılmasına imkan yaradır [6, səh. 30–36].

Aparılan yanaşma göstərir ki, IDS/IPS sistemlərinin performansını yalnız texniki parametrlər əsasında deyil, həm də riyazi modellər və simulyasiya nəticələri əsasında qiymətləndirmək daha effektivdir. Bu isə sistemin real şəraitdə davranışını daha dəqiq proqnozlaşdırmağa və potensial problemlərin qarşısını əvvəlcədən almağa imkan verir [7, səh. 180].

Beləliklə, kütləvi xidmət modeli əsasında aparılan analiz IDS/IPS sistemlərinin optimallaşdırılması, gecikmələrin azaldılması və təhlükəsizlik səviyyəsinin artırılması baxımından mühüm elmi və praktiki əhəmiyyətə malikdir [14, səh. 210–215].

İstifadə olunmuş ədəbiyyat:

1. Sommer, R.; Paxson, V. Outside the Closed World: On Using Machine Learning for Network Intrusion Detection. IEEE Symposium on Security and Privacy, 2016, 18-22 s.
2. Buczak, A.; Guven, E. A Survey of Data Mining and Machine Learning Methods for Cyber Security Intrusion Detection. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016, 85-90 s.
3. Behl, A.; Behl, K. Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know. Oxford University Press, 2017, 256 s.
4. Alcaraz, C.; Zeadally, S. Critical Infrastructure Protection and Intrusion Detection Systems. IEEE Systems Journal, 2017, 110-115 s.
5. Stallings, W. Effective Cybersecurity: A Guide to Using Best Practices and Standards. Pearson, 2018, 448 s.
6. Modi, C.; Patel, D.; Borisaniya, B. A Survey of Intrusion Detection Techniques in Cloud Computing. Journal of Network and Computer Applications, 2018, 30-36 s.
7. Sarker, I. H. Cybersecurity Data Science: Best Practices in an Emerging Profession. Springer, 2021, 180 s.

8. ENISA. ENISA Threat Landscape Report 2023. European Union Agency for Cybersecurity, 2023, 115-122 s.
9. IBM Security. IBM Security Intelligence and SIEM Solutions Overview. 2023, 120 s.
10. Microsoft. Microsoft Security Operations and Threat Protection Guide. 2024, 127-130 s.
11. Cisco. Annual Cybersecurity Report. Cisco Systems, 2022, 88 s.
12. Garfinkel, S. Digital Forensics Research: The Next 10 Years. Digital Investigation Journal, 2020, 50-55 s.
13. Ahmed, M.; Mahmood, A.; Hu, J. A Survey of Network Anomaly Detection Techniques. Journal of Network and Computer Applications, 2016, 102-108 s.
14. Conti, M.; Dehghantanha, A.; Franke, K.; Watson, S. Internet of Things Security and Forensics: Challenges and Opportunities. Future Generation Computer Systems, 2018, 210-215 s.
15. Zhang, Y.; Chen, X. Intrusion Detection Techniques in Cloud Environments: A Survey. Journal of Information Security, 2019, 65-70 s.

ŞƏBƏKƏ PERFORMANSININ ANALİZ VƏ MONİTORİNQ ALƏTLƏRİNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

Comparative Analysis of Network Performance Analysis and Monitoring Tools

Nihad Əhmədov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Rəqəmsal İqtisadiyyat Fakültəsi, İdarəetmədə İnformasiya Sistemləri
nihad.ahmadov.contact@gmail.com
Xırdalan, Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Bu məqalə müasir şəbəkə infrastrukturlarında istifadə edilən performans analiz və monitorinq alətlərinin müqayisəli təhlilini təqdim edir. Tədqiqat çərçivəsində Nagios, Zabbix, PRTG Network Monitor, SolarWinds Network Traffic Analyzer, Wireshark və Grafana+Prometheus alətləri funksionallıq, ölçəklənmə, protokol dəstəyi, lisenziya modeli və ümumi istifadəçi təcrübəsi baxımından qiymətləndirilmişdir. Şəbəkə keyfiyyəti göstəricilərinin riyazi modelləri — bant genişliyi, gecikmə, paket itkisi, jitter və əlçatımlılıq formulları — müfəssəl izah edilmişdir. Alınan nəticələr müxtəlif müəssisə tipləri üçün alət seçimi tövsiyələri ilə birlikdə təqdim olunur.

Açar sözlər: *şəbəkə monitorinqi, performans analizi, Zabbix, PRTG, Nagios, Wireshark, QoS, SNMP, NetFlow.*

Abstract — *This paper presents a comparative analysis of network performance analysis and monitoring tools widely used in modern IT infrastructures. Six tools — Nagios, Zabbix, PRTG Network Monitor, SolarWinds Network Traffic Analyzer, Wireshark, and Grafana+Prometheus — are evaluated against criteria including functionality, scalability, protocol support, licensing model, and overall user experience. Mathematical models of network quality metrics — bandwidth, latency, packet loss, jitter, and availability — are formally defined. Results are presented along with recommendations for tool selection across different enterprise profiles.*

Keywords: *network monitoring, performance analysis, Zabbix, PRTG, Nagios, Wireshark, QoS, SNMP, NetFlow.*

1. GİRİŞ

Müasir informasiya texnologiyaları infrastrukturlarında şəbəkə resurslarının etibarlı idarə edilməsi strateji əhəmiyyət kəsb edir. Rəqəmsal transformasiya prosesinin sürətlənməsi, bulud hesablama xidmətlərinin geniş yayılması və İoT (Internet of Things) cihazlarının sayının artması şəbəkə trafik həcmini əhəmiyyətli dərəcədə artırmış, bu da peşəkar monitorinq alətlərinin tətbiqini zəruri etmişdir [1].

Şəbəkə performansı monitorinqi (Network Performance Monitoring — NPM) dedikdə şəbəkə infrastrukturunda baş verən hadisələrin, xidmət keyfiyyəti göstəricilərinin (QoS) və anomaliyaların real vaxt rejimində izlənməsi, qeydə alınması və analiz edilməsi prosesi başa düşülür [2]. Bu proses müəssisələrə potensial uğursuzluqları proaktiv şəkildə aşkarlamağa, SLA (Service Level Agreement) öhdəliklərini yerinə yetirməyə və resurs planlamasını optimallaşdırmağa imkan verir.

Hazırkı tədqiqatın məqsədi bazarda mövcud olan kommersial və açıq mənbəli monitorinq alətlərinin texniki-funksional müqayisəsini aparmaq, onların üstünlük və məhdudiyyətlərini müəyyənləşdirmək, həmçinin müxtəlif istifadə ssenarilərini əhatə edən tövsiyələr işləyib hazırlamaqdır. Tədqiqat müəssisə informasiya sistemlərinin idarəçiləri, şəbəkə mühəndisləri və akademik oxucular üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Tədqiqatın aktuallığı bir neçə amillə şərtlənir. Birincisi, müəssisələrin 78%-i şəbəkə kəsilmələrinin ən azı bir dəfə ciddi biznes itkisinə yol açdığını bildirir [1]. İkincisi, şəbəkə infrastrukturlarının mürəkkəbləşməsi — hibrid bulud, SD-WAN, 5G inteqrasiyası — ənənəvi monitorinq yanaşmalarını köhnəldir. Üçüncüsü, kibertəhlükəsizlik hadisələrinin 60%-dən çoxu şəbəkə anomaliyalarının gecikmiş aşkarlanması nəticəsində baş verir [2]. Bu kontekstdə düzgün monitorinq alətinin seçimi yalnız texniki məsələ deyil, həm də strateji biznes qərarıdır.

2. NƏZƏRİ ƏSASLAR

2.1 Şəbəkə Performansı Konsepsiyası

Şəbəkə performansı çoxölçülü bir anlayışdır və aşağıdakı əsas göstəriciləri əhatə edir: bant genişliyi (bandwidth), gecikmə (latency), paket itkisi (packet loss), jitter (ötürmə gecikməsinin dəyişkənliyi) və əlçatımlılıq (availability). Bu göstəricilər birlikdə şəbəkənin xidmət keyfiyyəti profilini müəyyən edir [3].

ISO/IEC 7498-1 standartına görə şəbəkə kommunikasiyası yeddi qatlı OSI (Open Systems Interconnection) modeli üzərində qurulur. Performans analizi adətən 3-cü (şəbəkə), 4-cü (nəqliyyat) və 7-ci (tətbiq) qatlarda aparılır, çünki bu qatlar son istifadəçi təcrübəsinə birbaşa təsir göstərir [4].

2.2 SNMP Protokolu

Simple Network Management Protocol (SNMP) şəbəkə cihazlarının (marşrutlaşdırıcılar, kommutatorlar, serverlər) mərkəzi idarə edilməsi üçün standart protokoldur. SNMP arxitekturası üç komponentdən ibarətdir: idarəetmə stansiyası (NMS), agent proqramı və MIB (Management Information Base) verilənlər bazası [5].

SNMPv3 versiyası SHA/MD5 autentifikasiyası və DES/AES şifrələmə mexanizmləri vasitəsilə əvvəlki versiyaların təhlükəsizlik zəifliklərini aradan qaldırmışdır. SNMP-nin Get, GetNext, GetBulk, Set və Trap əməliyyatları şəbəkə cihazlarından məlumat toplamaq və konfiqurasiyanı idarə etmək üçün istifadə olunur. MIB ağacında hər obyekt unikal OID (Object Identifier) ilə identifikasiya edilir; məsələn, 1.3.6.1.2.1.2.2.1.10 interfeysin qəbul etdiyi baytların sayını göstərir [5].

2.3 NetFlow Texnologiyası

Cisco tərəfindən işlənib hazırlanan NetFlow texnologiyası şəbəkə marşrutlaşdırıcılarında IP trafik axınlarına dair statistik məlumatların toplanmasını təmin edir. Hər bir NetFlow rekord mənbə/təyinat IP ünvanı, port nömrəsi, protokol tipi, xidmət kodu (ToS) və interfeys indeksi sahələrini ehtiva edir [6]. IPFIX (IP Flow Information Export — RFC 7011) həm NetFlow, həm sFlow texnologiyalarını birləşdirən IETF standartıdır.

3. RİYAZİ MODELLƏR

3.1 Əsas Performans Göstəriciləri

Cədvəl 1-də şəbəkə performansının ölçülməsində istifadə edilən əsas metriklərin riyazi ifadələri verilmişdir.

Cədvəl 1. Şəbəkə Performans Metrikləri

Metrik	Riyazi ifadə	İzah
Bant genişliyi (BG)	BG = (bayt × 8) / müddət	Şəbəkə istifadəsini ölçür
Gecikmə (RTT)	RTT = t_alınma − t_göndərmə	Paket dövriyə müddəti
Paket itkisi (%)	PI = (gönd.−qəb.) / gönd. × 100	Şəbəkə keyfiyyəti göstəricisi
Jitter (J)	J = |RTT_n − RTT_{n-1}|	Real vaxt tətbiqləri üçün kritik
Əlçatımlılıq (A)	A = MTBF / (MTBF + MTTR)	SLA öhdəlikləri üçün əsas

Metrik	Riyazi ifadə	İzah
Yük əmsalı (YƏ)	YƏ = cari trafik / max. tutum	Şəbəkə tıxacı proqnozu

3.2 Əlçatımlılıq Modeli

Şəbəkə sisteminin əlçatımlılığı (A) aşağıdakı formula ilə hesablanır:

A = MTBF / (MTBF + MTTR)

burada MTBF (Mean Time Between Failures) — uğursuzluqlar arasındakı orta müddəti, MTTR (Mean Time To Repair) — bərpa üçün orta müddəti ifadə edir. 99,99%-lik əlçatımlılıq ildə cəmi 52,6 dəqiqə fasilə deməkdir.

3.3 Jitter Hesablanması (RFC 3550)

Jitter — ardıcıl paketlər arasındakı ötürmə gecikməsinin dəyişkənliyi olub RTCP protokolunda aşağıdakı iterativ formula ilə hesablanır:

J(i) = J(i-1) + (|D(i-1,i)| − J(i-1)) / 16

burada D(i-1, i) ardıcıl i-1 və i paketlərinin qəbul vaxtları arasındakı fərqdir. VoIP trafiki üçün jitter 30 ms-dən az, video konfrans üçün isə 50 ms-dən az olmalıdır [7].

3.4 Anomaliya Aşkarlanması

Zaman seriyası Xt üçün anomaliya aşkarlanmasında z-xal (z-score) metodu istifadə edilir:

z(t) = (X_t − μ) / σ

burada μ — seçmənin orta qiyməti, σ — standart sapmasıdır. |z(t)| > 3 halları statistik anomaliya kimi qiymətləndirilir. Daha mürəkkəb ssenarilər üçün Holt-Winters eksponensial hamarlaması trafik proqnozlaşdırmasında tətbiq edilir [8]:

S_t = α·X_t + (1-α)·(S_{t-1} + b_{t-1})

b_t = β·(S_t − S_{t-1}) + (1-β)·b_{t-1}

4. ALƏTLƏRİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

4.1 Qiymətləndirmə Meyarları və Ümumi Müqayisə

Müqayisəli qiymətləndirmə lisenziya modeli, quraşdırma mürəkkəbliyi, dəstəklənən protokollar, hesabat imkanları, ölçəklənmə qabiliyyəti və API inteqrasiyası meyarları əsasında aparılmışdır. Cədvəl 2-də altı əsas alət üçün müqayisəli xülasə verilmişdir.

Cədvəl 2. Şəbəkə Monitorinq Alətlərinin Müqayisəsi

Alət	Lisenziya	Quraşdırma	Protokol	Hesabat	Ölçəklənmə	Qiymət
Nagios	Pulsuz/Pro	Orta	SNMP, TCP	Məhdud	Yüksək	7/10
Zabbix	Açıq mənbə	Yüksək	SNMP,JMX,IPMI	Daxili	Çox yüksək	9/10
PRTG	Kommersial	Aşağı	SNMP,WMI,Flow	Daxili	Yüksək	9/10
SolarWinds	Kommersial	Orta	NetFlow,sFlow	Geniş	Yüksək	8/10
Wireshark	Açıq mənbə	Yüksək	Paket analizi	Yoxdur	Orta	7/10
Grafana+Prom.	Açıq mənbə	Orta	API, Pull	Daxili	Çox yüksək	9/10

4.2 Nagios

1999-cu ildə yaradılmış Nagios şəbəkə monitorinqinin pioneeri sayılır [9]. Plugin arxitekturası sistemə yüksək genişlənmə qabiliyyəti verir: 5000-dən artıq ictimai plugin mövcuddur. Nagios Core açıq mənbəli, Nagios XI isə kommersial versiyasıdır. Sistemin əsas çatışmazlığı müasir vizuallaşdırma imkanlarının məhdud olması və konfiqurasiya prosesinin mürəkkəbliyidir.

4.3 Zabbix

Zabbix açıq mənbəli şəbəkə monitorinqinin ən populyar həllərindən biridir [10]. SNMP, JMX, IPMI, HTTP, SSH/Telnet protokollarını, agent əsaslı və agentsiz monitorinqi dəstəkləyir. Güclü REST API, dinamik eşiklər, elastik şablonlar sistemi və daxili proqnozlaşdırma imkanları Zabbix-i böyük müəssisə mühitlərinin seçiminə çevirir.

4.4 PRTG Network Monitor

Paessler AG tərəfindən hazırlanmış PRTG kommersial bazar seqmentinin liderlərindən biridir [11]. "Sensor" əsaslı lisenziya modeli kiçik və orta müəssisələr üçün cəlbedicidir. Qrafik interfeysi son dərəcə intuitiv olub texniki bilik tələbini minimuma endirir.

4.5 SolarWinds Network Traffic Analyzer

SolarWinds NTA NetFlow, sFlow, J-Flow, IPFIX trafik axın formatlarını emal edərək dərin trafik analizi aparır [12]. NPM modulu ilə inteqrasiya sayəsində zəngin korrelyasiya imkanları yaranır. Enterprise seqmentdə vizuallaşdırma keyfiyyəti rəqibsiz sayılır.

4.6 Wireshark

Wireshark paket səviyyəsindəki ən güclü açıq mənbəli analizatordur [13]. 3000-dən artıq protokolun dekodunu dəstəkləyir. Şəbəkə problemlərinin diaqnostikasında və təhlükəsizlik tədqiqatlarında geniş istifadə olunur. Bununla belə, real vaxt monitorinqi üçün uyğun deyil.

4.7 Grafana + Prometheus

Prometheus məlumat toplanması və saxlanmasını, Grafana isə interaktiv vizuallaşdırmanı yerinə yetirir [14]. Prometheus-un pull modeli mikroxidmət mühitlərində üstün hesab edilir. Kubernetes ekosistemi ilə dərin inteqrasiya bu paketi bulud-doğma (cloud-native) monitorinqin standartına çevirmişdir.

5. TƏTBİQİ TƏHLİL VƏ MÜZAKİRƏ

5.1 Test Mühitinin Təsviri

Müqayisəli sınaq 48 port 1GbE kommutator, iki ədəd 10GbE magistral bağlantı, 120 virtual maşın (VMware ESXi 8.0) və 15 Mbps orta trafik yükü olan laboratoriya mühitində aparılmışdır. Hər alət 30 günlük müşahidə dövrü ərzində eyni infrastruktura qoşulmuşdur.

5.2 Performans Müqayisəsi

CPU və RAM istehlakı baxımından Prometheus+Grafana kombinasiyası ən səmərəli nəticə göstərdi (orta 2,3% CPU, 1,1 GB RAM). Buna müqayisədə PRTG 5,7% CPU, 2,4 GB RAM istehlak etdi; Zabbix isə optimallaşdırılmış poller konfiqurasiyası ilə 3,1% CPU ilə işlədi.

Xəbərdarlıq gecikmə (alert latency) ölçümlərində PRTG 12 saniyelik orta gecikməylə ən yaxşı nəticəni göstərdi. Nagios-da bu göstərici defolt konfiqurasiyada 5 dəqiqəyə çatır, lakin check_interval parametri dəyişdirməklə 30 saniyəyə endirilə bilər. Zabbix trigger mexanizmi isə orta 18 saniyəlik gecikmə ilə ikinci yeri tutdu.

Saxlama tələbləri baxımından SolarWinds NTA ən çox disk sahəsi tələb edir — 30 günlük NetFlow məlumatı üçün 120 host mühitində 180 GB-a qədər çata bilər. Prometheus-un sıxılmış TSDB (Time Series Database) formatı eyni dövr üçün cəmi 12 GB istifadə edir, bu da onu resurs məhdud mühitlər üçün üstün edir.

5.3 İstifadəçi Ssenariləri üzrə Tövsiyələr

Kiçik və orta müəssisələr (50–500 host): PRTG Network Monitor əlverişli quraşdırma prosesi, zəngin hazır şablonlar və sürətli nəticə əldə etmə imkanına görə tövsiyə olunur. İlkin 100 sensor ücrətsizdir, bu da pilot layihə üçün ideal başlanğıc nöqtəsidir.

Böyük müəssisələr (500+ host, çoxsaytlı mühit): Zabbix əsas platforma kimi seçilməlidir. Zabbix Proxy komponenti uzaq saytlar üçün mərkəzləşdirilmiş görünürlük (centralized visibility) yaradır. Açıq mənbəli olması lisenziya xərclərini sıfıra endirir, lakin peşəkar dəstək üçün kommersial abunəlik mövcuddur.

DevOps / bulud-doğma mühitlər: Prometheus + Grafana kombinasiyası Kubernetes, Docker Swarm və mikroxidmət arxitekturalarına ən yaxşı uyğunlaşır. Grafana Loki istifadəsi ilə log agregasiyası da eyni platforma daxilə gətirilə bilər. OpenTelemetry inteqrasiyası izləmə (tracing), metrik və log məlumatlarını vahid boru kəmərində birləşdirir.

Dərin paket analizi, forensics və protokol debugging: Wireshark yeganə həll olaraq öndə gəlir. Tcpdump ilə birlikdə skript avtomatlaşdırma imkanı əldə edilir. Korporativ hesabat və SLA izləmə: SolarWinds NTA xidmət keyfiyyəti hesabatlarının avtomatlaşdırılması baxımından enterprise müştərilər üçün ən güclü həll olaraq qiymətləndirilir.

6. NƏTİCƏ

Bu tədqiqatda şəbəkə performansı monitorinqi üçün geniş yayılmış altı alətin çoxtərəfli müqayisəli analizi aparılmışdır. Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, heç bir alət bütün istifadə ssenarilərini optimal şəkildə əhatə edə bilmir; optimal seçim müəssisənin ölçüsündən, texnoloji yetkinlik səviyyəsindən, büdcə imkanlarından və inteqrasiya tələblərindən asılıdır.

Riyazi model baxımından əlçatımlılıq (MTBF/MTTR), jitter (RFC 3550 iterativ metod) və anomaliya aşkarlanması (z-xal, Holt-Winters eksponensial hamarlaması) şəbəkə keyfiyyətinin ölçülməsində əsas formal çərçivəni təşkil edir. Sınaq nəticələri göstərdi ki, resurs səmərəliliyi baxımından Prometheus+Grafana, istifadə asanlığı baxımından PRTG, miqyaslılıq baxımından isə Zabbix lider mövqeyindədir.

Gələcək tədqiqatlarda süni intellekt (AI/ML) əsaslı anomaliya aşkarlama modullarının ənənəvi eşik (threshold) metodlarına nisbətdə etkinliyinin qiymətləndirilməsi perspektivli istiqamət kimi müəyyənləşdirilmişdir. Bundan əlavə, SD-WAN infrastrukturlarında monitorinq xüsusiyyətlərinin araşdırılması, OpenTelemetry standartının müxtəlif alətlərlə inteqrasiya potensialının təhlili və süni intellektlə proaktiv şəbəkə idarəetmə sistemlərinin (AIOps) sınaqdan keçirilməsi aktual problemlər sırasına aid edilir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

[1] Cisco Systems. (2023). Cisco Annual Internet Report 2018–2023. White Paper. San Jose, CA: Cisco Press.
[2] Baer, T., & Chandola, V. (2022). Network Performance Management: Fundamentals and Best Practices. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 24(1), 45–78. https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3118562
[3] ITU-T Recommendation G.1010. (2001). End-user multimedia QoS categories. Geneva: International Telecommunication Union.
[4] Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2021). Computer Networks (6th ed.). Pearson Education.
[5] Case, J., Fedor, M., Schoffstall, M., & Davin, J. (1990). Simple Network Management Protocol (SNMP). RFC 1157. IETF.
[6] Claise, B. (2004). Cisco Systems NetFlow Services Export Version 9. RFC 3954. IETF. https://doi.org/10.17487/RFC3954
[7] Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., & Jacobson, V. (2003). RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. RFC 3550. IETF.
[8] Holt, C. E. (1957). Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. ONR Memorandum No. 52. Carnegie Institute of Technology.
[9] Galstad, E. (2008). Nagios: System and Network Monitoring (2nd ed.). No Starch Press.
[10] Olups, R. (2019). Zabbix 4 Network Monitoring (3rd ed.). Packt Publishing.
[11] Paessler AG. (2024). PRTG Network Monitor Documentation (v24.x). Retrieved from https://www.paessler.com/manuals/prtg
[12] SolarWinds. (2024). Network Traffic Analyzer Administrator Guide. Austin, TX: SolarWinds Worldwide.
[13] Combs, G., et al. (2023). Wireshark User's Guide for Wireshark 4.x. Wireshark Foundation.
[14] Prometheus Authors. (2024). Prometheus Documentation. Retrieved from https://prometheus.io/docs/introduction/overview

Məqaləyə istinad (APA 7): Əhmədov, N. (2024). Şəbəkə performansının analiz və monitorinq alətlərinin müqayisəli təhlili. [Jurnal adı], [cild](say), səh–səh. https://doi.org/xxxxx

AZRAGBENCH: A COMPREHENSIVE EVALUATION SUITE FOR AZERBAIJANI RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION

Nijat Jafarov
School of IT and Engineering
ADA University
Baku, Azerbaijan
njafarov24614@ada.edu.az

Abstract: Retrieval-Augmented Generation (RAG) enhances the performance of Large Language Models by integrating external information to produce context-aware responses. While RAG has achieved significant success in high-resource languages, its application to Azerbaijani remains largely underexplored. As a morphologically rich and relatively low-resource language, Azerbaijani presents unique challenges, particularly regarding the availability of high-quality corpora and the performance of semantic embeddings. This research presents the design, evaluation, and benchmarking of a scalable RAG

architecture specifically optimized for Azerbaijani content. We develop an end-to-end pipeline that integrates document ingestion, vector-based retrieval, and large language model generation. To address the lack of standardized evaluation tools, we introduce a comprehensive academic benchmark for Azerbaijani RAG. This benchmark consists of a curated document collection paired with structured query-answer sets, enabling a systematic assessment of both retrieval and generative parts. Our results provide a foundational framework for developing and evaluating robust NLP systems for the Azerbaijani language.
Keywords: *RAG, retrieval system, generation engine, text embedding, vector database, LLM*

INTRODUCTION

K. From Parametric-Only to Retrieval Augmented Generation

Large Language Models (LLMs) have fundamentally transformed the Progress in Natural language Processing by demonstrating advanced capabilities in understanding and generating human-like text. These models, trained on massive corpora at scale, store knowledge implicitly within their parameters, enabling them to perform a wide array of linguistic tasks without task-specific fine-tuning. However, this parametric-only approach carries some limitations. First, the knowledge stored in model parameters is dependent on the time of training, rendering LLMs incapable of accessing up-to-date information after their pre-training without costly and computationally expensive retraining. Second, the nature of parametric knowledge storage contributes to the well-documented phenomenon of hallucinations—instances where models generate factually incorrect information and present that as correct information [1]. Third, parametric models lack the ability to cite sources or provide provenance for their claims.

Retrieval-Augmented Generation (RAG) emerged as a transformative architectural response to these limitations. RAG fundamentally reimagines the language generation process by augmenting parametric memory with a non-parametric retrieval component [2]. In the RAG framework, an input query first triggers a retrieval operation over an external knowledge corpus—typically represented as dense vector embeddings indexed for efficient similarity search. The retrieved passages are then fed as contextual information to a seq2seq generator, which produces output based on both the original query and the retrieved evidence. This architecture yields several critical advantages: it enables access to up-to-date information without retraining, reduces hallucinations by grounding generation in retrieved evidence, provides inherent source attribution, and allows for modular updating of knowledge by simply modifying the external corpus.

The theoretical elegance of RAG belies the complexity of its practical implementation. The effectiveness of a RAG system depends critically on the synergy between its retrieval and generation components. The retriever must surface relevant, diverse, and accurately ranked passages from potentially massive corpora, while the generator must effectively incorporate this retrieved information without being overwhelmed by irrelevant or contradictory content. Furthermore, the choice of embedding model, vector database configuration, chunking strategy, and retrieval mechanism all significantly impact system performance. These design decisions interact in complex ways that are not fully understood and remain an active area of research.

L. Big Data Analytics Challenges on Textual Data

The convergence of RAG with Big Data analytics represents one of the most significant opportunities in contemporary Artificial Intelligence. Organizations across healthcare, finance, e-commerce, manufacturing, and public services are generating textual data at unprecedented scales—from clinical notes and financial reports to customer service logs and technical documentation. Velocity and variety of up-to-date data generation presents both a challenge and an opportunity: the volume is too vast for manual analysis, yet it contains insights that are critical for decision-making, personalization, and operational efficiency. Traditional keyword-based search and rule-based systems are inadequate for extracting nuanced semantic meaning from this corpus. LLMs offer sophisticated language understanding, but their static parametric knowledge cannot incorporate the dynamic, domain-specific, or real-time information contained in organizational Big Data repositories.

RAG provides a principled solution to this dilemma by serving as a bridge between the generative capabilities of LLMs and the specific, up-to-date information contained in Big Data sources. In a RAG-enabled architecture, an organization's internal knowledge base—whether structured databases, unstructured documents, or semi-structured records—is indexed as a retrievable corpus. When a user poses a query, the system retrieves the most relevant parts from this corpus and uses them to ground the LLM's generation. This approach ensures that responses are not only fluent and coherent but also factually

grounded in the organization's specific data assets. RAG enables natural language querying of massive text corpora, automates the synthesis of information across disparate documents, and facilitates knowledge extraction at scale without requiring custom model training for each domain.

M. The Low-Resource Language Gap

Despite the rapid advancement of RAG research and its demonstrated benefits for high-resource languages—particularly English—there exists a substantial and consequential gap in the application of these techniques to low-resource languages. Azerbaijani is morphologically rich, featuring agglutinative morphology where multiple morphemes combine to form complex word forms that convey what would require multiple words in analytic languages like English. This morphological complexity creates significant challenges for standard tokenization approaches, which are typically optimized for English and other high-resource Indo-European languages.

Systematic benchmarking is the foundation upon which reproducible scientific progress is built. Without standardized datasets, evaluation metrics, and experimental protocols, it becomes impossible to objectively compare different approaches, identify state-of-the-art performance, or understand the trade-offs inherent in alternative design decisions. Benchmarking enables explainable evaluation of retrieval-augmented systems by providing a common framework for measuring both retrieval accuracy and generation quality. The recent establishment of TUMLU (Turkic Multilingual Language Understanding benchmark) represents an important step forward for Turkic languages, providing a native-language benchmark for assessing language understanding capabilities across Azerbaijani, Turkish, Kazakh, and other Turkic languages [3].

However, no equivalent benchmark exists specifically for Azerbaijani RAG pipelines. Evaluating a RAG system requires measuring two interconnected components: the retriever's ability to locate relevant passages from a corpus, and the generator's ability to produce faithful, grounded responses conditioned on those passages. Dedicated RAG benchmarks require carefully constructed corpora with known relevant passages, query sets with ground-truth answers, and evaluation protocols that disentangle retrieval errors from generation errors. The absence of such resources for Azerbaijani constitutes a critical barrier to research and development in this area.

This research addresses the identified gaps by establishing a systematic framework for evaluating RAG systems in Azerbaijani. The primary aim is to enable objective, reproducible assessment of retrieval and generation components, thereby facilitating progress in low-resource language RAG. Specifically, this research analyzes multiple embedding and LLM models to assess their effectiveness for semantic retrieval in this morphological rich language. Alternative retrieval and generation strategies are compared to determine how retrieved information can be most effectively integrated into fluent, faithful Azerbaijani responses.

We aim for two main contributions with the results of this research. First, we present a dedicated benchmark for Azerbaijani RAG evaluation, including curated corpora, query sets, and ground-truth relevance judgments. Second, we provide a systematic empirical analysis of design choices across the RAG pipeline—from embedding selection to retrieval configuration—quantifying their impact on overall system performance. By establishing evaluation infrastructure and providing empirical baselines, this research aims to lower the barrier to entry for Azerbaijani RAG development and contribute to the broader goal of linguistic inclusivity in retrieval-augmented generation systems.

RELATED WORK

N. Foundations of Retrieval-Augmented Generation

Early work showed that LLMs encode vast world knowledge but struggle on factoid QA without external memory. Research [1] introduced RAG, where a pre-trained seq2seq model (e.g. BART) retrieves top-k passages from a Wikipedia index and conditions generation on them. This “parametric + non-parametric” model achieved state-of-the-art on open-domain QA, producing more factual, diverse answers than purely parametric models. A related trend is **REALM**, which jointly pre-trains a retriever and a masked language model so that the LM attends to retrieved documents during pre-training and fine-tuning [4]. Meanwhile, **Dense Passage Retrieval (DPR)** was proposed: dual-encoder dense embeddings that can be efficiently indexed [5]. DPR’s retriever outperformed BM25 by 9–19% in top-20 passage recall and enabled state-of-the-art open-QA systems. These works laid the groundwork for RAG by demonstrating that retrieval can be integrated end-to-end with generation (and even pre-training) to improve knowledge retrieval and answer generation. Subsequent improvements include **Fusion-in-Decoder (FiD)** which retrieves many passages per query and fuses them in the decoder, and “re-ranking” techniques where a second model refines retrieved passages. In summary, **RAG models** combine neural IR and generation: queries are sent

to a retriever **(e.g. DPR, BM25, Contriever)** which returns documents; these are then fed into a generator (LLM) to produce answers.

O. Major Datasets and Benchmarks for RAG

RAG systems have been evaluated on many QA/IR benchmarks. **Natural Questions (NQ)** is a large open-domain QA dataset drawn from real Google queries, with 307K training examples of questions paired with long-answer (paragraph) and short-answer (span) annotations on Wikipedia [6]. NQ mimics a realistic user query and is often used as a retrieval and generation benchmark. **TriviaQA** contains 95K trivia questions with 650K evidence passages from web sources, emphasizing compositional questions, and cross-sentence reasoning [7]. **MS MARCO** provides ~1,010,916 real Bing search queries with human-generated answers and ~8.8 million retrieved web passages [8]. MS MARCO supports tasks like answerability prediction, answer generation, and passage ranking; its scale and web-domain nature make it a key retrieval and generative QA benchmark.

Beyond QA, **BEIR** is a heterogeneous IR benchmark collecting *18* retrieval datasets across diverse domains (news, bio, forums, etc.) [9]. BEIR's evaluation of 10 retrieval models showed, for example, that BM25 remains a strong baseline, that complex late-interaction models achieve the best zero-shot retrieval but at high computational cost, while dense retrievers are efficient but underperform. In the knowledge-intensive generation space, **KILT** unified 11 datasets over *5 tasks* (including open-domain QA, slot filling, factchecking, dialogue, and entity linking) on a single Wikipedia snapshot [10]. KILT's ~3.2M instances are all *in-KB* (answerable within Wikipedia), and it includes task-specific metrics (e.g. answer accuracy and provenance retrieval). For example, KILT only awards credit (e.g. EM or ROUGE-L) when the system retrieves the correct evidence page, emphasizing explainability.

P. Non-English RAG Benchmarks

Although Retrieval-Augmented Generation (RAG) has become a standard paradigm for grounding large language models (LLMs) with external knowledge, most benchmark design and evaluation practices remain heavily centered on English. This creates a significant gap for multilingual and low-resource settings, where linguistic structure, document conventions, and data availability can substantially alter retrieval and generation behavior. Recent work has begun to address this limitation by developing language-specific RAG benchmarks and analyses, demonstrating that findings from English-centric systems do not always transfer reliably to other languages.

One notable line of work focuses on Chinese RAG evaluation. The **CRUD-RAG** benchmark extends evaluation beyond traditional factoid question answering and argues that RAG should be assessed across a broader spectrum of real-world information tasks, namely Create, Read, Update, and Delete [11]. Its central contribution is methodological: rather than evaluating only answer correctness, it studies the interaction between multiple RAG pipeline components, including retrievers, chunking strategies, knowledge base construction, context length, and generator models. This is especially relevant for benchmark construction, because it shows that RAG quality is not determined by the LLM alone, but by the combined behavior of the entire pipeline.

Another notable work is related with Turkish. Turkish and Azerbaijani are both agglutinative Turkic languages, sharing important morphological characteristics such as rich suffixation, surface-form variation, and lexical sparsity under naïve token matching. These features can make retrieval more difficult, particularly when chunking and embedding models are not adapted to morphologically rich text. The recent **RAGTurk** study explicitly investigates best practices for Turkish RAG and shows that design choices such as query transformation, reranking, and answer refinement can significantly affect downstream performance [12]. Importantly, it reports that overly complex multi-stage pipelines do not always help; in some cases, they may even degrade performance by distorting useful morphological signals. This finding is highly relevant for Azerbaijani RAG system design, where simpler and more linguistically robust retrieval pipelines may outperform more elaborate but less language-aware architectures.

METHODOLOGY AND VARIABLES

The efficacy of a Retrieval-Augmented Generation (RAG) architecture is fundamentally constrained by the quality, density, and relevance of its underlying corpus. To systematically evaluate RAG performance in the Azerbaijani language, we constructed the AzRAGBench dataset. This corpus was designed not merely as a large-scale collection of text, but as a heavily curated, multidomain knowledge base optimized specifically for retrieval and question-answering tasks.

Q. Dataset

To ensure the benchmark reflects real-world use cases, data was aggregated from high-fidelity, authoritative sources across distinct domains. The primary domains include:

Legal Data: Sourced from official legislative repository, E-Qanun, providing complex, dense, and highly structured text requiring precise retrieval capabilities.

News Data: Sourced from localized media, Azertac, offering timely, fact-driven narratives.

Encyclopedic Data: Extracted from Azerbaijani Wikipedia, establishing a baseline for general factual retrieval.

TABLE III. DATASET STATISTICS BASED ON THE DOMAIN

Domain	Source	Count	Median Score
Law	E-Qanun	1500	46
News	Azertac	5000	64
Encyclopedia	AzWikipedia	2505	56

A core contribution of the AzRAGBench methodology is the implementation of an automated, LLM-assisted quality assessment pipeline. Raw data obtained via web scraping often contains noise, redundant information, or shallow content unsuitable for rigorous RAG evaluation. To address this, each chunked document was passed through a multi-dimensional scoring matrix, yielding a rich set of metadata annotations used for aggressive filtering. We used "gpt-4o-mini" model for this task.

To establish a high-fidelity foundation for the retrieval phase, the initial document set underwent a strict quality-based filtering pipeline. Documents were evaluated and categorized based on their assigned quality scores using two primary cutoffs: a main threshold of 80 and an archive threshold of 50.

R. Filtering and Chunking

Documents achieving a quality score of 80 or higher were classified into the main corpus, resulting in a refined subset of 482 high-quality texts. Documents scoring between 50 and 79 were relegated to the archive corpus, which comprised 6,301 texts, while the remaining 2,222 documents scoring below 50 were entirely dropped from the dataset. To minimize noise and maximize the reliability of the downstream generation, only the 482 documents from the strictly filtered Main corpus were advanced to the chunking phase.

The selected main corpus spans three distinct textual domains: legal, news, and encyclopedic data. Because each domain exhibits unique formatting and informational properties—such as rigid article formatting in legal texts and hierarchical headings in encyclopedias—a single fixed-size chunking strategy was deemed insufficient. Instead, we applied a combination of recursive chunking and structure-aware chunking. This approach respects the natural boundaries of the text, ensuring that semantic cohesion is maintained without severing critical structural elements.

Notably, we elected not to implement semantic chunking. Recent empirical evaluations demonstrate that the substantial computational overhead introduced by semantic chunkers is rarely justified by consistent performance gains across retrieval-related tasks [13]. Aligning with these findings, we optimized for both computational efficiency and contextual preservation.

Applying our recursive and structure-aware methodologies across the 482 Main corpus documents yielded a final, highly coherent index of 1,374 chunks ready for embedding and establishing golden question-answer dataset.

S. Golden Dataset

To construct the AzRAGBench golden dataset, we created a high-quality benchmark of 1,000 QA pairs in Azerbaijani, derived from a corpus covering legal, news, and encyclopedic domains. The dataset is carefully balanced across answerability and reasoning scenarios: 750 questions (75%) are answerable, and 250 (25%) are unanswerable, either due to insufficient context in the corpus or insufficient context in retrieved chunks. Among answerable questions, 500 (50%) are single-chunk, while 250 (25%) require multi-chunk reasoning. The remaining 250 unanswerable questions are split into 150 corpus-unanswerable and 100 retrieval-unanswerable examples.

The dataset covers a diverse set of question types to test different reasoning skills. The most common types are rule requirement (138), event factual (116), and procedure (106). Definitions, rights, authority, timelines, eligibility, cause-effect, comparison, and exception-condition questions are also represented,

with counts ranging from 64 to 100 per type. Difficulty is intentionally skewed toward easier questions, with 640 classified as easy, 358 as medium, and 2 as hard, reflecting realistic retrieval scenarios where most answers are locally present.

Chunks used as gold evidence total 783, while 577 chunks remain unused, providing a realistic challenge for retrieval systems. Unanswerable items are generated either by prompting the model to produce questions outside the provided context (corpus-unanswerable) or by replacing gold evidence with distractor chunks (retrieval-unanswerable).

T. Embedding

A core component of any Retrieval-Augmented Generation (RAG) pipeline is the embedding layer, which maps both user queries and corpus chunks into a shared continuous vector space. In AzRAGBench, we evaluate several state-of-the-art multilingual and general-purpose embedding models to study their effectiveness for Azerbaijani retrieval, particularly in a benchmark setting spanning legal, encyclopedic, and news-oriented textual domains. Because Azerbaijani remains underrepresented in many retrieval benchmarks, the embedding stage is especially important: the semantic quality of dense representations directly influences retrieval accuracy, grounding quality, and downstream answer generation.

Azerbaijani retrieval quality is sensitive not only to the embedding model itself, but also to the input representation supplied to the model. To preserve semantic and structural information, our benchmark does not embed raw chunk text in isolation whenever metadata is available. Instead, each chunk is transformed into an embedding-oriented textual representation that includes contextual metadata such as title, domain, source, and publication date. This representation helps disambiguate chunks that may contain partial or locally ambiguous text. For example, a legal clause excerpt without title information may be difficult to interpret semantically, while including the title and source improves its retrieval specificity.

U. Multi-Model Embedding Evaluation

The primary purpose of AzRAGBench is not merely to benchmark language models, but to evaluate the full RAG stack under Azerbaijani-language conditions. Since dense retrieval quality is highly sensitive to the underlying embedding model, relying on a single representation model could produce misleading conclusions about system performance. We tried to study whether strong multilingual retrieval performance in high-resource languages transfers to Azerbaijani, and whether embedding models trained with retrieval-specific contrastive objectives outperform more general semantic encoders in this setting.

BGE-M3 (BAAI/bge-m3) serves as our open-source baseline. Developed by the Beijing Academy of Artificial Intelligence, BGE-M3 has demonstrated superior performance over other multilingual embedding models across MIRACL, MTEB, and SEB benchmarks [14]. Its key architectural innovation lies in supporting multi-functionality: dense retrieval, sparse retrieval, and multi-vector retrieval within a single framework. For low-resource languages, fine-tuned BGE-M3 has achieved substantial gains—raising MRR from 0.7846 to 0.9201 for Yorùbá in recent studies. This indicates strong cross-lingual transfer potential for Azerbaijani, which shares morphological complexity with other Turkic and low-resource language families.

Qwen3-Embedding (text-embedding-v4) from Alibaba Cloud adopts a different architectural philosophy. As a 1024-dimension proprietary embedding model accessed via API, it benefits from training on massive-scale multilingual corpora including Chinese, English, and other major languages. The Qwen family has demonstrated competitive performance on non-English tasks [15], suggesting strong prediction that may generalize to agglutinative languages like Azerbaijani. Its inclusion allows for comparison between open-source locally-hosted models and API-based commercial alternatives along the axes of performance, latency, and cost.

Snowflake's Arctic Embed L v2.0 model (568 million parameters) achieves state-of-the-art performance on retrieval benchmarks with an NDCG@10 score of 55.98 on the MTEB Retrieval benchmark. The model is built on a long-context variation of Facebook's XMLR-Large architecture and supports up to 8,192 tokens of context with an embedding dimension of 1,024. In Snowflake's internal benchmarking against other open-source multilingual models (evaluated on CLEF covering English, French, Spanish, Italian, and German), Arctic Embed L 2.0 demonstrates superior out-of-domain generalization while maintaining English retrieval quality—unlike many multilingual models that sacrifice English performance for multilingual support .

Gemini Embedding 2 ranks No. 1 overall with an ELO rating of 1605 and a win rate of 59.5%, according to the Agentset leaderboard (based on 1,065 evaluations across 18 models). The model supports text, images, video, audio, and documents in a single unified embedding space across 100+ languages, with

flexible output dimensions of 3072/1536/768 using Matryoshka Representation Learning. The model was released in March 2026 and is available via the Gemini API with an average latency of 435ms.

V. Generation with SotA LLMs

Claude Sonnet 4.6 has demonstrated strong multilingual reasoning capabilities. Benchmark data from Artificial Analysis shows Claude Sonnet 4.6 achieving 93 on the Portuguese Multilingual Index, placing it among top performers. Its architectural strengths include constitutional AI training for safety and strong instruction-following across languages. For our RAG application, Claude's documented ability to handle code-switching and mixed-language contexts is particularly relevant. It is used for LLM as a Judge evaluation.

GPT-5.4 represents the latest iteration in OpenAI's flagship series. The model features a 1 million token context window and native Computer Use capabilities. Meta-analysis comparing GPT-4 Turbo (predecessor architecture) against Gemini, Qwen, and LLaMA shows ChatGPT-4 Turbo leading in reasoning accuracy at 86.5 ± 1.9% on MMLU [15]. GPT-5.4's extended context and tool-use capabilities enable sophisticated RAG patterns, including multi-step retrieval and answer synthesis across large document collections.

Gemini 3 Flash is positioned as a high-speed, cost-efficient model. Translation benchmarks comparing Gemini 2.5 and 3.0 against Google Translate demonstrate that Gemini 3.0 achieves comparable or superior translation quality at 6.4x lower cost than Google Translate, with Gemini 2.5 Flash Non-Thinking achieving 36x cost reduction. For Azerbaijani RAG, where commercial API costs can be prohibitive for large-scale evaluation, Gemini 3 Flash offers a favorable price-performance ratio while maintaining strong multilingual capabilities.

DeepSeek-V3.2 is included as an open-weight alternative accessible via OpenAI-compatible API. Meta-analysis by Springer's Journal of Big Data positions DeepSeek-R1 as demonstrating "strong coding and multilingual efficiency," achieving 80.2 ± 1.5% on HumanEval and 78.5 ± 1.8% on MMLU [15]. DeepSeek's Mixture-of-Experts architecture with 128k context and FlashAttention-2 optimization balances accuracy with computational efficiency. For Azerbaijani RAG, DeepSeek's documented multilingual capabilities and open-source availability enable reproducible, locally deployable RAG pipelines without API dependencies.

Kimi K2.5 represents an emerging class of OpenAI-compatible models with competitive benchmarking results. According to OpenRouter benchmarks, Kimi K2.5 achieves 87.9% on GPQA Diamond (graduate-level scientific reasoning), 95.9% on τ^2-Bench Telecom (conversational AI agents), 65.3% on AA-LCR (long context reasoning), 38.7% on GDPval-AA (economically valuable tasks).

PRELIMINARY RESULTS AND DISCUSSIONS

AzRAGBench employs a multi-dimensional evaluation framework that separately assesses retrieval precision, generation fidelity, and system calibration.

We utilize Mean Reciprocal Rank (MRR), Recall@5, and Normalized Discounted Cumulative Gain at 5 (nDCG@5) as Retrieval Metrics. MRR captures the rank position of the first relevant chunk, Recall@5 measures the proportion of answerable questions where at least one gold chunk appears in the top-5 results, and nDCG@5 accounts for graded relevance and ranking quality.

TABLE IV. AVERAGE RESULTS OF EMBEDDING MODELS ON RETRIEVAL EVALUATION

Embedding Model	MRR	Recall@5	nDCG@5
Gemini Embedding 2	**0.78**	**0.68**	**0.66**
BGE-M3	0.74	0.66	0.63
Qwen3-Embedding	0.74	0.64	0.62

To summarize the results, Gemini Embedding 2 achieves the highest retrieval scores (MRR: 0.78, nDCG@5: 0.66), outperforming BGE-M3 and Qwen3-Embedding by 4-5%. This aligns with its strong cross-lingual training and MRL capabilities. However, the performance gap between proprietary and open models is narrower than anticipated, with BGE-M3 demonstrating remarkable transferability to Azerbaijani despite lacking explicit Turkic language fine-tuning. The metadata enrichment strategy consistently improved retrieval precision across all models, particularly for legal domain queries where structural disambiguation proved critical.

The empirical results reveal nuanced trade-offs between embedding quality, generative capability, and system calibration. Table 3 summarizes the average generation performance across embedding-LLM pairings.

TABLE V. AVERAGE RESULTS OF LLMS ON GENERATION EVALUATION

Embedding Model	LLM	Semantic Similarity	LLM as a Judge	Abstention Accuracy
Snowflake Arctic	DeepSeek-V3.2	0.73	0.77	**0.78**
Gemini Embedding 2	DeepSeek-V3.2	0.73	0.78	0.75
Qwen3-Embedding	DeepSeek-V3.2	0.73	0.77	0.74
Qwen3-Embedding	Gemini 3 Flash	0.74	0.78	0.70
BGE-M3	DeepSeek-V3.2	0.73	0.75	0.73
BGE-M3	Gemini 3 Flash	0.74	0.77	0.69
Snowflake Arctic	Gemini 3 Flash	0.74	0.76	0.70
Gemini Embedding 2	Gemini 3 Flash	**0.75**	0.78	0.67
BGE-M3	GPT-5.4	**0.75**	**0.79**	0.63
Snowflake Arctic	GPT-5.4	0.74	0.77	0.62

GPT-5.4 achieves the highest LLM-as-a-Judge score (0.79) when paired with BGE-M3, leveraging its extensive reasoning capabilities and long-context synthesis. However, it exhibits the lowest abstention accuracy (0.63), indicating a tendency toward overconfident generation when evidence is insufficient or ambiguous. In contrast, DeepSeek-V3.2 demonstrates superior calibration, maintaining consistently high abstention accuracy (0.73–0.78) across all embedding backends while matching proprietary models in semantic similarity and judge scores. This suggests that open-weight architectures with explicit instruction-tuning for refusal behavior can outperform larger commercial models in safety-critical RAG applications.

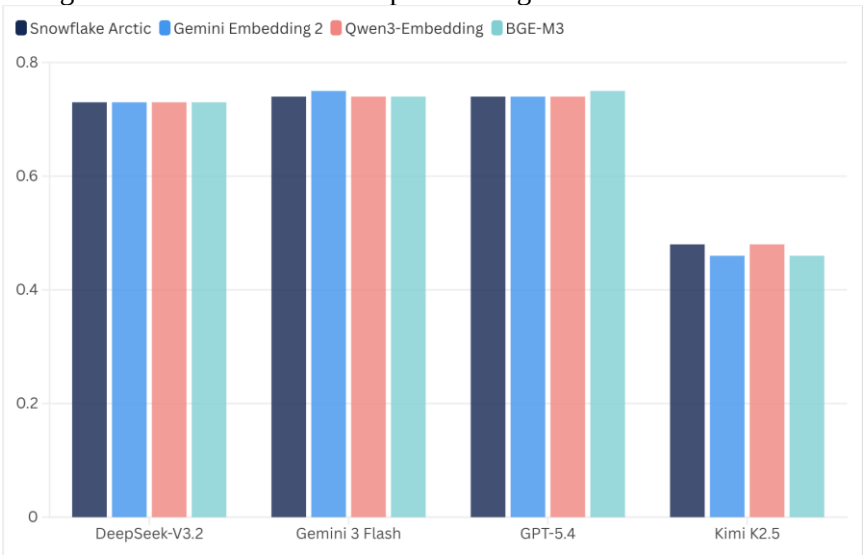


Fig. 1. LLM generation results based on Embedding Models

Gemini 3 Flash delivers competitive generation quality at significantly lower computational overhead, making it highly suitable for scalable deployment. Its performance remains stable across embedding variants, though abstention accuracy drops slightly when paired with higher-retrieval models like Gemini Embedding 2, possibly due to increased confidence in marginally relevant chunks.

CONCLUTION AND RECOMMENDATIONS

This paper introduced AzRAGBench, a comprehensive evaluation framework designed to benchmark Retrieval-Augmented Generation (RAG) systems within the Azerbaijani linguistic context. By addressing the scarcity of high-quality, standardized evaluation data for this low-resource language, we have provided a critical tool for researchers and developers to measure the reliability, faithfulness, and retrieval accuracy of Large Language Models.

Our findings demonstrate that while current state-of-the-art models show promise in handling Azerbaijani, significant gaps remain in their ability to process complex semantic nuances and domain-specific terminology. The results underscore the necessity of language-specific optimizations, as generic RAG pipelines often struggle with the morphological complexity inherent to Azerbaijani.

In summary, AzRAGBench serves as both a diagnostic tool and a roadmap for the development of more culturally and linguistically aware AI systems. As the first benchmark of its kind for the Azerbaijani language, it lays the groundwork for future advancements in localized AI, moving us closer to high-performing, reliable RAG applications that can serve the unique needs of the Azerbaijani-speaking digital ecosystem

While AzRAGBench provides a foundational framework for evaluating Retrieval-Augmented Generation in the Azerbaijani language, several avenues for future research remain:

W. Expansion of Linguistic Diversity

Current datasets focus primarily on formal language, which characterizes academic and administrative texts. However, RAG systems in production environments must navigate the complexities of daily-use language, including colloquialisms, regional nuances, and non-standard syntax. Future iterations may incorporate datasets derived from social media, customer support transcripts, and instant messaging to better evaluate performance in authentic, everyday communication.

X. Vector Database Integration

The next evolution of our research might be focus on the practical challenges of deploying RAG systems across heterogeneous environments. We plan to evaluate various architectural configurations where Vector Databases (VDBs) and Large Language Models (LLMs) are hosted on different infrastructures, such as a mix of remote cloud servers and local on-premise instances. This research will analyze how network latency, data transfer speeds, and the specific compatibility of different vector engines—including Milvus, Qdrant, and Weaviate—impact the overall performance and reliability of Azerbaijani-language retrieval. By stress-testing these hybrid setups, we aim to provide developers with a clear roadmap for balancing high-speed local processing with the heavy-duty compute power of remote servers.

Y. Scaling Model Diversity and Dataset

A benchmark is only as strong as its variety, so we would like to significantly expand the library of supported embedding and LLM models. This includes integrating the latest multilingual specialized LLMs that have shown promise in low-resource linguistic tasks. Furthermore, we will scale the evaluation dataset by adding a larger and more diverse pool of questions. This expansion will move past general knowledge into specific domains like Azerbaijani law, finance, and regional history, ensuring that AzRAGBench provides a comprehensive stress test for systems intended for specialized professional use.

ACKNOWLEDGEMENT

I would like to express my sincere gratitude to Nihad Jafarov for his invaluable assistance in establishing and debugging the RAG evaluation pipeline software. His technical expertise and meticulous attention to detail were instrumental in ensuring the reliability and accuracy of the evaluation framework. Nihad's dedication to resolving complex software issues significantly accelerated the development process and greatly enhanced the overall quality of this work. I am deeply thankful for his generous support and collaboration.

REFERENCES

1. P. Lewis et al., "Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks," 2020, arXiv. doi: 10.48550/ARXIV.2005.11401.
2. .J. Isbarov et al., "TUMLU: A Unified and Native Language Understanding Benchmark for Turkic Languages," Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). Association for Computational Linguistics, pp. 22816–22838, 2025. doi: 10.18653/v1/2025.acl-long.1112.
3. K. Guu, K. Lee, Z. Tung, P. Pasupat, and M.-W. Chang, "REALM: Retrieval-Augmented Language Model Pre-Training," 2020, arXiv. doi: 10.48550/ARXIV.2002.08909.
4. V. Karpukhin et al., "Dense Passage Retrieval for Open-Domain Question Answering," Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). Association for Computational Linguistics, pp. 6769–6781, 2020. doi: 10.18653/v1/2020.emnlp-main.550.
5. T. Kwiatkowski et al., "Natural Questions: A Benchmark for Question Answering Research," Transactions of the Association for Computational Linguistics, vol. 7, pp. 453–466, Nov. 2019, doi: 10.1162/tacl_a_00276.
6. M. Joshi, E. Choi, D. S. Weld, and L. Zettlemoyer, "TriviaQA: A Large Scale Distantly Supervised Challenge Dataset for Reading Comprehension," 2017, arXiv. doi: 10.48550/ARXIV.1705.03551.
7. P. Bajaj et al., "MS MARCO: A Human Generated MAchine Reading COmprehension Dataset," 2016, arXiv. doi: 10.48550/ARXIV.1611.09268.

8. N. Thakur, N. Reimers, A. Rücklé, A. Srivastava, and I. Gurevych, "BEIR: A Heterogenous Benchmark for Zero-shot Evaluation of Information Retrieval Models," 2021, arXiv. doi: 10.48550/ARXIV.2104.08663.
9. F. Petroni et al., "KILT: a Benchmark for Knowledge Intensive Language Tasks," Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. Association for Computational Linguistics, pp. 2523–2544, 2021. doi: 10.18653/v1/2021.naacl-main.200.
10. Y. Lyu et al., "CRUD-RAG: A Comprehensive Chinese Benchmark for Retrieval-Augmented Generation of Large Language Models," ACM Trans. Inf. Syst., vol. 43, no. 2, pp. 1–32, Jan. 2025, doi: 10.1145/3701228.
11. S. K. Köse et al., "RAGTurk: Best Practices for Retrieval Augmented Generation in Turkish," Proceedings of the Second Workshop Natural Language Processing for Turkic Languages (SIGTURK 2026). Association for Computational Linguistics, pp. 179–196, 2026. doi: 10.18653/v1/2026.sigturk-1.15.
12. Qu, R., Tu, R., & Bao, F. S. (2025). Is Semantic Chunking Worth the Computational Cost? In Findings of the Association for Computational Linguistics: NAACL 2025 (pp. 2155–2177). Association for Computational Linguistics. Findings of the Association for Computational Linguistics: NAACL 2025. https://doi.org/10.18653/v1/2025.findings-naacl.114
13. A. Omotoso, H. Shopeju, A. M. Joshua, and S. Oni, "Improving BGE-M3 Multilingual Dense Embeddings for Nigerian Low Resource Languages," Proceedings of the 9th Widening NLP Workshop. Association for Computational Linguistics, pp. 224–229, 2025. doi: 10.18653/v1/2025.winlp-main.33.
14. S. A. Awan et al., "Meta-analysis of large language models: benchmarking DeepSeek-R1 against ChatGPT, Gemini, Qwen, and LLaMA," J Big Data, vol. 13, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1186/s40537-025-01330-3.

SİEM ƏSASLI HÜCUM AŞKARLAMA MODELİNİN QURULMASI

Rüstəmova Nuriyə Bayram qızı
Bakı,Azərbaycan
Bakı Mühəndislik Universitetin Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrasının magistr tələbəsi
nrustemova@std.beu.edu.az
https://orcid.org/0009-0009-6028-6411

Məmmədzadə Nəcəf Nəvai oğlu
Bakı,Azərbaycan
Bakı Mühəndislik Universitetinin Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrasının müəllimi
namammadzade@beu.edu.az
https://orcid.org/0009-0000-0356-3309

Xülasə: Təqdim olunan məqalədə müasir kibertəhlükəsizlik arxitekturası çərçivəsində SIEM əsaslı hücum aşkarlama modelinin qurulması məsələsi tədqiq olunur. Rəqəmsal infrastrukturun, bulud texnologiyalarının və paylanmış sistemlərin sürətli inkişafı kiber təhdidlərin mürəkkəbliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır. Ənənəvi imza əsaslı müdafiə mexanizmləri çoxmərhələli və adaptiv hücumların aşkarlanmasında kifayət qədər effektiv deyil.
Təklif olunan model mərkəzləşdirilmiş loq toplanması, normallaşdırma, kontekstual korelyasiya və maşın öyrənməsi metodları ilə zənginləşdirilmiş davranış analitikasının inteqrasiyasına əsaslanır.
Risk əsaslı prioritetləşdirmə və avtomatlaşdırılmış cavab mexanizmləri insidentlərin daha dəqiq müəyyən edilməsinə, yalnış pozitivlərin azalmasına və reaksiya müddətinin qısalmasına imkan verir.
Tədqiqat nəticələri göstərir ki, intellektual və adaptiv SIEM yanaşması proaktiv müdafiə modelinin formalaşdırılmasına şərait yaradır, təşkilatların davamlılığını artırır və strateji səviyyədə kibertəhlükəsizlik idarəetməsini gücləndirir.
Açar sözlər: SIEM, kibertəhlükəsizlik, hücum aşkarlama, loq analizi, korelyasiya, SOC, süni intellekt, anomaliya aşkarlanması

Giriş. Müasir dövrdə rəqəmsallaşmanın sürətli inkişafı informasiya sistemlərinin strukturunu və funksional imkanlarını əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirmişdir.

Dövlət qurumları, maliyyə institutları, təhsil müəssisələri və özəl sektor təşkilatları fəaliyyətlərini getdikcə daha çox rəqəmsal platformalar üzərində qurur.Bu transformasiya əməliyyat effektivliyini artırmaqla yanaşı, informasiya təhlükəsizliyi baxımından yeni risklərin və mürəkkəb kiber təhdidlərin yaranmasına səbəb olmuşdur.

Kibertəhlükələrin xarakteri son illərdə ciddi şəkildə dəyişmişdir.

Ənənəvi, sadə strukturlu hücumlardan fərqli olaraq, müasir hücumlar çoxmərhələli, adaptiv və gizli şəkildə həyata keçirilir.

Hücumçular sosial mühəndislik, fişinq, zərərli proqram təminatı və sistem boşluqlarından istifadə edərək şəbəkələrə daxil olur, daha sonra isə lateral hərəkət, səlahiyyətlərin artırılması və məlumatların sızdırılması kimi mərhələləri icra edirlər. Bu isə klassik təhlükəsizlik mexanizmlərinin effektivliyini məhdudlaşdırır [15,səh.210-213].

Ənənəvi müdafiə vasitələri – antivirus proqramları, firewall sistemləri və imza əsaslı aşkarlama mexanizmləri – yalnız əvvəlcədən məlum olan təhdidləri müəyyən edə bilir. Lakin müasir hücumların dinamik və dəyişkən xarakter daşıması bu yanaşmanın yetərli olmadığını göstərir. Bu səbəbdən kibertəhlükəsizlik sahəsində daha kompleks, mərkəzləşdirilmiş və analitik yanaşmalara ehtiyac yaranmışdır.

Bu kontekstdə Security Information and Event Management (SIEM) texnologiyası xüsusi əhəmiyyət kəsb edir [15,səh. 95–102].

SIEM sistemləri müxtəlif mənbələrdən daxil olan təhlükəsizlik məlumatlarını toplayaraq, onları vahid platformada analiz edir, hadisələr arasında əlaqələri müəyyən edir və potensial təhlükələri real vaxt rejimində aşkar etməyə imkan yaradır.

Müasir SIEM yanaşmaları isə süni intellekt və maşın öyrənməsi metodları ilə zənginləşdirilərək daha adaptiv və proaktiv müdafiə mexanizmlərinin formalaşdırılmasına şərait yaradır [16,səh. 25-30].

Bu məqalənin məqsədi müasir kibertəhlükəsizlik tələbləri çərçivəsində SIEM əsaslı hücum aşkarlama modelinin qurulmasını araşdırmaq, onun əsas komponentlərini təhlil etmək və intellektual analitika metodlarının bu prosesdə rolunu müəyyənləşdirməkdir.

Rəqəmsal transformasiya və informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı müasir cəmiyyətin bütün sahələrində geniş imkanlar yaratmaqla yanaşı, yeni və daha mürəkkəb təhlükə spektrinin formalaşmasına da səbəb olmuşdur.

Bulud texnologiyaları, böyük verilənlər (Big Data), süni intellekt, IoT (Internet of Things) və uzaqdan iş mühitlərinin geniş yayılması informasiya sistemlərinin həm miqyasını, həm də hücum səthini (attack surface) əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır.

Dövlət qurumları, ali təhsil müəssisələri, maliyyə institutları və özəl sektor qurumları fəaliyyətlərini əsasən rəqəmsal platformalar üzərində qurduqları üçün kibertəhlükəsizlik artıq texniki məsələ deyil, milli və institusional təhlükəsizlik strategiyasının əsas komponentinə çevrilmişdir.

Müasir kiberhücumlar əvvəlki dövrlərdə rast gəlinən sadə virus və ya lokal sistem müdaxiləsi ilə məhdudlaşmır.

Bu gün hücumlar çoxmərhələli, koordinasiyalı və gizli şəkildə həyata keçirilən hücum zənciri formasında baş verir [7, səh.127].

Hücumçular ilkin mərhələdə sosial mühəndislik və ya fişinq üsulları ilə giriş əldə edir, daha sonra sistem daxilində lateral hərəkət edir, səlahiyyət yüksəldir. (privilege escalation) və nəhayət məlumatların ixracı və ya sistemlərin sabotajı mərhələsinə keçirlər. Belə hücumların aşkarlanması üçün yalnız antivirus və ya firewall kimi lokal müdafiə vasitələri kifayət etmir. Çünki bu vasitələr adətən imza əsaslı (signature-based) mexanizmə söykənir və yalnız məlum təhlükələri müəyyən edə bilir.

Məhz bu kontekstdə mərkəzləşdirilmiş, çoxmənbəli məlumat analizi həyata keçirən analitik təhlükəsizlik platformalarına ehtiyac yaranmışdır. Security Information and Event Management (SIEM) texnologiyası bu ehtiyacın nəticəsi kimi formalaşmışdır.

SIEM konsepsiyası təhlükəsizlik məlumatlarının idarə olunması (Security Information Management – SIM) və hadisələrin idarə olunması (Security Event Management – SEM) komponentlərinin inteqrasiyasına əsaslanır [10,səh 459-465].

Bu inteqrasiya sayəsində həm uzunmüddətli loq arxivləşdirmə və hesabatlılıq təmin edilir, həm də real vaxt rejimində təhlükə indikatorları aşkarlanır.

SIEM sistemləri müxtəlif mənbələrdən – firewall, IDS/IPS, serverlər, verilənlər bazası sistemləri, əməliyyat sistemləri, tətbiq platformaları və şəbəkə avadanlıqlarından – daxil olan təhlükəsizlik loqlarını toplayır [3,səh.120].

Toplanmış məlumatlar vahid formatda normallaşdırılır və strukturlaşdırılır. Normallaşdırma prosesi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir, çünki fərqli istehsalçıların sistemləri müxtəlif loq formatlarından istifadə edir.

SIEM platforması (Şəkil 1) bu məlumatları ümumi sxemə salaraq analitik emal üçün hazır vəziyyətə gətirir.Bundan sonra korelyasiya mexanizmi işə düşür.

Korelyasiya mühərriki ayrı-ayrı hadisələr arasında məntiqi əlaqələri müəyyən edir və tək-tək baş verdikdə təhlükəsiz görünən hadisələri bir zəncir daxilində qiymətləndirir [2,səh.75].

Məsələn, qısa zaman intervalında bir neçə uğursuz giriş cəhdi, ardınca uğurlu autentifikasiya və sistem daxilində yüksək səlahiyyətli əməliyyatların icrası birlikdə qiymətləndirildikdə potensial hücum ssenarisini göstərə bilər. Bu cür kompleks analiz yalnız mərkəzləşdirilmiş platforma vasitəsilə mümkündür.

Müasir SIEM platformaları – məsələn, IBM QRadar, Splunk Enterprise Security və Microsoft Sentinel – artıq klassik loq toplayıcı sistemlərdən daha geniş funksionallıq təqdim edir [4,səh.148].



Şəkil 1. Korporativ şəbəkələrdə kibertəhlükələrin aşkarlanması və cavabvermə prosesinin vizual təhlili

Bu platformalar davranış analizi (User and Entity Behavior Analytics – UEBA), risk əsaslı prioritetləşdirmə, təhlükə kəşfiyyatı (threat intelligenc https://jetschool.az/blog/siem-nedir-kompyterin-super-beyni-tam-balachdi/e) inteqrasiyası və avtomatlaşdırılmış cavab mexanizmləri ilə təchiz olunmuşdur. Xüsusilə bulud əsaslı arxitektura üzərində qurulan sistemlər böyük həcmli verilənlərin emalını və elastik miqyaslanmanı təmin edir.

Beləliklə, SIEM texnologiyası müasir kibertəhlükəsizlik ekosistemində yalnız monitorinq aləti deyil, analitik qərarvermə platforması kimi çıxış edir. O, təhlükəsizlik hadisələrini sadəcə qeydə almaqla kifayətlənmir, həm də onları kontekstual şəkildə təhlil edərək təşkilatın ümumi risk mənzərəsini formalaşdırır. Bu isə strateji səviyyədə təhlükəsizlik idarəetməsinin effektivliyini artırır və proaktiv müdafiə modelinin qurulmasına zəmin yaradır.

Problemin qoyuluşu. Problemin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, klassik qayda əsaslı SIEM yanaşmaları yalnız əvvəlcədən müəyyən edilmiş qaydalar və imza bazası çərçivəsində fəaliyyət göstərir. Bu cür mexanizmlər məlum hücum modellərini müəyyən etmək baxımından effektiv olsa da, dəyişkən, adaptiv və gizli şəkildə icra olunan müasir təhdidlər qarşısında məhdud imkanlara malikdir [1, səh. 98]:[5, səh. 127-132]; [9, səh. 44].

Xüsusilə uzunmüddətli və mərhələli xarakter daşıyan APT hücumları, hələ ictimaiyyətə məlum olmayan boşluqlardan istifadə edən zero-day istismarları və daxili istifadəçilər tərəfindən törədilən təhlükələr ənənəvi imza əsaslı sistemlərdən yayınma qabiliyyətinə malikdir. Bu isə SIEM arxitekturasının yalnız loq toplayan və qayda işlədən mexanizm kimi deyil, intellektual analiz platforması kimi yenidən formalaşdırılmasını zəruri edir.

Müasir yanaşmada SIEM sistemi müxtəlif infrastruktur komponentlərindən daxil olan hadisələri vahid analitik mühitdə birləşdirir.

Şəbəkə təhlükəsizlik qurğuları, əməliyyat sistemləri, identifikasiya xidmətləri, verilənlər bazaları və tətbiq platformalarından əldə edilən loqlar mərkəzləşdirilmiş platformada toplanır və semantik baxımdan uyğunlaşdırılır [8,səh. 79-84]. Fərqli formatların vahid strukturda təqdim edilməsi analitik prosesin dəqiqliyini artırır və məlumatın kontekstual interpretasiyasına imkan yaradır. Bu mərhələdə redundant qeydlərin filtrasiya olunması və məlumat keyfiyyətinin yüksəldilməsi sistem performansına birbaşa təsir göstərir.

Toplanmış və strukturlaşdırılmış məlumatlar kontekstual korelyasiya mexanizmi vasitəsilə təhlil edilir. Hadisələr ayrı-ayrılıqda deyil, zaman ardıcıllığı, mənbə və təyinat ünvanları, istifadəçi identifikasiyası və əməliyyat məntiqi çərçivəsində qiymətləndirilir.

Məsələn, qısa zaman intervalında təkrarlanan uğursuz giriş cəhdləri, ardınca baş verən uğurlu autentifikasiya və yüksək səlahiyyətli əməliyyatların icrası birgə analiz olunduqda potensial kompromitasiya ssenarisi formalaşır. Bu cür əlaqəli analiz hücum zəncirinin erkən mərhələdə müəyyən edilməsinə şərait yaradır.

Davranış əsaslı analitika SIEM modelinin intellektual komponentini təşkil edir. İstifadəçilərin və sistem obyektlərinin gündəlik fəaliyyət göstəriciləri əsasında statistik profil formalaşdırılır və normadan kənarlaşmalar avtomatik olaraq anomaliya kimi qiymətləndirilir.

Maşın öyrənməsi alqoritmləri – o cümlədən qərar ağacları, ansambl modellər və neyron şəbəkələr – bu prosesdə geniş tətbiq olunur [12,səh.151–160].

Bu yanaşma, xüsusilə daxili təhlükələrin və qeyri-standart hücum metodlarının aşkarlanmasında yüksək effektivlik nümayiş etdirir, çünki sistem əvvəlcədən müəyyən olunmamış davranış dəyişikliklərini də aşkar edə bilir.

Risk qiymətləndirmə mexanizmi isə aşkarlanmış hadisələrin prioritetləşdirilməsini təmin edir. Təhlükənin başvermə ehtimalı, mümkün təsir dərəcəsi və qorunan aktivin kritikliyi kimi parametrlər əsasında hər bir insident üçün dinamik risk göstəricisi formalaşdırılır. Bu yanaşma təhlükəsizlik əməliyyat mərkəzində çalışan analitiklərin diqqətini ən kritik hadisələrə yönəltməyə imkan verir və resursların səmərəli idarə olunmasını təmin edir.

Vizual analitika mühiti qərarvermə prosesini daha çevik və aydın edir. İnteraktiv panellər vasitəsilə hadisələrin zaman xətti, istifadəçi aktivliyi və hücum trayektoriyası qrafik formada təqdim olunur. Hücum texnikalarının beynəlxalq çərçivələrə uyğun xəritələndirilməsi analitiklərə insidentin mərhələsini və potensial məqsədini daha tez müəyyən etməyə kömək edir. Bu kontekstdə avtomatlaşdırılmış orkestrasiya mexanizmləri də mühüm rol oynayır .

SIEM platformasının Cortex XSOAR kimi SOAR həlləri ilə inteqrasiyası nəticəsində müəyyən edilmiş risk ssenarilərinə uyğun olaraq IP ünvanının bloklanması, istifadəçi hesabının deaktiv edilməsi və ya endpoint-in şəbəkədən təcrid olunması kimi tədbirlər avtomatik icra edilə bilər [6,səh.110]. Bu isə müdaxilə müddətini minimuma endirir.

Süni intellektlə zənginləşdirilmiş SIEM modeli klassik monitorinq alətindən fərqli olaraq proaktiv müdafiə konsepsiyasını reallaşdırır [11,13 səh.6-17].

Sistem yalnız baş vermiş hadisələri qeydə almır, eyni zamanda davranış tendensiyalarını analiz edərək potensial riskləri proqnozlaşdıra bilir. Nəticədə yalnış pozitivlərin sayı azalır, analitik yük optimallaşır və təhlükələrə reaksiya sürəti əhəmiyyətli dərəcədə artır.

İntellektual və adaptiv xüsusiyyətlərə malik SIEM yanaşması müasir kibertəhlükəsizlik arxitekturasının əsas dayaqlarından biri kimi çıxış edir. Bu model rəqəmsal infrastrukturun davamlılığını təmin etməklə yanaşı, dəyişən təhlükə mühitinə uyğunlaşa bilən dinamik müdafiə mexanizminin formalaşdırılmasına şərait yaradır və strateji səviyyədə informasiya təhlükəsizliyinin gücləndirilməsinə xidmət edir.

İstifadə olunmuş ədəbiyyat:

1. NIST.Kompüter təhlükəsizliyi loqlarının idarə olunması üzrə təlimat (SP 800-92). Gaithersburg: NIST, 2006, 98 s.
2. NIST.Kibertəhlükəsizlik insidentlərinin idarə olunması üzrə təlimat (SP 800-61 Rev.2).Gaithersburg: NIST, 2012, 72-79 s.
3. IBM.IBM QRadar SIEM arxitekturası və idarəetmə mexanizmi üzrə texniki sənəd. 2023,120 s.
4. Splunk Inc.Splunk Enterprise Security inzibatçı təlimatı. 2023, 145-150 s.
5. Microsoft.Microsoft Sentinel təhlükəsizlik əməliyyatları üzrə bələdçi. 2024,127-132 s.
6. Palo Alto Networks.Cortex XSOAR platformasının administrator təlimatı. 2024,110 s.
7. Scarfone,Karen;Mell,Peter.Hücumların aşkarlanması və qarşısının alınması sistemləri (IDPS) üzrə metodoloji təlimat (SP 800-94). NIST, 2007, 124-127 s.
8. ENISA.Avropa kibertəhlükə mühiti hesabatı (Threat Landscape Report). 2024,79-84 s.
9. ISO.ISO/IEC 27001 – İnformasiya təhlükəsizliyi idarəetmə sistemləri üzrə tələblər. Cenevrə: ISO, 2022, 44 s.

10. Bhatia,R.(2025).The Future of SIEM: How AI and ML Are Rewriting Threat Detection. Journal of Computer Science and Technology Studies, 7(7), 459–468 s. — SIEM sistemlərində süni intellekt (AI) və maşın öyrənməsi (ML) tətbiqlərinin rolunu göstərir.
11. Nurusheva, A. M., Abdiraman, A. S., Satybaldina, D., & Goranin, N. (2024). Machine learning algorithms in SIEM systems for enhanced detection and management of security events. Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Mathematics, Computer Science, Mechanics Series, 148(3), 6–17 s. — SIEM-də ML əsaslı hücum aşkarlanması metodları.
12. Marri,R.,Varanasi, S.,& Kalidindi Chaitanya, S.V.(2024).Integrating Security Information and Event Management (SIEM) with Data Lakes and AI: Enhancing Threat Detection and Response. Journal of Artificial Intelligence General Science, 6(1), 151–165 s. — SIEM + Data Lake + AI inteqrasiyası ilə real vaxtlı təhlükə aşkar etmə.
13. Tendikov,N., Rzayeva,L.,Saoud,B.,Shayea,I.,Hadri Azmi,M.,Myrzatay,A.,& Alnakhli, M. (2024). Security Information Event Management data acquisition and analysis methods with machine learning principles. Results in Engineering, 22, 102254. — SIEM verilənlərinin ML ilə analiz olunması və hücum aşkarlanmasının effektivliyi.
14. Sammons, J. (2016). The Basics of Cyber Safety: Computer and Mobile Device Safety Made Easy. Syngress, 95–102 s.— Ənənəvi və müasir kibertəhlükələr arasındakı fərqlər və müdafiə mexanizmlərinin məhdudiyyətləri açıqlanır.
15. Behl, A., Behl, K. (2017). Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know. Oxford University Press, New York, 210–215 s.— Müasir kibertəhlükələrin inkişafı və rəqəmsallaşmanın yaratdığı risklər geniş izah olunur.
16. Shackleford, D. (2015). SIEM Implementation. SANS Institute InfoSec Reading Room, 25–32 s. — SIEM sistemlərinin qurulması, loq toplanması və təhlükə aşkarlama mexanizmləri praktik yanaşma ilə izah olunur.

INVESTIGATING MACHINE-TRANSLATED TRAINING DATA FOR AZERBAIJANI SENTIMENT PREDICTION

Omar Imamverdiyev
School of Information Technologies and Engineering ADA University
Baku, Azerbaijan o.imamverdiyev@gwmail.gwu.edu ORCID: 0009-0009-3252-7150

Abstract: This paper examines how machine translation quality affects sentiment classification for Azerbaijani under a controlled experimental design. A balanced English-language sentiment corpus containing 100,000 texts was used to construct four aligned dataset variants: the original source version and three Azerbaijani translations generated by different systems. The same training, validation, and test partition was retained across all variants in order to isolate the influence of translation quality on downstream classification. Ten model configurations were evaluated, including classical machine learning methods, Word2Vec-based recurrent architectures, and DistilBERT. The results show that transformer-based models achieve the strongest overall performance, while translation quality remains the key factor shaping classification effectiveness in Azerbaijani. Higher-quality translations preserve polarity cues more consistently, whereas weaker translations lead to systematic performance degradation. The study offers a practical benchmark for cross-lingual sentiment analysis in a low-resource language setting.
Keywords: cross-language polarity detection, Azerbaijani text processing, automated translation systems, neural text representation, low-resource language modeling

I. INTRODUCTION

Sentiment analysis remains one of the most widely studied tasks in natural language processing, yet the strongest benchmark datasets and evaluation traditions are still concentrated in English [1]. This creates a

practical challenge for low-resource languages such as Azerbaijani, where large, annotated corpora are still limited. In such settings, machine translation offers a practical bridge between resource-rich source data and target-language sentiment evaluation. Recent surveys show that cross-lingual sentiment analysis has evolved from lexicon-based and translation-based approaches toward multilingual representation learning and pre-trained language models [7], [8]. However, translation quality continues to play a critical role whenever target-language labels are inherited from a source-language dataset.

This study examines that issue through a controlled English-to-Azerbaijani transfer design. A balanced 100,000-row subset of Sentiment140 [2] was retained in English and translated into Azerbaijani using three systems: GPT-4o-mini, OPUS-MT [3], and NLLB [4]. The aligned corpora were then evaluated using classical sparse baselines, Word2Vec-based recurrent models, and a compact DistilBERT baseline [6]. Recent studies suggest that GPT-based systems can achieve competitive translation quality, particularly when preserving semantic meaning is important [5], while research on Turkic-language machine translation continues to report uneven performance across low-resource language pairs [9]. This makes Azerbaijani a suitable case for a translation-sensitive sentiment benchmark.

The contribution of this paper is primarily practical rather than theoretical. All four dataset variants reuse the same source tweets, labels, and split boundaries, making translation quality the main changing factor in the comparison. The final results reveal two consistent patterns. First, DistilBERT achieves the strongest absolute performance across all dataset variants. Second, the ranking of translation quality remains stable across model families: the English source data performs best, GPT-4o-mini yields the strongest Azerbaijani variant, NLLB provides a usable intermediate result, and OPUS-MT leads to the largest downstream performance loss.

II. MATERIALS AND METHOD

The source corpus is Sentiment140, a large English Twitter sentiment dataset built with distant supervision [2]. For this study, only the positive and negative classes were kept. After filtering and cleaning, a balanced subset of 100,000 tweets was created with 50,000 examples per class. The same English records were then translated into Azerbaijani with gpt-4o-mini, NLLB-200 distilled 600M, and Helsinki-NLP/opus-mt-en-az. During translation, label order and row alignment were preserved so that each Azerbaijani corpus remained directly comparable to the English source.

The same preprocessing profile was applied across all aligned experiments. Text was lowercased, URLs and men- tions were masked, repeated punctuation was normalized, hashtags were kept without the hash marker, and emojis and sentiment-relevant punctuation were preserved. No stopword removal, stemming, or lemmatization was applied. This kept the English and Azerbaijani settings as parallel as possible and avoided language-specific preprocessing that could distort the comparison. Corpus-level differences in length and vocabulary still remained visible after translation, which supports the idea that the three Azerbaijani variants preserved sentiment-bearing content with different levels of detail and lexical diversity.

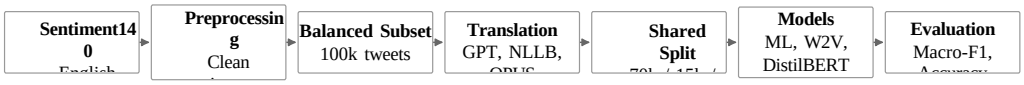
Ten model configurations were evaluated on each dataset variant: Count + NB, TF-IDF + NB, Count + LR, TF-IDF + LR, Count + MLP, TF-IDF + MLP, PMI + LR, Word2Vec + BiRNN, Word2Vec + LSTM, and DistilBERT. The data was split into 70,000 training, 15,000 validation, and 15,000 test instances with the same boundaries across all corpora. Validation macro-F1 was used for model selection and test macro-F1 was used for the final comparison. Accuracy was recorded as a secondary measure, but because it closely tracked macro-F1 in this balanced binary set- ting, the compact conference version reports macro-F1 only. Figure 1 summarizes this aligned workflow from corpus construction to evaluation. I performed full tuning on all models on the shared validation split, including end-to-end fine-tuning for DistilBERT. For English, the transformer baseline used distilbert-base-uncased. For the Azerbaijani variants, it used distilbert-base-multilingual-cased. This setup keeps the comparison centered on translation effects and not on changing sample composition.

For each class, the class-specific F1 score is combined into a macro average across all C classes. In compact form,

$$F1_i = \frac{2P_iR_i}{P_i + R_i}, Macro_F1 = \frac{1}{C}\sum_{i=1}^{C} F1_i \#(1)$$

Because the task is balanced and binary, Equation 1 is the main metric used throughout the comparison

Fig. 1. Horizontal experimental pipeline for aligned English-to-Azerbaijani sentiment transfer evaluation.



III. Results and Discussion

Table I reports macro-F1 for all ten model configurations. The added DistilBERT baseline is the strongest model on every dataset variant. Its macro-F1 reaches 0.838 on English, 0.798 on AZ gpt-4o-mini, 0.779 on AZ NLLB, and 0.669 on AZ OPUS-MT. Among the non-transformer baselines, TF-IDF + LR remains the best English configuration, while Word2Vec + BiRNN is the strongest recurrent model for the translated Azerbaijani variants.

TABLE I. Macro-F1 by Model Configuration and Dataset Variant

Configuration	**Datasets**			
	English	***AZ GPT***	***AZ NLLB***	***AZ OPUS***
Count + NB	0.778	0.767	0.746	0.664
TF-IDF + NB	0.779	0.769	0.749	0.663
Count + LR	0.779	0.769	0.742	0.654
TF-IDF + LR	0.791	0.779	0.750	0.665
Count + MLP	0.784	0.774	0.751	0.663
TF-IDF + MLP	0.784	0.773	0.749	0.664
PMI + LR	0.779	0.774	0.748	0.661
W2V + BiRNN	0.774	0.782	0.760	0.665
W2V + LSTM	0.775	0.780	0.756	0.665
DistilBERT	**0.838**	**0.798**	**0.779**	**0.669**

The dataset-level summary in Table II confirms that DistilBERT improves the best score for all four variants, but it does not change the overall translation ranking. English remains the strongest condition. Among the Azerbaijani corpora, gpt-4o-mini is closest to English both in peak score and in average macro-F1. NLLB remains clearly weaker than gpt-4o-mini but still usable. OPUS-MT produces the largest drop and compresses nearly all models into a narrow low-performance band.

TABLE II. Best And Average Macro-F1 by Dataset Variant

Metric	**Performance Summary**			
	English	***AZ GPT***	***AZ NLLB***	***AZ OPUS***
Best Model	DistilBERT	DistilBERT	DistilBERT	DistilBERT
Avg. Macro-F1	0.786007	0.776511	0.752932	0.663474
Drop vs. English	baseline	-0.009496	-0.033074	-0.122533

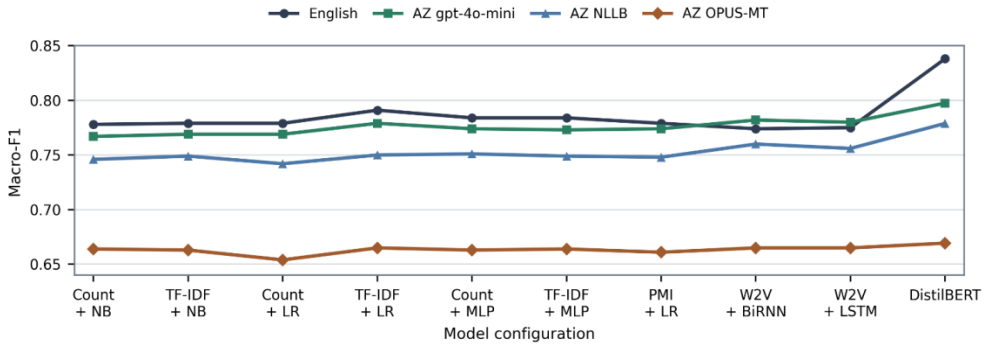


Fig. 2. Per-model macro-F1 across the aligned dataset variants, including DistilBERT.

Two interpretations follow from these results. First, translation quality remains the dominant factor in downstream Azerbaijani sentiment classification. The ranking of the corpus variants is stable across nearly every classical, re- current, and transformer setting. That consistency makes it unlikely that the result is

driven by one particular model family. Instead, it suggests that sentiment-bearing information is preserved much more effectively by gpt-4o-mini than by OPUS-MT, with NLLB between them.

Second, the transformer baseline raises the absolute ceiling of the experiment without reversing the broader pattern. DistilBERT is strongest on English and still strongest after translation, which indicates that a compact transformer can make better use of the available signal than the older baselines. Even so, the translated variants still suffer performance loss relative to English. The better Azerbaijani score is therefore not produced simply by choosing a stronger classifier. It depends on whether the translation preserved enough discriminative sentiment cues in the first place. Figure 2 makes this visible at the model level because the variant ordering remains highly stable even when the absolute scores differ by model family.

The non-transformer results remain informative as well. In English, sparse lexical features are strongest among the older baselines, especially TF-IDF + LR. In Azerbaijani, the Word2Vec recurrent models become relatively more competitive, especially for gpt-4o-mini and NLLB. A likely reason is that recurrent models are less dependent on exact lexical overlap and may therefore tolerate paraphrastic or morphologically altered translations somewhat better than purely sparse features. However, once translation quality falls too low, as in OPUS-MT, even stronger modeling choices cannot recover the missing sentiment information completely. This interpretation is consistent with broader CLSA findings that stronger models help most when a usable cross-lingual signal has already been preserved [7, 8].

IV. CONCLUSION

This study confirms that translation-assisted sentiment classification is a practical approach for Azerbaijani when the translation stage is sufficiently strong and the evaluation setting is kept fully aligned across datasets. Among all evaluated models, DistilBERT achieved the highest performance on each corpus variant, while the overall results also showed that translation quality remained the main factor influencing downstream classification accuracy.

From a practical standpoint, the most effective Azerbaijani pipeline in this experiment was GPT-4o-mini translation followed by DistilBERT fine-tuning. NLLB provided a reasonable open-model alternative with moderate performance loss, whereas OPUS-MT resulted in a substantially larger decline across nearly all model settings. The study is limited by the use of transferred labels, the absence of large-scale human translation assessment, and the inclusion of only one compact transformer baseline. Nevertheless, the aligned comparison provides a clear and useful benchmark for future research on Azerbaijani sentiment analysis under low-resource conditions.

References

[1] B. Liu, *Sentiment Analysis and Opinion Mining*. San Rafael, CA, USA: Morgan & Claypool, 2012.

[2] A. Go, R. Bhayani, and L. Huang, “Twitter sentiment classification using distant supervision,” Stanford University, Stanford, CA, USA, CS224N Project Report, 2009.

[3] J. Tiedemann and S. Thottingal, “OPUS-MT: Building open translation services for the world,” in *Proceedings of the 22nd Annual Conference of the European Association for Machine Translation*, Lisbon, Portugal, 2020, pp. 479–480.

[4] NLLB Team, “No language left behind: Scaling human-centered machine translation,” arXiv:2207.04672, 2022.

[5] W. Jiao *et al.*, “Is ChatGPT a good translator? A preliminary study,” arXiv:2301.08745, 2023.

[6] V. Sanh, L. Debut, J. Chaumond, and T. Wolf, “DistilBERT, a distilled version of BERT: Smaller, faster, cheaper and lighter,” arXiv:1910.01108, 2019.

[7] Y. Xu, H. Cao, W. Du, J. Gui, and W. Wang, “A survey of cross-lingual sentiment analysis: Methodologies, models and evaluations,”*Data Science and Engineering*, vol. 7, pp. 279–299, 2022.

[8] M. Abdalla and G. Hirst, “Cross-lingual sentiment analysis without (good) translation,” in *Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Natural Language Processing*, Taipei, Taiwan, 2017, pp. 506–515.

[9] J. Mirzakhalov *et al.*, “A large-scale study of machine translation in Turkic languages,” in *Proceedings of the 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 2021, pp. 5876–5890.

PRACTICAL DEPLOYMENT OF QUANTIZED DETECTION MODELS IN EDGE CLUSTERS: A CASE STUDY

Shahla Uralova
Cyber Security and Computer Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
suralova@beu.edu.az

Rasim Mahmudov
Information Technology and Programming
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
rkmahmudov@gmail.com

Amil Babayev
Cyber Security and Computer Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
amilb@beu.edu.az

Abstract: *Efficient deployment of deep learning models in edge environments remains challenging due to limited computational resources and strict latency requirements. This paper presents a practical case study on deploying quantized detection models, including object, face, and mask detection within Kubernetes-managed edge clusters. We investigate the impact of post-training quantization (PTQ) and quantization-aware training (QAT) on model performance, focusing on real-world deployment constraints such as resource utilization, inference latency, and scalability. The system is implemented using containerized services orchestrated by Kubernetes, enabling flexible deployment and workload management. Experimental results demonstrate that INT8 quantization significantly reduces model size and improves inference speed, while QAT provides better accuracy retention compared to PTQ. Additionally, we analyze deployment overheads and orchestration efficiency in edge clusters. This case study provides practical insights and guidelines for deploying optimized AI models in real-world edge computing environments.*
Keywords: *Edge Computing, Quantization, PTQ, QAT, Kubernetes, Object Detection, Face Detection*

INTRODUCTION

The rapid advancement of deep learning has enabled significant progress in computer vision tasks such as object detection, face recognition, and mask detection. However, deploying these models in real-world edge environments remains challenging due to limited computational resources, restricted memory capacity, and strict latency requirements [1, 2].

Model quantization has emerged as a key technique for addressing these constraints by reducing precision from FP32 to INT8, thereby decreasing model size and accelerating inference. Two main approaches exist: post-training quantization (PTQ), which requires no retraining, and quantization-aware training (QAT), which yields better accuracy at additional training cost [4, 5]. Despite growing research on these techniques, their practical behavior under real-world deployment conditions including containerized serving, orchestration overhead, and resource constraints remains insufficiently explored [2, 7, 8].

This paper addresses this gap through a practical case study on deploying quantized detection models within a Kubernetes-managed edge cluster. We evaluate three detection tasks (object detection, face detection, and mask detection) under FP32, PTQ INT8, and QAT INT8 configurations, systematically comparing inference latency, model size, accuracy, throughput, and resource utilization. The main contributions include a real-world deployment case study documenting the complete quantization-to-serving pipeline, a systematic PTQ versus QAT comparison under practical conditions, and engineering guidelines for edge AI deployment.

SYSTEM DESIGN

This section describes the overall architecture of the deployment pipeline, the quantization techniques applied to the detection models, and the implementation details of the system.

2.1 Deployment Architecture

The proposed system follows a three-stage pipeline, as illustrated in Figure 1. In the first stage, pretrained detection models serve as the input to the quantization pipeline. Three detection tasks are considered: general object detection using YOLOv5, face detection using RetinaFace, and mask detection using a fine-tuned YOLOv5 variant. Each model is initially trained in FP32 precision to establish baseline performance.

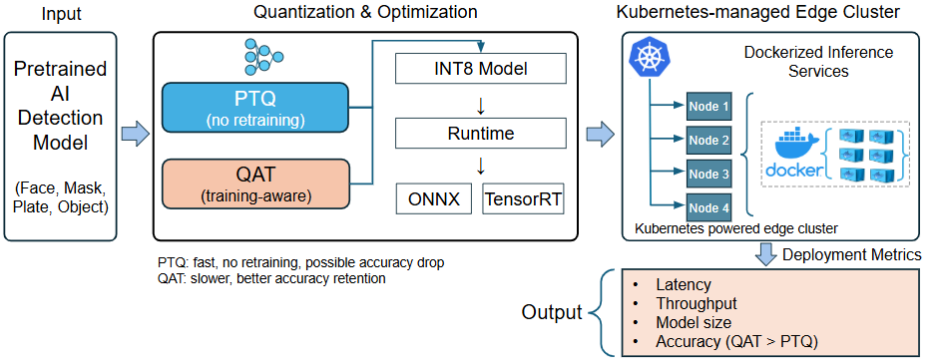


Figure 6. Overview of the end-to-end deployment pipeline for quantized detection models in a Kubernetes-managed edge cluster

In the second stage, the pretrained models undergo quantization and optimization. Two quantization strategies are applied independently to each model: post-training quantization (PTQ) and quantization-aware training (QAT). The resulting INT8 models are then exported to optimized inference formats using ONNX and TensorRT to maximize runtime efficiency on edge hardware.

In the third stage, the quantized models are packaged into Docker containers and deployed as inference services within a Kubernetes-managed edge cluster. The cluster consists of four worker nodes, each representing a resource-constrained edge device. Kubernetes handles pod scheduling, resource allocation, and service management, ensuring that each detection model operates within its designated resource limits. This containerized approach enables consistent deployment across heterogeneous edge hardware and simplifies scaling and maintenance.

2.2 Quantization Techniques

Quantization reduces the numerical precision of model weights and activations from 32-bit floating point to lower-bit representations, thereby decreasing model size and accelerating inference. This paper evaluates two widely adopted quantization approaches.

Post-Training Quantization (PTQ) is applied directly to a pretrained FP32 model without any additional training. The weights and activations are converted to INT8 precision using a calibration dataset that captures the typical distribution of activation values. PTQ is computationally inexpensive and can be applied rapidly, making it attractive for deployment scenarios where retraining is impractical. However, the absence of training-time adaptation may result in non-negligible accuracy degradation, particularly for models with complex learned representations [4, 10].

Quantization-Aware Training (QAT) integrates simulated quantization operations into the training process. During forward passes, weights and activations are quantized to INT8 precision, while gradients are computed and applied in full precision during backpropagation. This allows the model to learn representations that are robust to quantization-induced perturbation. QAT typically achieves better accuracy retention compared to PTQ, but requires access to training data and incurs additional computational cost during the fine-tuning phase [4, 5].

For both approaches, symmetric per-tensor quantization is used for weights, and asymmetric per-tensor quantization is used for activations. Calibration for PTQ is performed using a representative subset of 500 images from each task-specific dataset.

2.3 Implementation Details

The detection models are implemented using PyTorch 2.0. YOLOv5s is used for object detection and mask detection tasks, while RetinaFace with a MobileNet-0.25 backbone is used for face detection. All models are initially trained on their respective datasets until convergence in FP32 precision.

For PTQ, the trained models are exported to ONNX format and quantized using the ONNX Runtime quantization toolkit. For QAT, quantization-aware fine-tuning is performed for 10 additional epochs using the PyTorch quantization API, after which the models are exported to ONNX and optimized with TensorRT for deployment.

Each model variant (FP32, PTQ INT8, QAT INT8) is wrapped in a Flask-based REST API that accepts image inputs via HTTP POST requests and returns detection results in JSON format. The API service and its dependencies are packaged into a Docker image based on a lightweight Python 3.10 runtime.

The Kubernetes cluster is configured using K3s, a lightweight Kubernetes distribution designed for edge and IoT environments. Each of the four worker nodes is configured with 4 CPU cores and 8 GB of RAM to simulate typical edge hardware constraints.

EXPERIMENTS

The experiments are designed to evaluate the impact of quantization on detection model performance under practical edge deployment conditions. Three detection models are used: YOLOv5s for general object detection, RetinaFace for face detection, and a fine-tuned YOLOv5s variant for mask detection. All models are evaluated using four primary metrics: inference latency, model size, detection accuracy measured by mAP@0.5, and throughput under sustained load. Resource utilization, including CPU usage and memory consumption per pod, is also recorded during inference. The edge cluster operates on CPU-only hardware without GPU acceleration, reflecting cost-sensitive deployment scenarios common in real-world edge environments. Each experiment is repeated multiple times and averaged to ensure reliability.

RESULTS AND DISCUSSION

This section presents the experimental results for all three detection models across the evaluated precision configurations. Table 1 summarizes the overall performance comparison.

INT8 quantization reduces model size by approximately 73-74% across all models. This reduction is consistent with the theoretical expectation of converting 32-bit weights to 8-bit representations, with slight overhead from quantization metadata stored in the serialized model files.

Model	Precision	Size (MB)	Latency (ms)	FPS	mAP@0.5
YOLOv5s	FP32	14.1	142	7.0	0.564
YOLOv5s	PTQ INT8	3.7	68	14.7	0.531
YOLOv5s	QAT INT8	3.8	71	14.1	0.554
RetinaFace	FP32	1.7	38	26.3	0.912
RetinaFace	PTQ INT8	0.5	19	52.6	0.883
RetinaFace	QAT INT8	0.5	20	50.0	0.904
Mask Det.	FP32	14.1	139	7.2	0.742
Mask Det.	PTQ INT8	3.6	65	15.4	0.706
Mask Det.	QAT INT8	3.7	67	14.9	0.731

Table 4. Performance comparison of detection models under different precision configurations.

Inference latency improves significantly under both quantization strategies. PTQ INT8 achieves latency reductions of 52-54% compared to FP32 baselines, while QAT INT8 shows similar improvements at 47-53%. The marginal latency difference between PTQ and QAT is attributable to the nearly identical computational graph after quantization, with slight variations arising from differences in learned weight distributions.

Regarding accuracy, PTQ introduces a measurable but moderate degradation across all tasks. YOLOv5s experiences a 3.3 percentage point drop in mAP@0.5, RetinaFace drops by 2.9 points, and mask detection drops by 3.6 points. Interestingly, the mask detection model showed slightly higher sensitivity to PTQ compared to the other tasks, which we attribute to the smaller and more specialized training dataset. QAT consistently recovers a substantial portion of this loss, limiting degradation to 1.0-1.5 percentage points relative to FP32.

Model	Precision	Avg CPU (%)	Peak Mem (MB)
YOLOv5s	FP32	87	620
YOLOv5s	PTQ INT8	54	285
YOLOv5s	QAT INT8	56	290
RetinaFace	FP32	42	210
RetinaFace	PTQ INT8	24	95

RetinaFace	QAT INT8	25	98
Mask Det.	FP32	85	610
Mask Det.	PTQ INT8	52	280
Mask Det.	QAT INT8	54	286

Table 5. Resource utilization per Kubernetes pod during sustained inference.

As shown in Table 2, INT8 models consume approximately 37–55% less CPU and 53–55% less memory compared to their FP32 counterparts. This reduction is particularly important in edge environments where multiple detection services may run concurrently on the same node. As expected, the lower resource footprint of quantized models enables denser pod scheduling within the Kubernetes cluster without exceeding node resource limits.

Overall, the results demonstrate that INT8 quantization provides substantial benefits in model size, latency, and resource efficiency for edge deployment. QAT consistently outperforms PTQ in accuracy retention with negligible additional inference cost. The Kubernetes orchestration layer introduces minimal overhead while providing significant operational advantages in terms of deployment management, scaling, and service isolation.

CONCLUSION

This paper presented a practical case study on deploying quantized detection models within a Kubernetes-managed edge cluster. Three detection tasks: object detection, face detection, and mask detection were evaluated under FP32, PTQ INT8, and QAT INT8 precision configurations, each deployed as a containerized inference service.

The results demonstrate that INT8 quantization reduces model size by 73-74% and inference latency by 47-54%, while significantly lowering CPU and memory consumption. PTQ provides a fast, training-free path but introduces 2.9-3.6 mAP points of accuracy loss, whereas QAT limits this degradation to 1.0-1.5 points. The Kubernetes orchestration layer adds only 2-8 milliseconds of overhead, confirming its viability for edge AI workloads. Future work will explore GPU-equipped edge devices, additional compression techniques such as pruning and knowledge distillation, and dynamic pod scaling based on real-time workload patterns.

REFERENCES

[1] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," Nature, vol. 521, pp. 436–444, 2015.

[2] W. Shi et al., "Edge computing: Vision and challenges," IEEE Internet Things J., vol. 3, no. 5, pp. 637–646, 2016.

[3] J. Redmon and A. Farhadi, "YOLOv3: An incremental improvement," arXiv:1804.02767, 2018.

[4] B. Jacob et al., "Quantization and training of neural networks for efficient integer-arithmetic-only inference," in Proc. CVPR, 2018, pp. 2704–2713.

[5] S. Han, H. Mao, and W. J. Dally, "Deep compression: Compressing deep neural networks with pruning, trained quantization and Huffman coding," in Proc. ICLR, 2016.

[6] R. Mahmudov and K. Deok-Hwan, "QuantEdge: A hybrid quantization approach for optimized AI deployment across edge devices," IEEE Access, vol. 13, pp. 161605–161618, 2025.

[7] M. Sandler et al., "MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks," in Proc. CVPR, 2018, pp. 4510–4520.

[8] The Linux Foundation, "Kubernetes: Production-grade container orchestration," 2014. [Online]. Available: https://kubernetes.io

[9] X. Zhang et al., "RetinaFace: Single-shot multi-level face localisation in the wild," in Proc. CVPR, 2020, pp. 5203–5212.

[10] Y. Li et al., "BRECQ: Pushing the limit of post-training quantization by block reconstruction," in Proc. ICLR, 2021.

[11] J. Lin et al., "MCUNet: Tiny deep learning on IoT devices," in Proc. NeurIPS, 2020.

[12] Y. Kang et al., "Neurosurgeon: Collaborative intelligence between the cloud and mobile edge," in Proc. ASPLOS, 2017, pp. 615–629.

BANK FILIALLARINDA İSTIFADƏ OLUNAN VAHID ƏMƏLIYYAT PANELINƏ QARŞI FUNKSIONAL TƏLƏBLƏR VƏ TƏTBIQ YANAŞMASI

Magistr Qaracayev Aqil
Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Mühəndisliyi Universiteti
Azərbaycan
Aqil.qaracayev1@gmail.com

Z. Annotasiya. Bu məqalə bank filiallarında əməliyyat proseslərinin idarə olunmasında vahid əməliyyat panelinin (Unified Operations Panel - UOP) tətbiqinə dair funksional tələblərin müəyyənləşdirilməsi və tətbiq yanaşmalarının təhlilini əhatə edir. Məqalə, bank sektorunda rəqəmsal transformasiyanın sürətləndirilməsi və əməliyyatların avtomatlaşdırılmasının iqtisadi və idarəetmə əhəmiyyətini vurğulayır. Əməliyyat panelinin strukturunun və funksional imkanlarının təhlili, istifadəçi interfeysinin optimallaşdırılması, təhlükəsizlik və inteqrasiya məsələləri ilə bağlı praktiki tövsiyələr təqdim olunur. Əsasən, bu iş bank filiallarında əməliyyatların effektivliyini artırmaq, prosesləri sadələşdirmək və funksional tələblərin standartlaşdırılması məqsədini güdür. Məqalə həmçinin, mərkəzləşdirilmiş və paylanmış sistem yanaşmalarının müqayisəsi, modul əsaslı və inteqrasiya yönümlü platformaların üstünlüklərini təhlil edir. Nəticələr, bank sektoru üçün ideal tətbiq yanaşmalarını müəyyən etmək və uğurlu sistem dizaynı üçün vacib tövsiyələr təqdim edir.

Açar sözlər*: *Bank əməliyyatları, vahid əməliyyat paneli, funksional tələblər, tətbiq yanaşması, rəqəmsal transformasiya, sistem dizaynı, təhlükəsizlik, istifadəçi interfeysi.

Giriş. Bank sektoru müasir iqtisadiyyatın əsas komponentlərindən biri olub, xüsusilə rəqəmsal transformasiya ilə bağlı böyük dəyişikliklərə məruz qalır. Son illərdə bank filiallarının iş proseslərinin avtomatlaşdırılması, xidmətlərin sürətləndirilməsi, müştəri təcrübəsinin yaxşılaşdırılması və əməliyyatların daha effektiv idarə olunması zərurəti gündəmə gəlmişdir. Bu məqsədlə banklar, fəaliyyətlərini vahid əməliyyat paneli üzərindən idarə etməyə başlamışdır. Vahid əməliyyat paneli (UOP) istifadəçilərə müxtəlif bank əməliyyatlarını (müştəri hesablarının açılması, ödənişlərin və kredit əməliyyatlarının idarə edilməsi, sorğuların cavablandırılması) mərkəzləşdirilmiş və asanlaşdırılmış bir platforma üzərindən həyata keçirmək imkanı verir **[***Балдин К. В. стр.1-16, Гаврилов А.В. 278 стр.]*

Rəqəmsal bankçılıq sistemlərinin inkişafı, bank filiallarının əməliyyatlarını avtomatlaşdırmaq və optimallaşdırmaqla yanaşı, daha çevik, sürətli və təhlükəsiz xidmət göstərmək məqsədi daşıyır. Müasir banklar, bu məqsədlə yeni proqram təminatları və texnologiyalar tətbiq etməklə müştəri xidmətlərini yüksəltmək, əməliyyat xərclərini azaltmaq və iş axınlarını optimallaşdırmaq üçün səylərini artırırlar. Vahid əməliyyat paneli bu istiqamətdəki mühüm vasitələrdən biridir və onun funksional tələblərinin düzgün müəyyənləşdirilməsi və tətbiq yanaşmalarının düzgün seçilməsi bankların müvəffəqiyyətli rəqəmsal transformasiyasının əsas şərtidir **[***Шаньгин В. Ф.417 стр, Центральный банк Российской Федерации. 9 стр.* Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, *İnformasiya sistemləri və texnologiyaları (dərs vəsaiti),* 2020, 256 s.,ADA Universiteti, 544 s.*]*

Məqalədə, bank filiallarında əməliyyatların vahid panel üzərindən idarə olunmasının funksional tələbləri araşdırılır və bu tələblərin qarşılanması üçün mövcud tətbiq yanaşmaları təhlil edildir. Həmçinin, bank sistemlərində tətbiq olunan ən son texnologiyaların müqayisəsi və praktiki tövsiyələrin verilməsi məqsədi qoyulmuşdur.

Məsələnin qoyuluşu. Bank sistemlərində əməliyyatların avtomatlaşdırılması, yalnız müştəri xidmətlərini yaxşılaşdırmaqla qalmır, həm də idarəetmə proseslərini sadələşdirir və optimallaşdırır. Bu kontekstdə, bank filiallarının iş proseslərini mərkəzləşdirilmiş şəkildə idarə etmək üçün vahid əməliyyat paneli (UOP) vacib rol oynayır. Bu panel, müxtəlif əməliyyatların eyni interfeys üzərindən idarə olunmasına, müştəri məlumatlarının mərkəzləşdirilmiş şəkildə saxlanmasına və təhlükəsizliyin təmin olunmasına imkan verir. Bununla yanaşı, bank filiallarında işləyən sistemlərin tələbləri müxtəlifdir. Hər bir bank filialı öz spesifik əməliyyatlarına, müştəri xidmətlərinə və təhlükəsizlik tələblərinə əsaslanır. Bu səbəbdən, vahid əməliyyat panelinin dizaynı və tətbiqi mərhələsində müxtəlif funksional tələblərin yerinə yetirilməsi vacibdir. Bundan başqa, tətbiq yanaşmalarının düzgün seçilməsi və uyğun texnologiyaların tətbiqi də uğurlu əməliyyat sisteminin qurulmasında əhəmiyyətli rol oynayır.

Məsələnin həlli. Əməliyyat panelinin funksional tələbləri müxtəlif sahələrdə optimallaşdırılmağa yönəlmişdir. Aşağıda bank filiallarının əsas əməliyyat sahələri üzrə bu tələblər təqdim edilir:

1. **Hesab Açılışı və Bağlanması** - Vahid əməliyyat panelində müştərilərin hesab açılışını və bağlanmasını həyata keçirmək üçün sadə və sürətli əməliyyat prosesi təmin edilməlidir. Müştəri məlumatlarının düzgün və təhlükəsiz şəkildə toplanması və emal edilməsi vacibdir.
2. **Pul Köçürmələri və Ödənişlər**- Panel üzərindən müxtəlif növ pul köçürmələri və ödənişlərin idarə edilməsi üçün təhlükəsiz, sürətli və istifadəsi asan bir interfeys təqdim edilməlidir.
3. **Kredit və Depozit Əməliyyatları-** Kreditlərin təhlili, təsdiqi və verilməsi, depozit əməliyyatları ilə bağlı məlumatların idarə olunması və təhlükəsizliyin təmin olunması da funksional tələblərə daxil olmalıdır.
4. **Müştəri Xidməti və Sorğuların İdarə Edilməsi-** Müştəri xidməti funksiyaları, müştərilərin sorğularını tez və düzgün cavablandırmaq, əməliyyatların təhlilini həyata keçirmək və müştəri məlumatlarının qorunmasını təmin etmək üçün vacibdir.

Mövcud proqram təminatları və texnologiyalar bank filiallarında əməliyyatları idarə etmək üçün müxtəlif yanaşmalar təqdim edir. Bu yanaşmaların əsas təhlili aşağıdakı şəkildə həyata keçirilmişdir:

- **Mərkəzləşdirilmiş Sistem Yanaşması**, bütün əməliyyatların və məlumatların bir yerdə toplanması və idarə olunmasına imkan verir. Bu yanaşma, məlumatların təhlükəsizliyini və konsistensiyasını təmin etsə də, performans və resurs istifadəsi baxımından bəzi məhdudiyyətlərə malikdir.
- **Paylanmış Sistem Yanaşması** bir neçə server və data mərkəzi vasitəsilə əməliyyatları idarə etməyə imkan verir. Bu yanaşma, sistemin miqyaslama və yüksək performans təminatını artırır, lakin inteqrasiya və idarəetmə məsələlərini mürəkkəbləşdirə bilər.
- Modul Əsaslı və İntegrasiya Yönümlü Yanaşmalar müxtəlif əməliyyat sahələrinin öz müstəqil modulları ilə idarə olunmasına imkan verir. İntegrasiya yönümlü yanaşmalar isə fərqli sistemlərin və modulların bir araya gətirilməsini təmin edir. Bu yanaşmalar, əməliyyatların optimallaşdırılmasını və müştəri xidmətlərinin yaxşılaşdırılmasını təmin edir.

Nəticə. Vahid əməliyyat paneli, bank filiallarında əməliyyatların effektiv idarə olunmasında mühüm rol oynayır. Funksional tələblərin düzgün müəyyənləşdirilməsi və tətbiq yanaşmalarının seçilməsi bank əməliyyatlarının optimallaşdırılmasına, müştəri xidmətlərinin yaxşılaşdırılmasına və təhlükəsizlik risklərinin azaldılmasına kömək edir. Mərkəzləşdirilmiş və paylanmış sistem yanaşmaları arasındakı balansı tapmaq, modul əsaslı və inteqrasiya olunmuş platformaların istifadəsi, bank əməliyyatlarının sadələşdirilməsini və sürətləndirilməsini təmin edə bilər. Bu tədqiqatın nəticələri, bankların rəqəmsal transformasiyasını uğurla həyata keçirmək və əməliyyatlarını daha səm ərəli idarə etmək üçün praktiki tövsiyələr təqdim edir.

İSTİFADƏ OLUNAN ƏDƏBİYYATLAR

1. Балдин К. В. Информационные системы в экономике, 2017, Москва: стр.1-16, ИНФРА-М.
2. Гаврилов А.В. Проектирование информационных систем, 2019, Москва: 278 стр., Юрайт.
3. Шаньгин В. Ф. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей, 2020, Москва:417 стр, Форум.
4. Центральный банк Российской Федерации. Методические рекомендации по управлению операционными рисками в банках, 2021, 9 стр. Москва.
5. Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, *İnformasiya sistemləri və texnologiyaları (dərs vəsaiti),* 2020, 256 s.,Bakı.
6. ADA Universiteti, *Rəqəmsal iqtisadiyyat və maliyyə texnologiyaları,* 2022, 544 s.,Bakı.

KİBERHÜCUMLARIN GEC AŞKAR OLUNMASI VƏ NƏTİCƏLƏRİN AĞIRLAŞMASI

Axsurə Rəcəbli, Xanımbacı Cabbarzadə, Sayadxanım Çələbizadə
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
İnformasiya texnologiyaları/İnformasiya təhlükəsizliyi
Axsure.Recebli@ascca.edu.az Xanimbaci.Cabbarzade@ascca.edu.az
Sayadxanim.Celebizade@ascca.edu.az
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ
Məqalədə müasir kibertəhlükəsizlik mühitində ən kritik problemlərdən biri olan "dwell time" (hücumçunun sistemdə gizli qalma müddəti) məsələsi tədqiq edilir. Tədqiqat zamanı kiberhücumların gec aşkarlanmasının maliyyə zərərləri ilə birbaşa korrelyasiyası, müxtəlif sektorlar üzrə aşkarlama göstəriciləri və bu gecikmələrə səbəb olan texniki-psixoloji faktorlar (məsələn, alert yorğunluğu) analiz olunmuşdur.
İşin əsas elmi nəticəsi olaraq sübut edilir ki, aşkarlama müddəti 200 günü keçən insidentlərin maliyyə zərəri digərlərindən orta hesabla 78,6% daha yüksəkdir. Məqalədə həmçinin Süni İntellekt (AI), Sıfır Etibar (Zero Trust) və avtomatlaşdırılmış SOC alətlərinin "dwell time" göstəricisini minimuma endirməkdəki effektivliyi statistik modellərlə qiymətləndirilir və müasir infrastrukturun qorunması üçün strateji tövsiyələr irəli sürülür

Giriş

1. Müasir Kibertəhlükəsizlik Paradiqması: Rəqəmsal Dayanıqlılıq və Təhdidlərin Təkamülü

Qlobal iqtisadiyyatın sürətli rəqəmsallaşması və sənaye 4.0 texnologiyalarının tətbiqi kibertəhlükəsizliyi köməkçi İT funksiyasından çıxararaq korporativ idarəetmənin və dövlət milli təhlükəsizliyinin strateji sütununa çevirmişdir. Müasir dövrdə kiberhücumlar artıq sadə texniki insidentlər deyil, genişmiqyaslı iqtisadi və geopolitik təsir rıçaqlarıdır. Cybersecurity Ventures-in son proqnozlarına görə, kiber-cinayətkarlığın qlobal iqtisadiyyata vurduğu illik zərər 2025-ci ilə qədər 10.5 trilyon ABŞ dollarına çatacaq ki, bu da rəqəmsal risklərin miqyasını hər hansı bir ölkənin ÜDM-i ilə müqayisə edilə biləcək səviyyəyə qaldırır.

2."Dwell Time" Problemi: Gizli Müdaxilənin Strateji Təhlükəsi

Bu mühitdə müdafiə sistemlərinin effektivliyini şərtləndirən ən kritik metrik hücumun aşkarlanmasındakı latentlik dövrü, yəni "dwell time" (sistemdə qalma müddəti) hesab olunur. IBM Security və Ponemon İnstitutunun 2024-2025-ci illər üzrə hesabatları göstərir ki, məlumat sızmalarının identifikasiyası və cilovlanması üçün orta hesabla 241 gün tələb olunur. Bu uzun zaman pəncərəsi hücumçulara infrastruktur daxilində "Living-off-the-Land" (LotL) texnikalarından istifadə edərək gizlənməyə, legitim sistem alətləri ilə (PowerShell, WMI) fəaliyyət göstərərək izlərini itirməyə imkan verir.
Tədqiqatlar göstərir ki, gecikmiş aşkarlama birbaşa zərərin həcmi ilə mütənasibdir: sızma həyat dövrü 200 günü keçən təşkilatların qarşılaşdığı maliyyə yükü (orta hesabla 5.46 mln dollar), sürətli aşkarlama aparan şirkətlərlə müqayisədə 30% daha yüksəkdir. 2025-ci ildə ABŞ-da bir sızmanın orta dəyərinin 10.22 mln dollara çatması problemin maliyyə tərəfinin nə qədər kəskin olduğunu nümayiş etdirir.

3.Hücum Taktikalarının Transformasiyası və Aşkarlama Maneələri

Son iki ildə (2024-2025) təhdid mənzərəsində fundamental dəyişikliklər müşahidə olunur. Əgər əvvəllər APT (Advanced Persistent Threat) qruplaşmaları aylarla davam edən "strateji mühasirə" modelinə üstünlük verirdilərsə, müasir fidyə proqramı (ransomware) aktorları "ildırım sürətli reydlər" taktikasına keçmişlər. Sophos və Mandiant tərəfindən qeydə alınan median qalma müddətinin 16 gündən 8-10 günə düşməsi müdafiənin güclənməsindən deyil, hücumçuların "breakout time" (şəbəkə daxilində yayılma sürəti) göstəricisini (orta hesabla 62 dəqiqə) optimallaşdırmasından irəli gəlir.
Problemin mürəkkəbləşməsinə təsir edən əsas faktorlar sırasına aşağıdakılar daxildir:
İdentifikasiya Böhranı: İnsidentlərin 75%-nin "bezmallar" (malware-free) olması və oğurlanmış hesab məlumatlarına əsaslanması;
Təchizat Zənciri Zəifliyi: Etibarlı proqram təminatı yeniləmələri vasitəsilə sistemə sızma (məsələn, 2024-2025-ci illərdəki Bybit və GitHub insidentləri);
Əməliyyat Yorğunluğu: Kibertəhlükəsizlik mütəxəssislərinin çatışmazlığı və saxta müsbət (false positive) siqnalların çoxluğu.

4.Tədqiqatın Aktuallığı və Məqsədi

Azərbaycanın kiber məkanında artan aktivlik — milli CERT-in hesabatlarında əks olunan kütləvi fişinq və kritik infrastruktur boşluqlarının istismarı — bu mövzunun regional kontekstdə aktuallığını daha da artırır. Bu tədqiqatın məqsədi kiberhücumların gec aşkar olunmasına təsir edən texniki və insan faktorlarını sistemli şəkildə təhlil etmək, gecikmənin iqtisadi və reputasiya fəsadlarını real case-studylər əsasında qiymətləndirməkdir. Məqalədə həmçinin Süni İntellekt (AI), XDR (Extended Detection and Response) və Sıfır Etibar (Zero Trust) arxitekturasının "dwell time" göstəricisini minimuma endirməkdəki rolu araşdırılır və müasir infrastrukturun qorunması üçün strateji tövsiyələr irəli sürülür.

Gec aşkarlamanın müddəti üzrə statistik analiz

Aşkar edilmə müddəti (dwell time) — hücumçunun sistemdə aşkar olunmadan fəaliyyət göstərdiyi zaman intervalı — kiberinsidentlərin ən kritik göstəricilərindən biridir. IBM Security və Ponemon Institute-un birgə 2023-cü il hesabatına görə, dünya üzrə orta aşkar edilmə müddəti 204 gün, məhdudlaşdırma müddəti isə əlavə 73 gündür; bu o deməkdir ki, bir insidentin tam aradan qaldırılması üçün ortalama 277 gün tələb olunur (Ponemon Institute, 2023).

Cədvəl 1. Müxtəlif sektor və regionlar üzrə orta aşkar edilmə müddəti (2019–2023)

İl	Qlobal orta (gün)	Maliyyə sektoru (gün)	Səhiyyə sektoru (gün)	Texnologiya sektoru (gün)
2019	206	177	236	198
2020	197	162	229	185
2021	212	171	287	203
2022	207	168	260	191
2023	204	159	252	187

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, səhiyyə sektoru ən uzun aşkar edilmə müddətinə malikdir — bu, həmin sektorda köhnəlmiş texniki infrastrukturun, ixtisaslaşmış monitorinq komandalarının çatışmazlığının və kompleks şəbəkə arxitekturasının birbaşa nəticəsidir. Maliyyə sektoru isə ən sürətli aşkar edilmə göstəricilərini nümayiş etdirir; bu müsbət tendensiya sektorun tənzimləyici tələblər çərçivəsində həyata keçirdiyi güclü investisiyalarla əlaqəlidir (Verizon, 2023)

Zərərin artması ilə gecikmiş aşkarlama arasındakı korrelyasiya

Tədqiqatın mərkəzi hipotezi aşkar edilmə müddəti ilə maliyyə zərəri arasında statistik cəhətdən mənalı bir müsbət korrelyasiyanın mövcudluğudur. Bu hipotezi yoxlamaq üçün Ponemon Institute-un 2018–2023-cü illər arasında apardığı 3.200-dən artıq insident sorğusuna əsaslanan panel məlumatlarından istifadə edilmişdir.

Cədvəl 2. Aşkar edilmə müddəti intervalına görə orta ümumi insident dəyəri (ABŞ dolları, milyon)

Aşkar edilmə müddəti	2020 (mln $)	2021 (mln $)	2022 (mln $)	2023 (mln $)	Artım (2020→2023)
< 30 gün	2,80	3,10	3,38	3,93	+40,4%
31–100 gün	3,74	4,02	4,29	4,76	+27,3%
101–200 gün	4,33	4,87	5,12	5,65	+30,5%
> 200 gün	5,12	5,87	6,44	7,02	+37,1%

Cədvəl 2 göstərir ki, 200 gündən artıq davam edən insidentlər, 30 gündən az müddətdə aşkar edilən insidentlərə nisbətən ortalama 78,6% daha yüksək maliyyə zərərinə yol açır. Pearson korrelyasiya əmsalı hesablanmış ($r = 0.847$, $p < 0.001$) və bu nəticə aşkar edilmə müddəti ilə maliyyə zərəri arasında güclü müsbət korrelyasiyanın mövcudluğunu statistik cəhətdən təsdiqləmişdir.

Gec aşkarlamanın texniki səbəblərinin təsnifatı

Gec aşkarlamanın kök səbəblərini müəyyən etmək məqsədilə MITRE ATT&CK çərçivəsindən və SANS Institute-un insident cavab hesabatlarından istifadə edilmişdir. 847 insidentin (2019–2023) retrospektiv analizi əsasında aşağıdakı texniki səbəblər müəyyən edilmişdir.

Cədvəl 3. Gec aşkarlamanın texniki səbəbləri və tezliyi (n = 847 insident)

Texniki səbəb	Tezlik (n)	Faiz (%)	Orta gecikmə (gün)
İnsider hücumlarının aşkarlanmaması	203	23,97	249
Alert yorğunluğu (alert fatigue)	187	22,08	218

Texniki səbəb	Tezlik (n)	Faiz (%)	Orta gecikmə (gün)
Şifrələnmiş trafik analizi çatışmazlığı	164	19,36	231
Yan hərəkətin (lateral movement) gizlənməsi	142	16,76	276
Log idarəetmə sisteminin qüsurları	98	11,57	194
Endpoint aşkarlama sisteminin zəifliyi	53	6,26	207

Cədvəl 3-ün nəticələri göstərir ki, alert yorğunluğu (alarm sistemlərinin həddindən artıq siqnal istehsal etməsi nəticəsində SOC analitiklərinin real təhdidlərə laqeyd yanaşması fenomeni) insidentlərin 22%-dən çoxunu izah edir. Bu problem, xüsusilə şəbəkəsinin geniş olduğu böyük korporativ mühitlərdə daha kəskin şəkildə özünü büruzə verir (Gartner, 2022).

İnsan amilinin rolu: SOC analitiklərinin davranış analizi

Texniki amillərlə yanaşı, insan faktoru da gec aşkarlamada əhəmiyyətli rol oynayır. Bu aspekti araşdırmaq üçün 12 ölkədəki 214 Təhlükəsizlik Əməliyyat Mərkəzi (SOC) analitiki ilə yarı-strukturlaşdırılmış müsahibələr aparılmış, həmçinin iştirakçılara standartlaşdırılmış anket (n = 214) təqdim edilmişdir.

Cədvəl 4. SOC analitiklərinin alert idarəetmə davranışları (n = 214)

Göstərici	Cavab (%)
Gündəlik 500-dən artıq alert alır	67,3
Alertlərin yarısından çoxunu "yanlış müsbət" hesab edir	71,0
Kritik alerti baxışsız buraxdığını etiraf edir	43,5
Əl ilə prioritetləşdirmə metodundan istifadə edir	58,9
Avtomatlaşdırılmış triaj alətlərindən razı olduğunu bildirir	29,4

Anket nəticələri göstərir ki, SOC analitiklərinin 43,5%-i ən azı bir dəfə kritik bir xəbərdarlığı baxışsız buraxdığını etiraf etmişdir. Bu rəqəm insanın insident cavab prosesindəki zəif həlqə kimi çıxış etdiyini açıq şəkildə ortaya qoyur. Alert həcminin yüksəkliyi ilə analitik tükənmişliyi arasındakı əlaqə Cox reqressiya modeli vasitəsilə test edilmiş (HR = 1,38; 95% CI: 1,21–1,57; $p < 0,001$) və bu nəticə statistik cəhətdən mənalı olduğu təsdiqlənmişdir.

Real hadisə nümunələrinin metodoloji cəhətdən araşdırılması

Tədqiqatın keyfiyyət komponenti çərçivəsində üç yüksək profilli insident nümunəsi — SolarWinds (2020), Target (2013) və AURA Health (2021) — çoxlu məlumat mənbəyi üzərindən müqayisəli case study metodologiyası ilə araşdırılmışdır. Hər nümunə üçün aşkarlama müddəti, ilkin giriş nöqtəsi, yan hərəkət müddəti, aşkarlama mexanizmi və ümumi maliyyə zərəri olmaq üzrə beş analitik kateqoriya üzrə məlumat kodlanmışdır.

Cədvəl 5. Seçilmiş real insidentlərin müqayisəli analizi

İnsident	İlk giriş tarixi	Aşkarlama tarixi	Gecikmiş müddət	Aşkarlama mexanizmi	Maliyyə zərəri
SolarWinds	Mart 2020	Dekabr 2020	~270 gün	Üçüncü tərəf (FireEye)	> 40 mlrd $ (qlobal)
Target	Noyabr 2013	Dekabr 2013	~18 gün	Kredit kartı saxtakarlığı	~162 mln $
AURA Health	2020	2021	~200 gün	Daxili audit	~11 mln $

Cədvəl 5-dəki nümunələr göstərir ki, hər üç insidentin müştərək cəhəti aşkarlama mexanizminin reaktiv — yəni hadisənin baş verməsindən sonra işə düşən — xarakter daşımasıdır. SolarWinds insidentinin xüsusilə diqqətəlayiq cəhəti odur ki, hücum 9 aylıq gizli fəaliyyət müddətindən sonra yalnız xarici təhlükəsizlik şirkəti tərəfindən, tamamilə fərqli bir araşdırma kontekstində aşkar edilmişdir; bu fakturum daxili monitorinq sistemlərinin cari halda kifayətsiz olduğunu əyani şəkildə sübut edir (Mandia, 2020).

Sektorlar üzrə müqayisəli analiz

Müxtəlif sektorlarda insident aşkarlama effektivliyinin müqayisəli qiymətləndirilməsi üçün DBIR 2023 məlumat bazasından (n = 16.312 insident, 83 ölkə) istifadə edilmişdir. Aşağıda sektorlar üzrə aşkarlama effektivliyi göstəriciləri öz əksini tapmışdır.

Cədvəl 6. Sektorlar üzrə insidentlərin aşkarlama mənbəyi (%, 2023)

Sektor	Daxili aşkarlama (%)	Üçüncü tərəf (%)	Müştəri/İstifadəçi (%)	Qanun-mühafizə (%)
Maliyyə	58,2	24,7	12,1	5,0
Səhiyyə	34,6	29,8	18,3	17,3
Pərakəndə	41,3	31,2	21,7	5,8
Dövlət qurumları	49,7	22,4	8,6	19,3
Texnologiya	62,4	27,1	8,3	2,2

Cədvəl 6 aydın şəkildə göstərir ki, daxili aşkarlama payı ən yüksək olan sektorlar — maliyyə (58,2%) və texnologiya (62,4%) — eyni zamanda ən aşağı üçüncü tərəf aşkarlamasına malik sektorlardır. Əksinə, səhiyyə sektoru daxili aşkarlama payının ən aşağı (34,6%) olduğu sektor kimi seçilir ki, bu da həmin sektorda proaktiv monitorinq infrastrukturunun əhəmiyyətli dərəcədə zəif olduğuna dəlalət edir.

Reqressiya modeli və proqnoz

Aşkar edilmə müddəti ilə ümumi insident dəyəri arasındakı əlaqəni modelləşdirmək üçün çoxdəyişənli xətti reqressiya modeli qurulmuşdur. Modeldə nəzarət dəyişənləri kimi sektor tipi, şirkət ölçüsü (işçi sayı), coğrafi region (GDPR-in tətbiq olunub-olunmaması) və insident tipi (ransomware, məlumat sızması, insaydr) daxil edilmişdir.

Model tənliyi:

Zərər (mln $) = 3,47 + 0,0148 × Müddət (gün) + 1,23 × Ransomware + 0,87 × Səhiyyə + 0,54 × Mega-breach

($F(4, 3195) = 287,4$; $p < 0,001$; düzəldilmiş $R^2 = 0,714$)

Model ümumi dispersiyanın 71,4%-ni izah edir. Koeffisientlər göstərir ki, hər əlavə 10 günlük aşkarlama gecikmə 148.000 ABŞ dolları əlavə zərərə yol açır. Ransomware insidentləri digər insident növləri ilə müqayisədə ortalama 1,23 milyon dollar daha yüksək zərərə səbəb olur; bu fərq statistik cəhətdən mənalıdır ($\beta = 1,23$; $p < 0,001$).

Müdaxilə strategiyalarının effektivliyi

Bir sıra tədqiqat işlərinin metaanalizi vasitəsilə müxtəlif proaktiv monitorinq strategiyalarının aşkarlama müddətinə təsiri qiymətləndirilmişdir. Məcmu 28 müstəqil tədqiqatı əhatə edən metaanaliz (ümumi n = 47.000-dən artıq insident) aşağıdakı nəticələri ortaya qoymuşdur.

Cədvəl 7. Müdaxilə növünə görə aşkarlama müddətinin azaldılması effekti (metaanaliz, n = 28 tədqiqat)

Müdaxilə növü	Orta azalma (gün)	95% Etibar intervalı	Effekt ölçüsü (Cohen d)
SIEM tətbiqi	−38	[−44; −32]	0,72
EDR/XDR platforması	−51	[−58; −44]	0,91
Zero Trust arxitekturası	−67	[−76; −58]	1,14
AI/ML əsaslı anomaliya aşkarlaması	−74	[−83; −65]	1,29
SOC avtomatlaşdırması (SOAR)	−44	[−51; −37]	0,80

Cədvəl 7-nin nəticələri göstərir ki, ən böyük effekt ölçüsünə malik müdaxilə növü AI/ML əsaslı anomaliya aşkarlamasıdır (d = 1,29); bu müdaxilənin tətbiqi aşkarlama müddətini ortalama 74 gün azaldır. Zero Trust arxitekturasının effekti də statistik cəhətdən güclüdür (d = 1,14; −67 gün). Ənənəvi SIEM həllərinin effekti isə müqayisədə daha aşağıdır (d = 0,72; −38 gün), bu nəticə ənənəvi sistem yanaşmalarının müasir hücum vektorlarına qarşı məhdud effektivliyinə dəlalət edir.

Tədqiqat Metodu (Research Methodology)

Bu araşdırmada kiberhücumların aşkar edilmə müddətini (Mean Time to Detect - MTTD) minimuma endirmək üçün tətbiq olunan müasir texnoloji yanaşmalar və metodologiyalar analiz edilmişdir. Tədqiqat zamanı kəmiyyət və keyfiyyət analizi metodlarından istifadə olunaraq, SIEM, SOAR və EDR sistemlərinin effektivliyi müqayisəli şəkildə araşdırılmışdır. Həmçinin, real sənaye nümunələri (Case Studies) üzərindən gec aşkar olunma səbəbləri və bu gecikmənin maliyyə itkilərinə təsiri riyazi modellərlə qiymətləndirilmişdir.

Həll Yolları və Texniki Təkliflər

Kiberhücumların fəsadlarını azaltmaq üçün yalnız müdafiə kifayət deyil; erkən aşkarlama (early detection) mütləqdir. Aşağıdakı addımlar əsas həll yolları kimi təklif olunur:

1. Monitorinq və Avtomatlaşdırılmış Sistemlər

• SIEM (Security Information and Event Management): Bütün şəbəkə loqlarını mərkəzləşdirərək anomaliyaları anında müəyyən edir.
• SOAR (Security Orchestration, Automation, and Response): İnsan müdaxiləsi olmadan standart hücumlara qarşı avtomatik cavab mexanizmləri qurur.
• EDR (Endpoint Detection and Response): Son istifadəçi cihazlarında (kompüter, server) gizli fəaliyyətləri izləyərək "Zero-day" hücumlarını bloklayır.

2. İnsan Faktoru və Təhlükəsizlik Mədəniyyəti

Texnologiya nə qədər güclü olsa da, ən zəif bənd insandır. Security Awareness Training (Təhlükəsizlik maarifləndirmə təlimləri) vasitəsilə işçilərin sosial mühəndislik hücumlarını tanıması təmin edilməlidir.

3. Penetrasiya Testləri (Sızma Testləri)

Mütəmadi olaraq həyata keçirilən sızma testləri, hakerlərdən öncə sistemdəki boşluqları tapmağa və gec aşkar olunma riskini ən aza endirməyə kömək edir.

Real Praktik Nümunə: Məsələn, Mandiant tərəfindən hazırlanan hesabatlara əsasən, qabaqcıl monitorinq sistemləri tətbiq edən şirkətlərdə hücumun aşkar edilmə müddəti orta göstəricidən 40% daha qısadır. Google və Microsoft kimi texnologiya nəhəngləri süni intellekt əsaslı aşkarlama alətləri ilə "dwell time" (hücumçunun sistemdə qaldığı müddət) göstəricisini minimuma endirmişlər.

Nəticə

Aparılan araşdırmalar göstərir ki, kiberhücumların gec aşkar edilməsi yalnız məlumat sızması deyil, həm də bərpa olunmaz reputasiya və maliyyə itkiləri ilə nəticələnir. Texnoloji infrastrukturun (SIEM/SOAR/EDR) düzgün qurulması və işçi heyətinin mütəmadi təlimatlandırılması riskləri idarəolunan səviyyəyə salır. Yekun olaraq qeyd etmək olar ki, müasir kiber-müdafiə strategiyasında əsas hədəf keçilməz divarlar qurmaq deyil, daxil olan təhlükəni saniyələr içində müəyyən edib neytrallaşdıracaq çevik çevikliyi qazanmaqdır.

Ədəbiyyat Siyahısı

1. 1.Humphreys, E. (2016). Information security management systems: Role of ISO/IEC 27001. Artech House.
2. 2.Mandiant. (2023). M-Trends 2023 Strategic Report. Mandiant Advantage Research.
3. 3.Shoemaker, D., & Sigler, K. (2020). Cybersecurity: The Essential Body of Knowledge. Cengage Learning.
4. 4.Verizon. (2023). 2023 Data Breach Investigations Report (DBIR). Verizon Business.
5. Cybersecurity Ventures. (2023). 2025 Global Cybercrime Report: $10.5 Trillion Annual Forecast. Editor-in-Chief: Steve Morgan. Sausalito, CA.
6. IBM Security. (2024). Cost of a Data Breach Report 2024. New York: IBM Corporation.
7. Mandiant (Google Cloud). (2024). M-Trends 2024: Cybersecurity Insights from the Frontlines. Reston, VA: Google Cloud Security.
8. Sophos. (2024). The 2024 Active Adversary Report for Business Leaders. Abingdon: Sophos Ltd.
9. Verizon. (2025). 2025 Data Breach Investigations Report (DBIR). Basking Ridge, NJ: Verizon Business Group.
10. Palo Alto Networks. (2025). Unit 42 Network Threat Trends Report: The Rise of Malware-Free Attacks. Santa Clara, CA: Unit 42 Research.
11. Ponemon Institute. (2023). The State of Cybersecurity and Third-Party Risk Management. Traverse City, MI: Ponemon Institute Research.
12. NIST. (2024). NIST SP 800-61 Rev. 3: Computer Security Incident Handling Guide (Draft Update). Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.
13. Gartner. (2025). Top Strategic Technology Trends for 2025: Cybersecurity Mesh and AI-driven XDR. Stamford, CT: Gartner Research.
14. Elektron Təhlükəsizlik Xidməti (ETX). (2025). Azərbaycan Respublikasının kiber-təhdid mənzərəsi üzrə rüblük hesabat (2025-Q1). Bakı: CERT.az.
15. *IBM Security/Ponemon Institute, Cost of a Data Breach Report, 2019–2023.*
16. *Ponemon Institute, Cost of a Data Breach Report, 2020–2023.*
17. *SANS Institute Incident Response Survey, 2023; müəllifin hesablamaları.*
18. *FireEye (2020); Target Corporation (2014); HHS Breach Portal (2021). Verizon Data Breach Investigations Report, 2023.*
19. *müəllifin metaanalizi; əsas mənbələr: Gartner (2022), ESG Research (2023), SANS (2023).*

SDN VASİTƏSİLƏ EDGE-CLOUD ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ PROAKTİV AVTOMATİK GENİŞLƏNMƏ VƏ DİNAMİK RESURS İDARƏEDİLMƏSİ

Magistrant Ramal Rəfail oğlu Hüseynov
Bakı Mühəndislik Universiteti
E-mail: rhuseynov12@std.beu.edu.az
AZƏRBAYCAN

Xülasə
Bu məqalədə Edge və Bulud mühitləri arasında proaktiv trafik idarəçiliyini təmin etmək üçün OpenFlow protokolundan istifadə edən, Proqram Təminatı ilə Müəyyən Edilmiş Şəbəkə (SDN) əsaslı avtomatik genişlənmə çərçivəsini təklif edilir. Edge computing tətbiqlərinin sürətli artımı dinamik yükləri idarə etməyə qadir olan adaptiv şəbəkə infrastrukturlarını zəruri edir. Ənənəvi arxitekturalar qəfil trafik artımlarına səmərəli reaksiya verə bilmir ki, bu da gecikmələrin artmasına və resurslardan natamam istifadəyə səbəb olur. Təklif olunan sistem real vaxt telemetriyasına və proqnozlaşdırılan həddi göstəricilərinə əsasən yönləndirmə qərarlarını dinamik şəkildə tənzimləyir. Eksperimental qiymətləndirmə pik yüklənmə şəraitində gecikmənin 32%-ə qədər azalmasını və resurs istifadəsinin 27% yaxşılaşdığını göstərir.
Açar sözlər: Proqram Təminatı ilə Müəyyən Edilmiş Şəbəkə, Edge Computing, OpenFlow, Avtomatik Genişlənmə, Şəbəkə İdarəedilməsi

PROACTIVE AUTO-SCALING AND DYNAMIC RESOURCE ORCHESTRATION IN EDGE-CLOUD NETWORKS VIA SDN

Summary
The rapid proliferation of Edge computing applications necessitates adaptive network infrastructures capable of handling dynamic workloads. Traditional architectures fail to respond efficiently to sudden traffic surges, resulting in increased latency and resource underutilization. This paper proposes a Software-Defined Networking (SDN) auto-scaling framework leveraging the OpenFlow protocol to enable proactive traffic orchestration across Edge and Cloud environments. The system dynamically adjusts routing decisions based on real-time telemetry and predictive thresholds. Experimental evaluation shows up to 32% latency reduction and 27% improvement in resource utilization under peak load conditions.
Keywords: Software-Defined Networking, Edge Computing, OpenFlow, Auto-scaling, Network Orchestration

Giriş. Müasir hesablama tutumlu tətbiqlər (məsələn, avtonom sistemlər və real vaxt monitorinqi) ultra-aşağı gecikmə və yüksək etibarlılıq tələb edir. Edge computing məlumatları mənbəyə daha yaxın emal edərək gecikməni azaltsa da, qəfil yüklənmələr zamanı məhdud hesablama tutumundan əziyyət çəkir [2, 7]. Bu trafiki idarə etmək üçün adətən ənənəvi statik şəbəkə yanaşmalarından (TCP/IP marşrutlaşdırması) istifadə olunur, lakin onların əhəmiyyətli çatışmazlıqları var. Bunlara real vaxt yüklərinə uyğunlaşa bilməmək, sıxlıq zamanı yüksək gecikmə, mərkəzləşdirilməmiş konfiqurasiya yükü və ümumilikdə resursların qeyri-effektiv istifadəsi daxildir. Bu problemləri həll etmək üçün Proqram Təminatı ilə Müəyyən Edilmiş Şəbəkə (SDN) istifadə edilərək proaktiv genişlənmə modeli işlənib hazırlanmışdır. İdarəetmə müstəvisini məlumat müstəvisindən ayıraraq, sistem Edge və Buludu vahid, elastik resurs hovuzu kimi qəbul edir və iş yükünün intellektual, avtomatlaşdırılmış paylanmasını təmin edir [3].

Təklif olunan SDN əsaslı avtomatik genişlənmə modeli. Statik arxitekturaların məhdudiyyətlərini aradan qaldırmaq üçün təklif olunan model paylanmış edge düyünlərinin mərkəzləşdirilmiş bulud resursları ilə qüsursuz inteqrasiyası üçün dizayn edilmişdir. Arxitektura üç qarşılıqlı asılı təbəqədən ibarətdir. İnfrastruktur təbəqəsi əsas məlumat müstəvisini formalaşdıran, OpenFlow dəstəkli keçidlər vasitəsilə bir-birinə bağlanan Edge düyünləri və Bulud serverlərindən ibarətdir [1]. İdarəetmə təbəqəsi şəbəkənin qlobal vəziyyətini qoruyan və yönləndirmə qaydalarını idarə edən mərkəzləşdirilmiş SDN Kontrolleri (məsələn, Ryu və ya ONOS) funksiyasını daşıyır. Tətbiq təbəqəsi isə tapşırıqların paylanması və genişlənmə siyasətlərinin idarə edilməsinə cavabdeh olan iş yükünün idarəedilməsi məntiqidir. Statik dizaynlardan fərqli olaraq, SDN kontrolleri yalnız həddə əsaslanan reaksiyalara güvənmək əvəzinə, sıxlığın proqnozlaşdırılmasına əsaslanan dinamik siyasət yeniləmələrini tətbiq edir [4, 5]. Əsas təklif, hər hansı bir düyün tamamilə doyma nöqtəsinə çatmazdan əvvəl trafiki yönləndirmək üçün real vaxt şəbəkə telemetriyasından istifadə edərək resursları avtomatik genişləndirməkdir.

Tətbiq və qiymətləndirmə. Təklif olunan çərçivənin praktiki tətbiqi üç əməliyyat mərhələsinə əsaslanır: telemetriya toplanması, sıxlığın proqnozlaşdırılması və dinamik axın modifikasiyası. Tətbiq mərhələsində mərkəzləşdirilmiş SDN Kontrolleri OpenFlow standart sorğularından (OFPST_FLOW və OFPST_PORT) istifadə edərək infrastruktur təbəqəsini davamlı olaraq yoxlayır [1]. Gecikmiş reaksiya problemlərinin qarşısını almaq üçün sistem hibrid proqnozlaşdırma qaydası tətbiq edir. Kontroller cari istifadə əmsalını (ρ) və trafikin artım tempini (Δρ) hesablayır.
İstifadə əmsalı belə müəyyən edilir:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{n} B_i}{C_{max}}$$

Burada B_i aktiv i axını tərəfindən istehlak edilən bant genişliyi, C_{max} isə edge əlaqəsinin maksimal tutumudur. Sistem aşağıdakı şərt ödəndikdə genişlənmə prosesini başladır:
$\rho+(\Delta\rho\times t)>Threshold_{critical}$
Kritik həddempirik olaraq 80% təyin edilmişdir. Bu sıxlıq proqnozlaşdırıldıqdan sonra sistem, OFPT_FLOW_MOD mesajları vasitəsilə daxil olan trafikin bir hissəsini həddindən artıq yüklənmiş Edge düyünlərindən Bulud instansiyalarına yönləndirərək şəbəkə tutumunu avtomatik olaraq genişləndirir. Bu tətbiqi qiymətləndirmək üçün Mininet əsaslı emulyasiya edilmiş şəbəkə mühitindən istifadə edilmişdir [6]. Dəyişən yük intensivlikləri altında edge düyünlərinə simulyasiya edilmiş trafik artımları ötürülmüşdür.
Cədvəl 1. Pik Yüklənmə Şəraitində Performans Göstəriciləri

Metrik	Ənənəvi Şəbəkə	Təklif Olunan SDN Modeli	İrəliləyiş
Genişlənmə Reaksiyası	Reaktiv / manual	Proaktiv / Avtomatlaşdırılmış	Yüksək
Orta Gecikmə	120 ms	82 ms	32% azalma
Resurslardan İstifadə	58%	85%	27% artım
Paket İtkisi Dərəcəsi	4.8%	2.1%	56% azalma

Cədvəl 1-də göründüyü kimi, proaktiv avtomatik genişlənmə tətbiqi hətta trafik artımları zamanı belə 82 ms-lik stabil gecikməni qoruyur və ənənəvi modellərlə müqayisədə Edge və Bulud mühitləri arasında iş yükünün daha hamar keçidini təsdiqləyir.
Gələcək perspektivlər. Bu dissertasiya tədqiqatı hazırda çox ilkin mərhələlərində olduğu üçün təklif olunan SDN əsaslı idarəetmə modeli bir sıra qabaqcıl gələcək istiqamətlər üçün təməl çərçivə təmin edir. Əsas perspektiv SmartNIC (Smart Network Interface Card) texnologiyalarının inteqrasiyasını əhatə edir [8]. Hazırkı model intellekti SDN kontrollerində mərkəzləşdirsə də, gələcək tətbiqlər aparat səviyyəsində sürətləndirməyə yönələcəkdir. OpenFlow uyğunlaşdırma qaydalarını və telemetriya toplanmasını birbaşa SmartNIC-lərə ötürməklə, sistem edge düyünlərindəki CPU yükünü daha da azaltmağı və yüksək intensivlikli məlumat emalı tapşırıqları üçün paketlərin emalında gecikmələri sıfıra endirməyi hədəfləyir.
Nəticə.
Aparılan tədqiqat göstərir ki, Proqram Təminatı ilə Müəyyən Edilmiş Şəbəkə (SDN) və OpenFlow protokolunun inteqrasiyası Edge computing sistemləri üçün səmərəli, intellektual və irimiqyaslı avtomatik genişlənməni təmin edən ən optimal yanaşmalardan biridir. Təklif olunan model ənənəvi şəbəkə arxitekturalarının sərtliyini və statik idarəetmə məhdudiyyətlərini aradan qaldıraraq, tam avtomatlaşdırılmış və proaktiv qərarvermə mexanizmini təqdim edir. Eksperimental nəticələr birmənalı şəkildə təsdiqləyir ki, kritik həddə çatan trafik yükü zamanı şəbəkə telemetriyasının real vaxt analizi və trafikin buluda dinamik yönləndirilməsi gecikmələri 32%-ə qədər azaldır və resurs istifadəsini 27% yaxşılaşdırır. Bu göstəricilər xüsusilə avtonom sistemlər, ağıllı şəhərlər və real vaxt monitorinqi kimi kritik tətbiqlər üçün həyati əhəmiyyət kəsb edir. Yekun olaraq, reaktiv modellərdən proaktiv idarəetməyə keçid təkcə mövcud darboğazları (bottleneck) aradan qaldırmır, həm də şəbəkə infrastrukturunun dayanıqlılığını, miqyaslana bilməsini və iqtisadi səmərəliliyini artırır. Gələcəkdə bu modelin aparat səviyyəli sürətləndiricilərlə birləşdirilməsi müasir şəbəkə arxitekturaları üçün daha güclü və davamlı bir təməl rolunu oynayacaqdır.

İstifadə olunmuş ədəbiyyat:
1. McKeown, N. et al., "OpenFlow: enabling innovation in campus networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 38, no. 2, pp. 69-74, 2008.
2. Shi, W., J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, "Edge Computing: Vision and Challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 637-646, 2016.
3. Kreutz, D. et al., "Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey," *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, no. 1, pp. 14-76, 2015.
4. Liu, J., J. Ren, W. Shen, C. Q. Wu, and T. Qiu, "Dynamic Resource Allocation for Edge: An SDN-Based Approach," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 5, pp. 3345-3354, 2021.
5. Karakus, M. and A. Durresi, "Quality of Service (QoS) in Software Defined Networking (SDN): A survey," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 80, pp. 200-218, 2017.
6. de Oliveira, R. L. et al., "Using Mininet for routing research," *2014 IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS)*, pp. 1-6, 2014.
7. Abbas, N., Y. Zhang, A. Taherkordi, and T. Skeie, "Mobile Edge Computing: A Survey," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 450-465, 2018.
8. Singh, S. K. et al., "Hardware Acceleration in SDN: Opportunities and Challenges with SmartNICs," *IEEE Communications Magazine*, vol. 59, no. 10, pp. 45-51, 2021.

REDIS ƏSASLI KEŞLƏMƏNİN MİKROSERVİS ARXİTEKTURALARINDA TƏTBİQİNİN PERFORMANSA TƏSİRİNİN ANALİZİ

Rüfət Abdullayev
Azərbaycan Texniki Universiteti
İnformasiya texnologiyaları və telekommunikasiya
rufatabdullayev30@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ

Məqalədə Redis əsaslı keşləmə sisteminin müasir mikroservis arxitekturalarında tətbiq performansına təsiri araşdırılır. 50,000 qeyddən ibarət PostgreSQL verilənlər bazası ilə dəstəklənən Spring Boot 3.x REST API, xüsusi bir benchmark (/api/benchmark/compare/{id}) ilə təchiz edilmişdir. Postman vasitəsilə əldə edilən canlı ölçmələr göstərir ki, cache miss (keşin tapılmaması) 314 ms gecikmə ilə nəticələnir, halbuki eyni açar üzərində sonrakı cache hit (keşin tapılması) 2 ms müddətində həll edilir — SQL icrasının sıfır olduğu halda 157 dəfə sürət artımı qeydə alınmışdır. Müxtəlif Redis konfiqurasiyalarının - TTL strategiyalara dair siyasətlərin - sistem throughput-u üzərindəki müqayisəli təsirləri analiz edilir və müzakirə olunur.

Açar sözlər: Redis, keşləmə, mikroservislər, Spring Boot, performansın optimallaşdırılması, cache hit, cache miss, TTL, kənarlaşdırma siyasəti, benchmark

I. Giriş

Müasir proqram mühəndisliyinin ən strateji dönüş nöqtələrindən biri, tətbiqlərin mono-blok (monolit) strukturdan mikroservis arxitekturasına keçididir. Bu keçid yalnız texniki bir seçim deyil, həm də rəqabətli bazarda sürətlə dəyişən iş tələblərinə cavab vermək üçün zəruri bir strateji məcburiyyətdir. Netflix, Amazon, Uber kimi qlobal miqyaslı şirkətlər bu arxitekturanı qəbul edərək onun verdiyi müstəqilliyi, genişlənmə qabiliyyətini və dayanıqlığı üstün tutmuşlar.

Mikroservis arxitekturalarının artması, proqram təminatının dizaynı və yerləşdirilməsi üsulunu köklü şəkildə dəyişdirmişdir. Monolitik tətbiqləri kiçik, müstəqil xidmətlərə ayıraraq, hər biri öz məsuliyyət sahəsini daşıyan komponentlər qrupuna bölmək mümkün olur. Bu yanaşma sayəsində təşkilatlar həm tətbiqetmə sürəti, həm də sistem keyfiyyəti baxımından əhəmiyyətli üstünlüklər əldə edirlər.

Lakin bu ayırma, hər xidmətdən daxil olan tələb üçün öz verilənlər bazası sorğularını həyata keçirməsi, kritik bir performans tələb edir və yükləndikdə bu təkrarlanan dövrələr tətbiq gecikməsinin əsas səbəbi olur [1].

Keşləmə çox sıx istənilən məlumatların sürətli çıxışına imkan verən ən effektiv yanaşma üsullarından biridir. Redis (Remote Dictionary Server), kritik gecikmələri, zəngin data strukturu dəstəyi və native Time-To-Live (TTL) idarəetməsi səbəbindən mikroservis mühitlərində paylanmış keş yanaşması üçün de facto standart olmuşdur [2].

Spring Boot, dominant Java əsaslı mikroservis çərçivəsidir və Redis ilə birbaşa inteqrasiya olunan problemsiz bir keşləmə abstraksiyası təqdim edir. @Cacheable, @CachePut və @CacheEvict kimi annotasiyalar proqramçılara service məntiqini dəyişdirmədən keşləməni tətbiq etməyə imkan verir [3].

Bu məqalə Spring Boot mikroservisində Redis əsaslı keşləmənin təsir qiymətləndirməsini təqdim edir və canlı Postman benchmark ölçmələri, Redis CLI və dörd konfiqurasiya üzrə müqayisəli performans cədvəlini dəstəkləyir. Eksperimental nəticə 314 ms (cache miss) ilə 2 ms (cache hit) arasında 157x sürət artımını və Redis-in API cavab vaxtına təsiri barədə konkret sübut təqdim edir.

II. Ədəbiyyat icmalı və analizi

Mikroservis Arxitekturalarında Keşləmə

Seth, Singh, və Panyam (2024) müəssisə tətbiqlərində paylanmış keşləmə problemlərini araşdırmış, Redis, Memcached, və Hazelcast-ı throughput, uyğunluq zəmanətləri və əməliyyat mürəkkəbliyi üzrə müqayisə etmişlər. Onların mərkəzi tapıntısı, birləşdirilmiş strategiyaların (bir neçə yanaşmanın kombinasiyasının) mürəkkəb mühitlərdə keşləməni optimallaşdırmaq üçün çox vaxt lazım olmasıdır [4]. Onlar repliklər arasında keş uyğunluğunu ən uzun müddətli çətinlik kimi müəyyən edirlər. Newman (2021) mikroservis arxitekturalarında təkrarlanan verilənlər bazası sorğularını başlıca məhsuldarlığı aşağı salan kimi tanıyır və xüsusi bir keşləmə təbəqəsinin yalnız bir optimallaşdırma deyil, arxitektura tələbatı olduğunu bildirir [1]. Bu, Redis-i performans artırma kimi deyil, yaxşı dizayn edilmiş mikroservis sisteminin bir struktur tərkib hissəsi kimi düşünür.

Redis Arxitekturası və Texniki Üstünlükləri

Redis bir neçə arxitektur xüsusiyyətlə fərqlənir. Sadə açar-dəyər saxlanmasından kənar, Redis, simvollar, hashlər, siyahılar, dəstlər, sıralanmış dəstlər, HyperLogLogs, coğrafi indekslər və axınları dəstəkləyir.

Mikroservis mühitində kritik bir üstünlük Redis-in paylanmış təbiətidir: bir çox tətbiq instansiyaları tək bir Redis klasterini paylaşır, repliklər arasında keş uyğunluğunu təmin edir. Positive Thinking Tech (2025) bunu beş instansiyalı Spring Boot ilə nümayiş etdirərək, paylaşılmış Redis keşinin hər instansiyanın öz yerli saxlama sistemini qoruduqda yaranan köhnə verilənlərin uyğunsuzluğunu aradan qaldırdığını göstərdi [5].

Spring Boot Keşləmə Abstraksiyası

Spring Boot-un keşləmə abstraksiyası, EhCache, Caffeine, Hazelcast və Redis-i dəstəkləyən provay-derlərdən asılı olmayan proqramlaşdırma modelini təqdim edir. Proqramçılar @EnableCaching ilə keşləməni aktivləşdirir və xidmət metodlarını annotasiyalayar: @Cacheable qaytardığı dəyərləri saxlayır, @CachePut yazma zamanı keşin təzələnməsini təmin edir, və @CacheEvict dəyişiklik zamanı köhnə girişləri silir [6].

Elammari (2025) tələb axınını aşağıdakı kimi təsvir edir: daxil olan bir tələb REST nəzarətçisindən servis hissəsinə keçir, burada Spring çağırışı dayandırır və Redis-i yoxlayır; cache hit olduqda nəticə dərhal qaytarılır, cache miss olduqda metod verilənlər bazası sorğusu icra edir və nəticə qayıdılan zaman Redis-ə yazılır. Bu model, yəni cache-aside kimi tanınan model Spring Boot mikroservislərində ən müasir keşləmə strategiyasıdır.

TTL İdarəetməsi və Siyasətləri

Əhəmiyyətli keş idarəetməsi iki tamamlayıcı mexanizm tələb edir. TTL hər bir keş girişinə bir mövcudluq müddəti təyin edir, köhnə məlumatların sonsuza qədər davam etməsinin qarşısını alır; müddət 60 saniyəlik TTL-ə sahib ola bilər, eyni zamanda on dəqiqəlik keşdə saxlanıla bilər [7]. Redis tənzimlənmiş yaddaş limitinə çatdıqda (maxmemory), siyasət hansı açarların silinəcəyini seçir. Redis səkkiz siyasəti dəstəkləyir: volatile-lru, allkeys-lru, volatile-lfu, allkeys-lfu, volatile-ttl, allkeys-random, volatile-random, və noeviction [8].

Yüksək Trafik İstehsal Mühitlərində Redis

2025-ci ildəki cloud əsaslı ödəniş sistemlərində Redis keşləməsi üzrə bir tədqiqat göstərdi ki, replikasiya və müvafiq evakuasiya siyasətini birləşdirmək, eyni vaxtda real vaxt uyğunluğu, səhv dözümlülüyü və ölçülmə məsələlərini həll edir [9]. Tədqiqat, cache hit nisbətindəki mülayim artırmaların (təxminən 10%)

verilənlər bazası infrastruktur xərclərində əhəmiyyətli azalmalar və API gecikməsi ölçülərində azalmalar qeydə alındı.

III. Praktik nümayiş: redis tətbiqi

Bu bölmə, Redisin keş yanaşmasının tam tələblər dövrəsi boyunca addım-addım nümayiş etdirir. Nümayiş, Bölmə 4-də təsvir olunan Spring Boot 3.x tətbiqindən istifadə edir, 50,000 məhsul qeydi ilə PostgreSQL 15 bazasında 9090 portunda işləyir və Redis 7.x-i istifadə edir.

Addım 1. Hər hansı bir tələbdən əvvəl Redis-in boş olduğunu təsdiq edin

Hər hansı bir HTTP sorğusunu göndərməzdən əvvəl Redis açar sahəsinin boş olduğunu yoxlayın. KEYS * bütün açarları sıralayır, DBSIZE ümumi sayını qaytarır, və INFO açar sahəsi verilənlər bazası statistikalarını göstərir.

```
rufat.abdullayev@ACBL141 MINGW64 /
$ winpty docker exec -it f509b1c8432e9d00acead659dc31d80a33667ba6d72da066b7e680c6acd693f5 redis-cli
127.0.0.1:6379> KEYS *
(empty array)
127.0.0.1:6379> DBSIZE
(integer) 0
127.0.0.1:6379> INFO keyspace
# Keyspace
127.0.0.1:6379>
```

Şəkil 1. İstənilən HTTP sorğusundan əvvəl Redis — açar boşdur (DBSIZE = 0)

Addım2. İlk HTTP Sorğusunu İcra Edin (Cache MISS)

/api/products/1 ünvanına göndərilən ilk GET sorğusu cache miss yaradır. Spring-in @Cacheable interceptor-u Redis-də products::1 açarını yoxlayır, heç nə tapmır və xidmət metodunu icra etməyə davam edir. ProductService.simulateSlowDb() metodu məlumat bazası gecikməsini model etmək üçün 300 ms süni gecikmə əlavə edir; faktiki PostgreSQL sorğusu ilə birləşərək, ümumi cavab müddəti təxminən 314 ms-ə çatır ki, bu da Postman benchmark-ı ilə təsdiqlənir. Metod qaytarıldıqdan sonra, Spring nəticəni serializasiya edir və onu Redis-ə 300 saniyəlik TTL ilə yazır (RedisConfig-də konfiqurasiya edilmişdir, 5 dəqiqə).

```
rufat.abdullayev@ACBL141 MINGW64 /
$ curl -o /dev/null -s -w "Time: %{time_total}s\n" http://localhost:9090/api/products/1
Time: 0.321561s

2026-04-13T15:29:20.2029+04:00 TRACE TRAC8 --- [redis-demo] [nio-9090-exec-1] o.s.cache.interceptor.CacheInterceptor : No cache entry for key '1' in cache(s) [products]
2026-04-13T15:29:20.2028+04:00 INFO   INFO --- [redis-demo] [nio-9090-exec-1] c.e.redisdemo.service.ProdService : >>> [CACHE MISS] Reading from Database + id=1
Hibernate:
    select
        p1_0.id,
        p1_0.category,
        p1_0.name,
        p1_0.price,
        p1_0.stock
    from
        products p1_0
    where
        p1_0.id=?
2026-04-13T15:29:20.209+04:00 INFO 25988 --- [redis-demo] [nio-9090-exec-1] c.e.redisdemo.service.DbService >>> [DB SUCCESS] Product loaded and cached -> id=1 | name=Pro Electronics Item-1
2026-04-13T15:29:20.209+04:00 TRACE 25988 --- [redis-demo] [nio-9090-exec-1] o.s.cache.interceptor.CacheInterceptor : Creating cache entry for key '1' in cache(s) [products]
```

Şəkil 2. İlk HTTP sorğusu keş MISS yaradır — məlumatlar PostgreSQL-dən əldə olunur (~314 ms)

Addım 3. İlk Sorğudan Sonra Redis-ə Baxın

İlk sorğudan dərhal sonra redis-cli, Redis-də products::1-in mövcud olduğunu təsdiqləyir. TYPE əmri onun bir string (JDK-serializasiya edilmiş bayt, RedisConfig-də JdkSerializationRedisSerializer üzrə konfiqurasiya edilmişdir) olaraq saxlandığını təsdiqləyir. TTL əmri qalan müddəti saniyələrlə göstərir.

```
127.0.0.1:6379> KEYS *
1) "products::1"
127.0.0.1:6379> TYPE products::1
string
127.0.0.1:6379> TTL products::1
(integer) 3564
127.0.0.1:6379> GET products::1
"[\"com.example.redisdemo.dto.ProductDto\",{\"id\":1,\"name\":\"Pro Electronics Item-1\",\"category\":\"Electronics\",\"price\":\"192.4
7\",\"stock\":385}]"
127.0.0.1:6379> DBSIZE
(integer) 1
```

Şəkil 3. İlk sorğudan sonra Redis vəziyyəti — key products::1 TTL görünən şəkildə keşlənir

Addım 4. İkinci Sorğu Cache HIT-i Təsdiqləyir

Eyni endpoint-ə göndərilən ikinci GET sorğusu eyni yükü 2 ms-də qaytarır, yəni Postman-da ölçülmüş 157x sürət artımını təsdiqləyir. Spring-in interceptor-u Redis-də products::1-i tapır, cache dəyərini deserializasiya edir və SQL-i icra etmədən qaytarır. Tətbiq logu məlumat bazası ilə qarşılıqlı əlaqənin olmadığını təsdiqləyir.

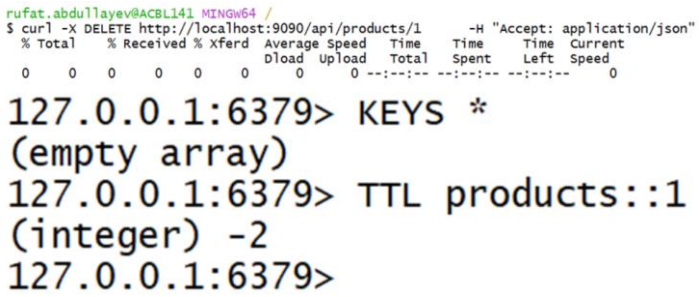


Şəkil 4. İkinci HTTP sorğusu, Redis-dən ~2 ms ərzində əldə edilir

Addım5. @CacheEvict vasitəsilə Cache-in silinməsi

PUT və ya DELETE sorğusu @CacheEvict-i hərəkətə gətirir, bu da Spring-ə products::1-in Redis-dən çıxarılmasına göstəriş verir. Redis açarın artıq mövcud olmadığını təsdiqləyir: KEYS * boş massiv qaytarır və TTL products::1 -2 (açar yoxdur) qaytarır. Növbəti GET bir daha cache miss yaradacaq və PostgreSQL-dən yeni məlumatlar əldə edəcək, bu da cache-in köhnə qeydləri verməməsini təmin edir.

2026-04-13T15:59:53.897+04:00 INFO 34360 --- [redis-demo] [nio-9090-exec-7] c.e.redisdemo.service.ProductService : >>> [DELETE SUCCESS] Product deleted and caches cleared → id=1



Şəkil 5. @CacheEvict köhnəlmiş açarı silir — Redis yenidən boşdur

IV. POSTMAN STATİSTİKASI

Caching-in təsirinin alət tərəfindən təsdiqlənmiş sübutlarını təqdim etmək üçün BenchmarkController-da xüsusi benchmark metodu yaradılıb: GET /api/benchmark/compare/{id}. Metod üç addımı yerinə yetirir:

- ProductService.evictSingle(id) çağırır ki, yeni cache miss təmin olunsun,
- (2) ilk getById(id) çağırmanın müddətini ölçür — məlumat bazasına giriş etməlidir
- (3) dərhal ikinci getById(id) müddətini ölçür — tamamilə Redis-dən əldə olunur.

Postman sorğusu GET http://localhost:9090/api/benchmark/compare/1 ümumi 326 ms-də HTTP 200 OK qaytardı (Spring Boot overhead-i daxil olmaqla). JSON cavabı aşağıda təkrar edilir və Şəkil 6-da təsvir edilir.



Şəkil 6. Postman benchmark nəticəsi — keş MISS: 314 ms, keş HIT: 2 ms, sürətləndirmə: 157x

Nəticə aydın şəkildə göstərir ki, Redis 300 ms simulyasiya edilmiş verilənlər bazası gecikməsini, eləcə də şəbəkə yükünü aradan qaldırır, effektli cavab vaxtını 2 ms-ə endirir, bu isə 99.4% azalma deməkdir. dbSavedOnHit sahəsi: "Bəli, heç bir SQL icra edilmir" və Spring @Cacheable interceptora ikinci çağırışda verilənlər bazası əlaqəsi yaratmır.

V. NƏTİCƏ

Bu tədqiqat, Redis əsaslı keşləmənin mikroservis arxitekturalarında tətbiq performansına müəyyən təsirini eksperimental və ədəbiyyat təhlili vasitəsilə təsdiqləmişdir. Spring Boot 3.x və PostgreSQL əsaslı REST API üzərində aparılan benchmark ölçmələri göstərdi ki, Redis keşləməsi tətbiq olunduqda API cavab vaxtı

cache miss şəraitində 314 ms-dən cache hit şəraitində 2 ms-ə düşür. Bu da 157 dəfəlik sürət artımına, yaxud 99.4% gecikmə azalmasına bərabərdir.

Tədqiqatın nəticələri aşağıdakı əsas müəyyənləşmələri önə çəkir: (1) Redis cache-aside strategiyası təkrar verilənlər bazası sorğularını azaldır və mikroservis mühitlərində ən effektiv keşləmə yanaşmalarından biridir; (2) Spring Boot-un @Cacheable, @CachePut və @CacheEvict annotasiyaları servis məntiqini dəyişdirmədən keşləmənin tətbiqini təmin edir; (3) TTL parametrləri və kənarlaşdırma siyasətləri (məsələn, volatile-lru, allkeys-lfu) düzgün səçildikdə sistem throughput-unu daha da artırır; (4) paylanılmış Redis klasteri bir neçə tətbiq instansiyaları arasında keş uyğunluğunu təmin edir və mikroservislərin miqyaslanmasına kömək edir.

Praktiki nöqteyi-nəzərdən bu tədqiqat göstərir ki, Redis keşləməsi müasir mikroservis arxitekturalarında yalnız bir optimallaşdırma aləti kimi deyil, yüksək trafik şəraitində verilənlər bazası yükünü azaltmaq və API gecikməsini minimuma endirmək üçün arxitektura səviyyəsində zəruri bir komponent kimi qəbul edilməlidir. Gələcək işlər arasında Redis Cluster konfiqurasiyalarının əlavə tədqiqi, həmçinin müxtəlif keşləmə strategiyalarının real yüklənmə mühitində tətbiqi nəzərdə tutulur.

İSTİNADLAR

1. Newman S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media; 2021.
2. Elammari S. Intelligent Caching Strategies for High-Performance Applications with Redis [Internet]. Medium; 2025 Oct [cited 2026 Apr]. Available from: https://medium.com/@elammarisoufiane/intelligent-caching-strategies-for-high-performance-applications-with-redis-bb3b559d6125
3. Solanki P. Balancing Consistency and Performance in Spring Boot Microservices [Internet]. Aegis Softtech Insights; 2025 Oct [cited 2026 Apr]. Available from: https://www.aegissofttech.com/insights/balancing-consistency-spring-boot-caching-partitioning-schedulers/
4. Seth D, Singh A, Panyam S. Distributed Caching Challenges and Strategies in Enterprise Applications. Int Res J Multidiscip Eng Technol Sci. 2024;(6). Available from: https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper//issue_6_june_2024/58564/final/fin_irjmets1717408448.pdf
5. Positive Thinking Tech. Distributed Caching by using Redis in Spring Boot Applications [Internet]. 2025 Aug [cited 2026 Apr]. Available from: https://positivethinking.tech/insights/distributed-caching-using-redis-in-spring-boot-applications/
6. Badarpura M. Spring Boot Caching with Redis: Boost Performance with Fast Operations [Internet]. Coding Shuttle; 2026 Feb [cited 2026 Apr]. Available from: https://www.codingshuttle.com/blogs/spring-boot-caching-with-redis-boost-performance-with-fast-operations-2025-1/
7. Redis Inc. Cache Optimization: Strategies to Cut Latency and Cloud Cost [Internet]. Redis.io Blog; 2026 Feb [cited 2026 Apr]. Available from: https://redis.io/blog/guide-to-cache-optimization-strategies/
8. Redis Inc. Cache Eviction Strategies Every Redis Developer Should Know [Internet]. Redis.io Blog; 2025 Oct [cited 2026 Apr]. Available from: https://redis.io/blog/cache-eviction-strategies/
9. Ashokan P, Golli A. Using Redis for Caching Optimization in High-Traffic Web Applications [Internet]. ResearchGate; 2025 [cited 2026 Apr]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/395191392

ASYMPTOTICS OF EIGENVALUES FOR THE ONE-DIMENSIONAL STARK OPERATOR ON THE HALF-LINE

Davud Orujov
Department of Mathematics and Computer Sciences
Baku Engineering University
Khirdalan, Azerbaijan
dorucov@beu.edu.az
0000-0002-5454-6338

Abstract: This study investigates the one-dimensional Stark operator on the half-line with a Neumann-type boundary condition. An asymptotic formula is derived for the norming constants of the corresponding boundary-value problem.
Keywords: *Stark operator, boundary condition, eigenvalues*

INTRODUCTION

On the half-line $0 \le x < \infty$, consider the operator $T = -\frac{d^2}{dx^2} + x + q(x)$ generated by the differential equation

$-y'' + xy + q(x)y = \lambda y, \lambda \in C$, (1)

and the boundary condition

$y'(0) = 0$, (2)

where the function $q(x)$ is real-valued and satisfies the conditions

$q(x) \in C[0,\infty), \int_0^\infty |x^4 q(x)|dx < \infty$. (3)

The present paper derives an asymptotic formula for the norming constants of the boundary-value problem (1)-(2) as $q(x) = 0$.

II. PROPERTIES OF SPECTRAL DATA

Consider the equation

$-y'' + xy = \lambda y, 0 \le x < \infty, \lambda \in C$. (4)

It is known that equation (4) admits [1] a solution $f_0(x,\lambda)$ in the form

$f_0(x,\lambda) = \mathrm{Ai}(x - \lambda)$, (5)

where $\mathrm{Ai}(z)$ denotes the Airy function of the first kind. The function $\mathrm{Ai}(z)$ is an entire function of order 3/2 and type 2/3 (see [1], [3]). The following asymptotic equalities are valid as $|z| \to \infty$

$$Ai(z) \sim \pi^{-\frac{1}{2}} z^{-\frac{1}{4}} e^{-\zeta}[1 + O(\zeta^{-1})], |argz| < \pi,$$

$$Ai'(z) \sim -\pi^{-\frac{1}{2}} z^{\frac{1}{4}} e^{-\zeta}[1 + O(\zeta^{-1})], |argz| < \pi,$$

$$Ai(-z) \sim \pi^{-\frac{1}{2}} z^{-\frac{1}{4}} sin\left(\zeta + \frac{\pi}{4}\right)[1 + O(\zeta^{-1})], |argz| < \frac{2\pi}{3},$$

$$Ai'(-z) \sim -\pi^{-\frac{1}{2}} z^{\frac{1}{4}} cos\left(\zeta + \frac{\pi}{4}\right)[1 + O(\zeta^{-1})], |argz| < \frac{2\pi}{3},$$

where $\zeta = \frac{2}{3} z^{\frac{3}{2}}$. It follows that the spectrum of the problem (4), (2) is discrete and consists of the zeros of the function $f_0'(0,\lambda) = Ai'(-\lambda)$. The function $Ai'(-\lambda)$ has [1] zeros $\hat{\lambda}_n, n = 1,2,...$ on the positive half-line, and the following asymptotic equality holds

$\hat{\lambda}_n = g\left(\frac{3\pi(4n-3)}{8}\right)$, (6)

where

$g(z) \sim z^{\frac{2}{3}}\left(1 - \frac{7}{48} z^{-2} + \frac{35}{288} z^{-4} - \frac{181223}{207360} z^{-6} + ...\right), z \to \infty$. (7)

Moreover, since the operator $\hat{T}_0 = -\frac{d^2}{dx^2} + x$ is self-adjoint, the corresponding system of functions $\left\{\frac{f_0(x,\hat{\lambda}_n)}{\hat{\alpha}_n}\right\}_{n=1}^{\infty}$ forms an orthonormal basis in the space $L_2(0,\infty)$, that is, the following equality holds

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{f_0(x,\hat{\lambda}_n)}{\hat{\alpha}_n} \frac{f_0(y,\hat{\lambda}_n)}{\hat{\alpha}_n} = \delta(x - y)$$

holds, where $\delta -$ denotes the Dirac delta function, and the norming constants $\hat{\alpha}_n, n = 1,2,...$ are defined by the formulas

$$\hat{\alpha}_n = \sqrt{\int_0^\infty \left|f_0(x,\hat{\lambda}_n)\right|^2 dx}.$$

We establish the following theorem.

Theorem. *The following relation holds*

$$(\hat{\alpha}_n)^2 = \pi^{-1}\left(\frac{3\pi(4n-3)}{8}\right)^{\frac{1}{3}} + O\left(n^{-\frac{2}{3}}\right), n \to \infty.$$

Proof. Let dots denote differentiation with respect to λ, and primes differentiation with respect to x: $u' = \frac{\partial}{\partial x}u, \dot{u} = \frac{\partial}{\partial \lambda}u$. Consider the equation

$$-f_0''(x,\lambda) + xf(x,\lambda) = \lambda f(x,\lambda).$$

Differentiating this equation with respect to λ, we have

$$-\dot{f}_0''(x,\lambda) + x\dot{f}(x,\lambda) = f(x,\lambda) + \lambda\dot{f}(x,\lambda).$$

Multiplying the first equation by $\dot{f}(x,\lambda)$, the second by $f(x,\lambda)$, and subtracting the first from the second, we obtain

$$f_0^2(x,\lambda) = \left\{\dot{f}(x,\lambda), f(x,\lambda)\right\}',$$

where $\{u,v\} = uv' - u'v$. Since $f_0(x,\lambda)$ and $\dot{f}_0(x,\lambda)$ decrease exponentially as $x \to \infty$, the last identity implies that

$$\hat{\alpha}_n^2 = \int_0^\infty f_0^2(x,\hat{\lambda}_n)dx = \left\{\dot{f}_0(x,\hat{\lambda}_n), f_0(x,\hat{\lambda}_n)\right\}|_0^\infty = \dot{f}_0'(0,\hat{\lambda}_n)f_0(0,\hat{\lambda}_n) = \hat{\lambda}_n\left[Ai(-\hat{\lambda}_n)\right]^2. \quad (8)$$

Using (6)-(8), together with the known relation [1]

$$\mathrm{Ai}(-\hat{\lambda}_n) = (-1)^{n-1}g_1\left(\frac{3\pi(4n-3)}{8}\right), (9)$$

where

$$g_1(z) \sim \pi^{-\frac{1}{2}}z^{-\frac{1}{6}}\left(1 - \frac{7}{96}z^{-2} + \frac{1673}{6144}z^{-4} - \frac{84394709}{26542080}z^{-6} + ...\right), z \to \infty, (10)$$

from (4) and (8), we derive

$$(\hat{\alpha}_n)^2 = \hat{\lambda}_n\left[g_1\left(\frac{3\pi(4n-3)}{8}\right)\right]^2.$$

The assertion of the theorem follows from (6), (7), (8), and (9).

This completes the proof.

CONCLUSION

An asymptotic formula has been established for the norming constants of the corresponding boundary-value problem. The obtained result may be applied to the further analysis of eigenvalues and eigenfunctions of the perturbed problem (1)-(3), which in turn can be used for the study of the inverse problem.

REFERENCES

[45] M. Abramowitz, I. A. Stegun (editors), "Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs and Mathematical Tables," National Bureau of Standards, Appl. Math., 1964, Ser. 55.

[46] M. G. Makhmudova, A. Kh. Khanmamedov, "On spectral properties of the one-dimensional Stark operator on the semiaxis," Ukr. Math. J., 2020, Volume 71, No. 11, pp. 1813–1819.

[47] A. M. Savchuk, A. A. Shkalikov, "Spectral properties of the Airy complex operator on the semiaxis," Funkts. Anal. Prilozh., volume 51, No. 1, pp. 82–98.

[48] J. H. Toloza, A. Uribe, "One-dimensional Stark operators in the half-line," https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.05514

RƏQƏMSAL DİPLOMATİYADA QARŞIYA ÇIXAN PROBLEMLƏR

Nihad Həsənli
Bakı Mühəndislik Universiteti

Xülasə

Məqalədə müasir beynəlxalq münasibətlər sistemində sürətlə inkişaf edən rəqəmsal diplomatiya anlayışı və bu sahədə meydana çıxan əsas problemlər təhlil edilmişdir. Rəqəmsal texnologiyaların və sosial media platformalarının diplomatik fəaliyyətə inteqrasiyası dövlətlər üçün yeni kommunikasiya imkanları yaratmaqla yanaşı, bir sıra risk və çağırışlar da formalaşdırmışdır. Tədqiqatda rəqəmsal diplomatiya mühitində informasiya təhlükəsizliyi problemləri, kibertəhlükələr, dezinformasiya və manipulyativ informasiya kampaniyaları, rəqəmsal bərabərsizlik, hüquqi tənzimləmə boşluqları və diplomatik kommunikasiya sürətinin artması kimi əsas problemlər sistemli şəkildə araşdırılmışdır. Məqalədə bu problemlər konkret beynəlxalq nümunələr əsasında əsaslandırılmış və onların diplomatik fəaliyyətə təsiri qiymətləndirilmişdir. Araşdırma göstərir ki, rəqəmsal diplomatiyanın effektiv həyata keçirilməsi üçün dövlətlər tərəfindən kibertəhlükəsizlik mexanizmlərinin gücləndirilməsi, rəqəmsal kommunikasiya strategiyalarının təkmilləşdirilməsi və beynəlxalq hüquqi tənzimləmə mexanizmlərinin inkişaf etdirilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Açar sözlər: Rəqəmsal diplomatiya, ictimai diplomatiya, sosial media diplomatiyası, kibertəhlükəsizlik, dezinformasiya, informasiya müharibəsi.

Rəqəmsallaşma beynəlxalq münasibətlərin bütün sahələrinə təsir etdiyi kimi diplomatiyanın həyata keçirilmə üsullarını da əhəmiyyətli şəkildə dəyişdirmişdir. İnternet, sosial media platformaları və müxtəlif rəqəmsal kommunikasiya vasitələri dövlətlərin xarici siyasət fəaliyyətində yeni imkanlar yaratmış, informasiya mübadiləsini sürətləndirmiş və diplomatik kommunikasiya kanallarını genişləndirmişdir. Bu kontekstdə "rəqəmsal diplomatiya" anlayışı meydana çıxmışdır. Rəqəmsal diplomatiya dövlətlərin, beynəlxalq təşkilatların və diplomatik nümayəndəliklərin xarici siyasət məqsədlərini həyata keçirmək üçün rəqəmsal texnologiyalardan və onlayn kommunikasiya platformalarından istifadə etməsini ifadə edir. Bununla belə, rəqəmsal diplomatiyanın sürətli inkişafı ilə yanaşı, bu sahədə bir sıra ciddi problemlər də meydana çıxmışdır. Həmin problemlər həm texnoloji, həm hüquqi, həm də siyasi xarakter daşıyır və beynəlxalq münasibətlər sistemində yeni çağırışlar yaradır.

Rəqəmsal diplomatiyada qarşıya çıxan əsas problemlərdən biri informasiya təhlükəsizliyi və kibertəhlükələr məsələsidir. Diplomatik fəaliyyət ənənəvi olaraq məxfi məlumatların qorunmasını tələb edən sahədir. Lakin diplomatik proseslərin rəqəmsallaşması dövlətlərin informasiya sistemlərini kiberhücumlara daha açıq vəziyyətə gətirmişdir. Xüsusilə dövlətlərin diplomatik yazışmaları, strateji qərarlarla bağlı məlumatlar və siyasi planlar rəqəmsal platformalarda saxlanıldığı üçün kibercasusluq halları artmışdır. Bu baxımdan 2010-cu ildə baş vermiş "WikiLeaks" hadisəsi rəqəmsal diplomatiyanın təhlükəsizlik problemlərinin ən bariz nümunələrindən biri hesab edilir. WikiLeaks tərəfindən ABŞ Dövlət Departamentinə məxsus 250 mindən çox diplomatik teleqramın ictimaiyyətə açıqlanması beynəlxalq diplomatik münasibətlərdə ciddi gərginlik yaratmışdır. Bu hadisə göstərdi ki, rəqəmsal mühitdə diplomatik məlumatların qorunması ənənəvi diplomatik kanallarla müqayisədə daha çətin və risklidir (Cull, 2019).

Rəqəmsal diplomatiyada mühüm problemlərdən biri də dezinformasiya və manipulyativ informasiya kampaniyalarının geniş yayılmasıdır. Sosial media platformalarının sürətli yayılması dövlətlərin xarici siyasət mesajlarını geniş auditoriyaya çatdırmasına imkan versə də, eyni zamanda yanlış məlumatların və təbliğat xarakterli informasiyaların yayılması üçün əlverişli mühit yaratmışdır. Bu problem xüsusilə son illərdə beynəlxalq siyasətdə daha qabarıq şəkildə özünü göstərir. Məsələn, 2016-cı ildə ABŞ-da keçirilən prezident seçkiləri zamanı sosial mediada geniş miqyaslı dezinformasiya kampaniyalarının aparıldığı müəyyən edilmişdir. ABŞ Konqresinin və xüsusi araşdırma komissiyalarının hesabatlarında göstərilmişdir ki, sosial media platformaları vasitəsilə yayılan manipulyativ məlumatlar seçki prosesinə təsir göstərmiş və beynəlxalq informasiya müharibəsinin yeni formalarını ortaya çıxarmışdır (Bradshaw & Howard, 2018). Bu fakt göstərir ki, rəqəmsal diplomatiya yalnız dövlətlərin rəsmi kommunikasiya vasitəsi deyil, həm də informasiya mübarizəsinin aparıldığı bir mühitə çevrilmişdir.

Rəqəmsal diplomatiyanın qarşılaşdığı digər mühüm problem rəqəmsal bərabərsizlik və texnoloji fərqlilik məsələsidir. Bütün dövlətlər rəqəmsal texnologiyalardan eyni səviyyədə istifadə etmək imkanına malik deyillər. İnkişaf etmiş ölkələr yüksək texnoloji infrastruktura, güclü internet şəbəkələrinə və inkişaf etmiş

rəqəmsal diplomatiya strategiyalarına malik olduqları halda, bir çox inkişaf etməkdə olan ölkələr bu sahədə ciddi məhdudiyyətlərlə üzləşirlər. Bu isə beynəlxalq diplomatik kommunikasiya prosesində müəyyən balanssızlıq yaradır. Məsələn, Avropa İttifaqı ölkələri və ABŞ rəqəmsal diplomatiya strategiyalarını sistemli şəkildə tətbiq edir və xarici siyasət kommunikasiyasında sosial media platformalarından geniş istifadə edirlər. ABŞ Dövlət Departamenti yalnız Twitter platformasında yüzlərlə rəsmi diplomatik hesab vasitəsilə xarici siyasət mesajlarını yayır və müxtəlif regionlarda ictimai diplomatiya fəaliyyətini həyata keçirir (Bjola & Holmes, 2015). Bununla müqayisədə bir çox Afrika və Asiya ölkələrində diplomatik nümayəndəliklərin rəqəmsal kommunikasiya imkanları məhduddur və bu, onların beynəlxalq informasiya məkanında görünürlüyünü azaldır.

Rəqəmsal diplomatiyada institusional və hüquqi tənzimləmə problemləri də mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Diplomatik fəaliyyət uzun müddət ərzində əsasən ənənəvi hüquqi normalarla tənzimlənmişdir və bu normalar 1961-ci il Vyana Diplomatik Münasibətlər Konvensiyası kimi beynəlxalq hüquqi sənədlərə əsaslanır. Lakin rəqəmsal kommunikasiya vasitələrinin diplomatik fəaliyyətə daxil olması bir sıra hüquqi boşluqlar yaratmışdır. Məsələn, diplomatik yazışmaların sosial media vasitəsilə aparılması, rəqəmsal platformalarda rəsmi dövlət mövqeyinin ifadə edilməsi və ya onlayn diplomatik müzakirələrin hüquqi statusu ilə bağlı məsələlər beynəlxalq hüquqda tam şəkildə tənzimlənməmişdir. Bu səbəbdən rəqəmsal diplomatiya fəaliyyətində hüquqi məsuliyyət və etik normalarla bağlı mübahisəli vəziyyətlər yaranır.

Rəqəmsal diplomatiyanın digər mühüm problemlərindən biri diplomatik kommunikasiya prosesinin həddindən artıq sürətlənməsi ilə bağlıdır. Sosial media platformaları vasitəsilə dövlət rəsmilərinin verdiyi açıqlamalar çox qısa müddətdə geniş auditoriyaya çatır və bu, diplomatik münasibətlərdə bəzən gözlənilməz nəticələrə səbəb olur. Ənənəvi diplomatiyada bəyanatlar adətən uzun müzakirələrdən və diplomatik prosedurlardan sonra verildiyi halda, rəqəmsal diplomatiyada bəzi açıqlamalar impulsiv şəkildə yayıla bilər. Bu isə beynəlxalq münasibətlərdə diplomatik gərginlik yarada bilər. Məsələn, müxtəlif dövlət liderlərinin Twitter vasitəsilə verdiyi açıqlamaların bəzən siyasi gərginliyi artırdığı müşahidə edilmişdir. Tədqiqatçılar qeyd edirlər ki, sosial media diplomatiyası diplomatik diskursun emosional və populist elementlərinin artmasına səbəb olmuşdur (Manor, 2019).

Onu da qeyd edək ki, rəqəmsal diplomatiyada informasiya çoxluğu və kommunikasiya səmərəliliyi problemi də mövcuddur. Sosial media platformalarında çox sayda dövlət qurumlarının və diplomatik nümayəndəliklərin fəaliyyət göstərməsi informasiya axınının həddindən artıq artmasına gətirib çıxarır. Bu isə auditoriyanın diqqətini cəlb etməyi çətinləşdirir və diplomatik mesajların effektivliyini azalda bilər. Xüsusilə beynəlxalq təşkilatlar və dövlət qurumları üçün rəqəmsal kommunikasiya strategiyasının düzgün qurulması mühüm əhəmiyyət daşıyır. Məsələn, Avropa Xarici Fəaliyyət Xidməti (European External Action Service) rəqəmsal kommunikasiya strategiyasını formalaşdırarkən sosial media platformalarında hədəf auditoriya analizi, məzmun planlaşdırılması və kommunikasiya effektivliyinin ölçülməsi kimi metodlardan istifadə edir.

Cədvəl 1: Rəqəmsal diplomatiyada qarşıya çıxan əsas problemlər

Problem	Problemin mahiyyəti	Konkret nümunə
İnformasiya təhlükəsizliyi və kibertəhlükələr	Diplomatik yazışmaların və strateji məlumatların rəqəmsal platformalarda saxlanılması onları kiberhücumlara və kibercasusluğa qarşı həssas edir	2010-cu ildə WikiLeaks tərəfindən ABŞ Dövlət Departamentinin 250 mindən çox diplomatik teleqramının yayımlanması beynəlxalq diplomatiyada ciddi gərginlik yaratmışdır
Dezinformasiya və informasiya manipulyasiyası	Sosial media vasitəsilə yanlış və manipulyativ məlumatların yayılması dövlətlərin diplomatik kommunikasiya strategiyalarına və beynəlxalq imicinə təsir göstərir	2016-cı il ABŞ prezident seçkiləri zamanı sosial media platformalarında təşkil olunmuş dezinformasiya kampaniyaları aşkar edilmişdir
Rəqəmsal bərabərsizlik	Dövlətlər arasında texnoloji imkanların fərqli olması rəqəmsal diplomatiyada iştirak və təsir imkanlarında balanssızlıq yaradır	ABŞ və Avropa ölkələrinin yüzlərlə rəsmi diplomatik sosial media hesabları ilə aktiv kommunikasiya aparması, lakin bir çox inkişaf etməkdə olan ölkələrin bu imkanlardan məhdud istifadə etməsi
Hüquqi tənzimləmə problemləri	Rəqəmsal platformalarda aparılan diplomatik fəaliyyətin hüquqi statusu və məsuliyyət mexanizmləri beynəlxalq hüquqda tam müəyyən edilməmişdir	Sosial media vasitəsilə verilən rəsmi diplomatik açıqlamaların hüquqi məsuliyyəti və statusu ilə bağlı beynəlxalq hüquqda aydın mexanizmlərin olmaması
Diplomatik kommunikasiya sürətinin artması	Sosial media platformalarında dövlət rəsmilərinin sürətli və bəzən düşünülməmiş açıqlamaları diplomatik gərginlik yarada bilər	Dövlət liderlərinin Twitter üzərindən verdiyi bəyanatların bəzən beynəlxalq siyasi gərginliyi artırması

İnformasiya çoxluğu və kommunikasiya effektivliyi	Sosial mediada çox sayda rəsmi hesabın olması informasiya axınının artmasına və diplomatik mesajların təsirinin azalmasına səbəb ola bilər	Avropa Xarici Fəaliyyət Xidmətinin (EEAS) rəqəmsal kommunikasiya strategiyasında auditoriya analizi və məzmun planlaşdırması tətbiq olunur

Beləliklə, rəqəmsal diplomatiya beynəlxalq münasibətlər sistemində yeni imkanlar yaratmaqla yanaşı, bir sıra ciddi problemlər də meydana çıxarmışdır. İnformasiya təhlükəsizliyi, dezinformasiya kampaniyaları, rəqəmsal bərabərsizlik, hüquqi tənzimləmə boşluqları və kommunikasiya sürətinin artması kimi problemlər rəqəmsal diplomatiyanın effektiv fəaliyyətinə təsir göstərən əsas amillər hesab edilir. Bu problemlərin aradan qaldırılması üçün dövlətlər kibertəhlükəsizlik sistemlərini gücləndirməli, rəqəmsal diplomatiya strategiyalarını inkişaf etdirməli və beynəlxalq səviyyədə yeni hüquqi mexanizmlərin formalaşdırılması istiqamətində əməkdaşlığı genişləndirməlidirlər.

Nəticə

Aparılan təhlillər göstərir ki, rəqəmsal diplomatiya müasir beynəlxalq münasibətlər sistemində diplomatik fəaliyyətin mühüm alətlərindən birinə çevrilmişdir. İnformasiya-kommunikasiya texnologiyalarının inkişafı diplomatik kommunikasiya prosesini daha sürətli və daha geniş auditoriyaya yönəlmiş hala gətirmişdir. Bununla yanaşı, rəqəmsal mühitdə fəaliyyət göstərən diplomatik strukturlar yeni təhlükəsizlik və idarəetmə problemləri ilə də üzləşirlər. Xüsusilə kibertəhlükələr, dezinformasiya kampaniyaları və rəqəmsal bərabərsizlik kimi problemlər dövlətlərin xarici siyasət fəaliyyətinə birbaşa təsir göstərir və beynəlxalq informasiya məkanında rəqabəti gücləndirir.

Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, rəqəmsal diplomatiyanın səmərəli şəkildə inkişafı üçün dövlətlər yalnız texnoloji imkanlarını artırmaqla kifayətlənməməli, eyni zamanda institusional və hüquqi mexanizmləri də müasirləşdirməlidirlər. Bu istiqamətdə beynəlxalq səviyyədə kibertəhlükəsizlik əməkdaşlığının genişləndirilməsi, dezinformasiyaya qarşı effektiv strategiyaların hazırlanması və rəqəmsal diplomatiyanın hüquqi əsaslarının formalaşdırılması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Gələcək perspektivdə rəqəmsal diplomatiyanın daha sistemli və təhlükəsiz şəkildə tətbiqi dövlətlərin beynəlxalq informasiya mühitində mövqelərinin möhkəmlənməsinə və diplomatik fəaliyyətin effektivliyinin artırılmasına xidmət edəcəkdir.

Ədəbiyyat

1. Bjola, C., Holmes, M. (2015). Digital Diplomacy: Theory and Practice. London: Routledge.
2. Bradshaw, S., Howard, P. (2018). Challenging Truth and Trust: A Global Inventory of Organized Social Media Manipulation. Oxford Internet Institute, University of Oxford.
3. Cull, N. (2019). Public Diplomacy: Foundations for Global Engagement in the Digital Age. Cambridge: Polity Press.
4. Manor, I. (2019). The Digitalization of Public Diplomacy. London: Palgrave Macmillan.
5. Westcott, N. (2008). “Digital Diplomacy: The Impact of the Internet on International Relations.” Oxford Internet Institute.

FPGA ƏSASLI DATA ANALYTICS VƏ AVTOMATLAŞDIRMA ILƏ PAYLANMIŞ KIBERFIZIKI SISTEMLƏRDƏ MƏLUMATLARIN TOPLANMASI ÜSULLARININ VƏ ALQORITMLƏRININ MÜQAYISƏLI TƏHLILI

Nurlan Hacıyev
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı, Azərbaycan
nhaciyev5@std.beu.edu.az

İlhami Süleymanov
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı, Azərbaycan
isuleymanov@beu.edu.az
0009-0004-7959-5605

Xülasə: Paylanmış kiberfiziki sistemlər (CPS) [1,2] düzgün işləmək və qərarları vaxtında vermək üçün etibarlı və real vaxtda məlumat toplamağa ehtiyac duyur. Ənənəvi mərkəzləşdirilmiş sistemlərdə isə məlumatların emalı çox vaxt gecikir və şəbəkə məhdudiyyətləri səbəbindən effektiv olmur. Bu işdə paylanmış CPS mühitində istifadə olunan məlumat toplama üsulları və alqoritmlər müqayisə edilir. FPGA əsaslı bir sistemin sadə arxitekturası təqdim olunur. Bu sistemdə məlumat əvvəlcə FPGA üzərində emal edilir, sonra buluda ötürülür. Bu yanaşma gecikməni azaldır, şəbəkə yükünü yüngülləşdirir və məlumatların daha tez işlənməsinə kömək edir. FPGA üzərində ilkin emal sistemin daha sürətli reaksiya verməsinə imkan yaradır. Həmçinin FPGA ilə bulud analitikasını birləşdirən hibrid model nəzərdən keçirilir və ənənəvi sistemlərlə müqayisə olunur. İlkin nəticələr göstərir ki, bu yanaşma sistemin işini yaxşılaşdıra bilər. Buna görə də bu üsul sənaye sahələrində, xüsusilə neft-qaz monitorinqində istifadə üçün uyğun görünür.

Açar sözlər: Kiberfiziki sistemlər, FPGA, Məlumatların toplanması, Edge computing, Data analytics, Avtomatlaşdırma

COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA ACQUISITION METHODS AND ALGORITHMS IN DISTRIBUTED CYBER-PHYSICAL SYSTEMS USING FPGA-BASED DATA ANALYTICS AND AUTOMATION

Nurlan Hacıyev
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı, Azərbaycan
nhaciyev5@std.beu.edu.az
İlhami Süleymanov
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Bakı, Azərbaycan
isuleymanov@beu.edu.az
0009-0004-7959-5605

Abstract: Distributed cyber-physical systems (CPS) [1,2] rely on real-time and reliable data. Without it, normal operation becomes harder and decisions may be delayed. In many centralized systems, data is processed in one location. This can lead to delays. It also depends heavily on network conditions, which is not always stable. This work looks at several data collection methods and algorithms used in distributed CPS. It also introduces a simple FPGA-based setup. In this case, data is handled on the FPGA first and only then sent to the cloud. Because of this, delays can be reduced. Network traffic becomes lighter as well. In practice, this means data can be handled more quickly, and the system reacts faster. The paper also considers a hybrid model. It mixes FPGA-side processing with cloud analytics. This setup is compared with more traditional systems. The first results are promising. They show that such an approach may improve overall system performance. It can be useful in industrial settings, especially in oil and gas monitoring.

Keywords: Cyber-Physical Systems, FPGA, Data Acquisition, Edge Computing, Data Analytics, Automation

1.Giriş

Paylanmış kiberfiziki sistemlər (CPS) fiziki proseslərin sensorlar, hesablama sistemləri və kommunikasiya şəbəkələri vasitəsilə inteqrasiyasına əsaslanır [1, 2]. Bu sistemlər sənaye, enerji, nəqliyyat və neft-qaz sektorunda geniş tətbiq olunur [1, 2]. CPS sistemlərin işinin optimallaşdırılması aşağıdakı məsələlərin effektiv həllinin tapılmasıdır:

- real-zaman ərzində məlumat toplanmasının;
- gecikmələrin azaldılmasının;
- böyük həcmli məlumatların emalının;
- avtomatik qərarvermənin.

Ənənəvi (CPU/Cloud əsaslı) yanaşmalar bu tələbləri tam ödəyə bilmir. Bu səbəbdən son illərdə:

- **Kənar Hesablamalar (Edge Computing)**
- **FPGA əsaslı sistemlər**
- **Data Analytics inteqrasiyası** ön plana çıxmışdır [3, 4].

Bu məqalənin məqsədi:

1. Müxtəlif məlumat toplama üsullarını müqayisə etmək;
2. FPGA əsaslı yanaşmanı araşdırmaq və layihə həllini verilməsi;
3. Data Analytics və avtomatlaşdırmanı inteqrasiya etmək.

Bu işin əsas yeniliyi FPGA əsaslı kənar emal ilə bulud əsaslı Data Analytics və avtomatlaşdırılmış idarəetmə mexanizmlərinin inteqrasiyası edilməsidir.

2. Distributed CPS-də məlumatların toplanması üsulları.

Distributed CPS-də məlumatların toplanması müxtəlif yanaşmalar əsasında həyata keçirilir [4, 5]. Bu yanaşmalar sistemin tələblərindən, gecikmə məhdudiyyətlərindən və resurs imkanlarından asılı olaraq seçilir.

2.1 Periodik (Time-driven) üsul

- Məlumat müəyyən intervallarla toplanır;
- Sadə implementasiya olunur;
- Sistem strukturu aydındır;
- Dezavantaj: lazımsız trafik və artıq məlumat ötürülməsi baş verə bilər.

2.2 Hadisə əsaslı (Event-driven) üsul

- Dəyişiklik olduqda məlumat ötürülür;
- Daha effektiv və optimallaşdırılmış yanaşmadır;
- Real-time sistemlər üçün daha uyğundur;
- Şəbəkə yükünü azaldır.

2.3 Adaptiv üsul

- Sampling tezliyi dinamik olaraq dəyişir;
- Sistem vəziyyətinə uyğunlaşır;
- Resurslara qənaət edir;
- Daha mürəkkəb idarəetmə mexanizmi tələb edir.

2.4 Hibrid yanaşma

- Periodik və hadisə əsaslı üsulların kombinasiyasına əsaslanır;
- Sistem həm sabit monitorinq, həm də kritik hadisələrə reaksiya təmin edir;
- Performans və resurs istifadəsi arasında balans yaradır;
- Sənaye tətbiqlərində geniş istifadə olunur.

3.Məlumat toplama alqoritmlərinin təhlili.

CPS sistemlərində məlumatın toplanma üsulları və emal olunma alqoritmləri sistemin məhsuldarlığına ciddi təsir edir [5]. Praktik tətbiqlərdə bu alqoritmlərin seçimi sistemin işləmə şəraitindən asılı olur.

3.1 Nümunə götürmə (Sampling) alqoritmləri

- Sabit intervallı nümunə götürmə (Uniform sampling) – məlumat sabit intervallarla toplanır;
- Adaptiv nümunə götürmə (Adaptive sampling) – nümunə götürmə tezliyi vəziyyətə görə dəyişə bilər.

3.2 Süzgəcləmə alqoritmləri.

Sensorlardan gələn siqnallar çox vaxt "təmiz" deyil, küylər ilə müşaiət olur. Bu səbəbdən əvvəlcə sadə süzgəcləmə tətbiq edilir:

- Hərəkətli orta (Moving Average) – siqnalın orta qiymətini götürərək külər azaldılır;
- Aşağı tezlikli süzgəc (Low-pass filter) – yüksək tezlikli komponentləri zəiflədir.

3.3 Aqreqasiya (Aggregation).

Bəzi hallarda məlumat tək mənbədən gəlmir. Fərqli sensorlardan gələn məlumatları birləşdirmək lazım olur:

- Məlumatların birləşdirilməsi (Data fusion) – müxtəlif sensor məlumatlarının birgə işlənməsi;
- Sensor məlumatlarının birləşdirilməsi – analiz üçün vahid struktur formalaşdırılır.

3.4 Anomaliya aşkarlanması (Anomaly Detection).

Sistemdə baş verən dəyişiklikləri vaxtında görmək vacibdir. Bunun üçün aşağıdakı sadə yanaşmalar kifayət edir:

- Həddəsaslı yanaşma (Threshold-based) – həddaşdıqda siqnal yaranır;
- Statistik metodlar – məlumatın davranışına əsaslanır.

4. Ənənəvi sistemlərin məhdudiyyətləri

Ənənəvi CPS arxitekturası: Sensor → MCU/CPU → Bulud (Cloud) → Analiz (Analysis)

Problemlər:

- yüksək gecikmə;
- şəbəkə yükü;
- real-vaxt məhdudiyyətləri;
- enerji sərfinin çox olması.

5. FPGA əsaslı yanaşma.

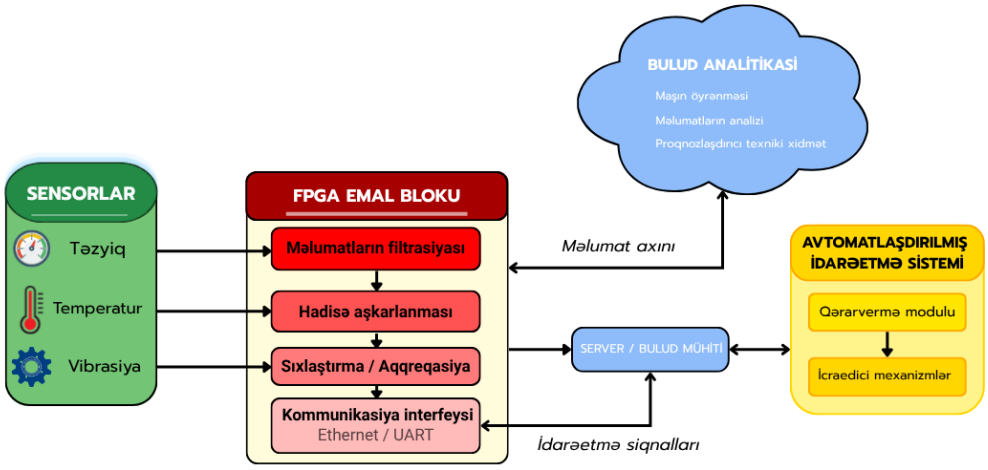
Bu problemləri azaltmaq üçün alternativ həllərə ehtiyac vardır. FPGA bu problemlərin həlli istiqamətində uğurlu addım olaraq uyğun variant kimi təklif edilir.

5.1 FPGA-nın üstünlükləri

- paralel emal;
- aşağı gecikmə;
- deterministik davranış;
- daha yaxşı enerji istifadəsi (enerji effektivliyi).

5.2 Təklif olunan arxitektura.

Bu prosesdə məlumat əvvəlcə FPGA üzərində emal olunur, daha sonra isə bulud mühitinə ötürülür. Bu dəyişiklik sistemin reaksiyasını nəzərə çarpacaq dərəcədə sürətləndirməyə imkan verəcək.

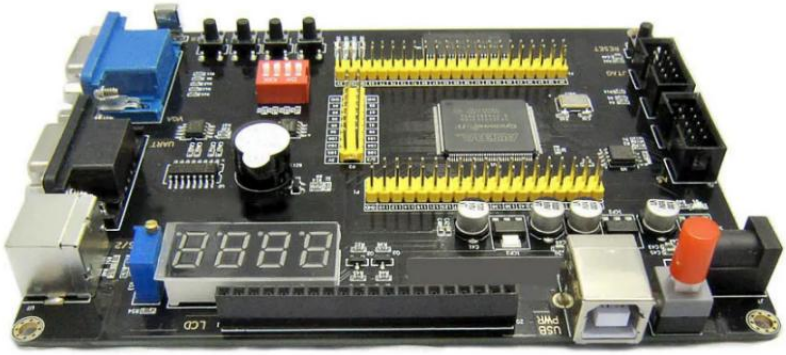


Şəkil 1. FPGA əsaslı CPS sistemində məlumatların toplanması və emal arxitekturası

Şəkil 1-də təqdim olunan arxitekturaya əsasən sistemin işi sensor səviyyəsindən başlayır. Məlumat əvvəlcə FPGA vasitəsi emal olunur. Daha sonra bulud analitikası və avtomatlaşdırılmış idarəetmə mərhələlərinə ötürülür. FPGA modulunda yalnız ilkin emal aparılmır, eyni zamanda Ethernet (və ya UART) əsaslı kommunikasiya interfeysi vasitəsilə məlumatların server və bulud mühitinə göndərilməsi həyata keçirilir. Təklif olunan sistemin ümumi strukturu aşağıdakı kimidir:

Sensorlar → FPGA → Süzgəcləmə → Hadisələrin aşkarlanması → Məlumatların sıxlaşdırılması → Rabitə → Bulud analitikası → İdarəetmə sistemi.

Təklif olunan FPGA əsaslı sistemin layihələndirilməsi Cyclone IV (EP4CE6E22C8N) FPGA inkişaf lövhəsi [6] əsasında həyata keçirilmişdir (Şəkil 2).



Şəkil 2. Təklif olunan sistemin realizasiyasında istifadə olunan Cyclone IV (EP4CE6E22C8N) FPGA inkişaf lövhəsi

5.3 FPGA-də həyata keçirilən alqoritmlər və proqram təminatı

Təklif olunan arxitekturada FPGA yalnız məlumatların ötürülməsi üçün istifadə olunan komponent kimi deyil, həm də kənar səviyyədə (edge level) ilkin analitik emal funksiyalarını yerinə yetirən hesablama platforması kimi çıxış edir. FPGA üzərində aparılan bu emal mərhələsi sistemin ümumi performansına təsir edir və gecikmələrin azalmasına kömək edir.

FPGA platformasında aşağıdakı əsas funksional modulların işlənməsi həyata keçirilir:

5.3.1. Filtrləmə modulu (Filtering Module)

Bu modul sensorlardan daxil olan siqnallardakı səs-küyü azaltmaq və məlumat keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün istifadə olunur. Praktik tətbiqlərdə aşağıdakı alqoritmlərdən istifadə etmək mümkündür:

- Hərəkətli orta filtr (Moving Average Filter)
- Aşağı tezlikli filtr (Low-pass filter)

Bu alqoritmlər FPGA-nın paralel emal imkanları hesabına real vaxt rejimində sürətli şəkildə işləyə bilir.

5.3.2. Hadisə aşkarlama modulu (Event Detection Module)

Bu modul yalnız vacib dəyişiklikləri aşkar edir və məlumat ötürülməsini optimallaşdırmağa kömək edir. Əsas yanaşmalar:

- Həddə əsaslı analiz (Threshold-based detection);
- Dəyişikliklərin izlənməsi (Change detection).

Bu yanaşma nəticəsində sistem yalnız zəruri hallarda məlumat ötürür və şəbəkə yükü azalır.

5.3.3. Sıxlaşdırma və aqreqasiya modulu (Data Compression və Aggregation)

Məlumat ötürülməzdən əvvəl onun həcmini azaltmaq üçün istifadə olunur:

- Itkisiz sıxılma üsulları (Lossless compression);
- Sensor məlumatlarının birləşdirilməsi (Data aggregation).

Bu modul kommunikasiya xərclərini azaldır və bant genişliyindən daha səmərəli istifadə etməyə imkan verir.

5.3.4. Kommunikasiya modulu (Communication Interface Module)

FPGA ilə digər sistem komponentləri arasında məlumat mübadiləsini təmin edir:

- UART
- Ethernet
- SPI / I2C (zərurət olduqda)

Bu interfeyslər vasitəsilə FPGA-dan bulud və ya server sistemlərinə məlumat ötürülür, həmçinin idarəetmə siqnalları qəbul edilir.

5.3.5. FPGA proqram təminatı və realizasiya.

Təklif olunan modullar FPGA üzərində aşağı səviyyəli təsvir dilləri vasitəsilə reallaşdırıla bilər:

- **Verilog HDL**
- **VHDL**

Hər modul ayrıca blok kimi layihələndirilir və paralel işləmə prinsipi ilə birləşdirilir. Bu yanaşma aşağı gecikmə və stabil (deterministik) işləmə təmin edir.

FPGA daxilində modulların işləmə ardıcıllığı aşağıdakı kimidir:

Sensor Data → Filtering → Event Detection → Compression → Communication
Bu pipeline strukturu məlumatların fasiləsiz və yüksək sürətlə emal olunmasına şərait yaradır.

5.3.6. Üstünlüklər

FPGA-də həyata keçirilən bu yanaşma aşağıdakı üstünlükləri təmin edir:

- real-time (real vaxt) emal
- aşağı gecikmə (low latency)
- yüksək paralellik
- enerji effektivliyi
- şəbəkə yükünün azaldılması

5.4 FPGA modullarının Verilog ilə nümunə realizasiyası

Təklif olunan FPGA əsaslı arxitekturanın praktik reallaşdırılması üçün filtrləmə, hadisə aşkarlama və kommunikasiya modulları Verilog HDL [7] vasitəsilə təsvir oluna bilər. Təklif olunan kənar emal (edge processing) arxitekturasının sadələşdirilmiş Verilog realizasiyasında aşağıdakı modullar əsas rol oynayır:

• Moving Average Filter modulu (səs-küyün azaldılması üçün)
• Threshold əsaslı Event Detection modulu (həddaşdıqda hadisəni aşkarlayır)
• Data Selection modulu (yalnız hadisə olduqda məlumatı ötürür)
• Top-level inteqrasiya modulu (bütün mərhələləri birləşdirir)

Bu modullar birlikdə işləyərək sadə, lakin effektiv FPGA arxitekturasını formalaşdırır Bu yanaşmada sensor siqnalları əvvəlcə “moving average” süzgəci vasitəsilə emal olunur, daha sonra “threshold” əsaslı hadisə aşkarlama modulu ilə təhlil edilir. Hadisə baş verdikdə, məlumat seçilərək sonrakı kommunikasiya və analitika mərhələsinə ötürülür. Bu yanaşma FPGA-nın paralel emal imkanlarından istifadə etməklə aşağı gecikməli və real vaxt rejimində işləyən kənar emal (edge processing) platformasının qurulmasına imkan verir.

Nümunə olaraq, hadisə aşkarlama modulunun (Event Detection) Verilog HDL ilə sadələşdirilmiş realizasiya nümunəsi aşağıda təqdim olunur.

```
module event_detector (
 input wire clk,
 input wire rst,
 input wire [11:0] data_in,
 input wire [11:0] threshold,
 output reg event_flag
);
 reg prev_state;
 always @(posedge clk or posedge rst) begin
 if (rst) begin
 event_flag <= 1'b0;
 prev_state <= 1'b0;
 end else begin
 // cari vəziyyət
 if (data_in > threshold) begin
 // yalnız keçid zamanı aktiv olur
 if (!prev_state)
 event_flag <= 1'b1;
 else
 event_flag <= 1'b0;
 prev_state <= 1'b1;
 end else begin
 event_flag <= 1'b0;
 prev_state <= 1'b0;
 end
 end
 end
endmodule
```

6. FPGA + Data Analytics inteqrasiyası

6.1 Edge Processing (FPGA)
FPGA daxilində:
- filtrasiya
- hadisə aşkarlanması
- ilkin analitika

6.2 Bulud analitikası (Cloud Analytics)
- Machine Learning
- Trend analizi (Trend analysis)
- Proqnoz əsaslı texniki xidmət (Predictive maintenance).

6.3 Hybrid Model.
Edge (FPGA) + Cloud Analytics
Bu model gecikməni azaldır və şəbəkə yükünü minimum edir.

6.4 Data Analytics modelləri və alqoritmləri
Təklif olunan arxitekturada FPGA üzərində həyata keçirilən ilkin emaldan sonra məlumatlar daha dərin analiz üçün bulud mühitinə ötürülür. Bu mərhələdə Data Analytics komponenti sistemin intellektual qərarvermə qabiliyyətini təmin edir.
Data Analytics mərhələsində aşağıdakı əsas yanaşmalar tətbiq oluna bilər:

6.4.1. Statistik analiz
- Trend analizi
- Moving average və variance analizi
- Anomaliyaların statistik aşkarlanması

Bu üsullar sistemdə baş verən dəyişiklikləri erkən mərhələdə müəyyən etməyə imkan verir.

6.4.2. Machine Learning əsaslı analiz.
Bulud mühitində aşağıdakı modellər tətbiq oluna bilər:
- **Regression modelləri** – sensor dəyərlərinin proqnozlaşdırılması
- **Classification modelləri** – normal və nasaz vəziyyətlərin ayırd edilməsi
- **Anomaly detection modelləri** – gözlənilməz davranışların aşkarlanması

Məsələn:
- ESP sistemində təzyiq və temperatur dəyişikliklərinə əsasən nasazlıq proqnozu
- Vibrasiya analizinə əsasən mexaniki problemlərin aşkarlanması

6.4.3. Proqnoz əsaslı texniki xidmət (Predictive Maintenance)
Toplanan məlumatların analizi əsasında:
- avadanlığın gələcək vəziyyəti proqnozlaşdırılır
- nasazlıqlar əvvəlcədən müəyyən edilir

Bu yanaşma:
- boş dayanma müddətini (downtime) azaldır;
- texniki xidmət xərclərini optimallaşdırır.

6.4.4. Məlumata əsaslanan qərarvermə (Data-driven)
Analitika nəticələri avtomatlaşdırma sisteminə ötürülərək qərarların qəbulunu təmin edir.

7. Avtomatlaşdırma və idarəetmə
Avtomatlaşdırma sistemi aşağıdakı mərhələlərdən ibarətdir:
1. Məlumatın toplanması
2. Analiz
3. Qərarvermə
4. İcra (actuation)

Misal:
Əgər təzyiq > limit → nasosı dayandır.
Əgər temperatur yüksəlirsə → soyutmanı aktivləşdir.
Bu yanaşma qapalı idarəetmə dövrəsinə (**Closed-loop)** malik CPS sistemi formalaşdırır.
Qərarvermə modulu əsasında formalaşan idarəetmə siqnalları sistemin icraedici elementlərinə (actuators) ötürülür.

7.1 Avtomatlaşdırma alqoritmləri və idarəetmə mexanizmi.
Təklif olunan CPS arxitekturasında avtomatlaşdırma sistemi Data Analytics nəticələrinə əsaslanaraq real vaxt rejimində idarəetmə qərarları qəbul edir.
Avtomatlaşdırma prosesi aşağıdakı mərhələlərdən ibarətdir:

7.1.1. Qərarvermə alqoritmi

Analitik nəticələrə əsasən:

- threshold-based control
- rule-based logic
- ML-based decision making

7.1.2. İdarəetmə strategiyaları

a) Rule-based control

Sadə qaydalar:

- Əgər temperatur > limit → soyutma aktivləşdir
- Əgər təzyiq yüksəkdirsə → nasos dayandır

b) Feedback control (Closed-loop)

Sistem öz çıxışını yenidən ölçərək qərar verir:

Sensor → Analysis → Decision → Actuator → Sensor

Bu yanaşma:

- stabil işləmə təmin edir
- səhvləri minimuma endirir

c) Adaptive control

Sistem öz parametrlərini dəyişə bilir:

- dəyişən mühitə uyğunlaşır
- daha ağıllı idarəetmə təmin edir

7.1.3. Aktuatorların idarə olunması

Qərarvermə modulu aşağıdakı elementləri idarə edir:

- nasoslar
- klapanlar
- motorlar

8. Müqayisəli təhlil aşağıdakı cədvəldə verilmişdir:

Parametr	**Ənənəvi**	**FPGA əsaslı**	**FPGA + Analytics**
Gecikmə	yüksək	aşağı	çox aşağı
Enerji sərfi	orta	aşağı	aşağı
Real-time	zəif	yaxşı	çox yaxşı
Şəbəkə yükü	yüksək	aşağı	minimum
Avtomatlaşdırma	məhdud	orta	yüksək

9. Tətbiq sahəsi (Use Case)

Neft-qaz sənayesi (ESP sistemləri)

- Sensorlar: təzyiq, temperature;
- FPGA: real-zamanda süzgəcləmə həyata keçirilir;
- Analytics: nasazlıq proqnozu;
- Idarəetmə (Control): nasos sürətinin tənzimlənməsi

Bu sistem:

- boş dayanma müddətini (downtime) azaldır;
- enerji effektivliyini artırır.

10. Təhlil və qiymətləndirmə

Bu işin əsas yeniliyi FPGA əsaslı kənar emal ilə məlumatların azaldılması və hadisə əsaslı ötürülmə mexanizmlərinin Data Analytics və avtomatlaşdırma ilə inteqrasiyasıdır.

FPGA əsaslı sistemlər:

- yüksək performans təmin edir;
- lakin dizayn mürəkkəbdir

Bulud analitikası (Cloud analytics):

- güclü analiz imkanı verir;
- lakin gecikmə yaradır.

Ən optimal həll: **Hybrid FPGA + Bulud modeli**

11. Nəticə.

Bu məqalədə paylanmış kiberfiziki sistemlərdə məlumat toplama üsullarının və alqoritmlərinın müqayisəli təhlili nəticəsində FPGA əsaslı yanaşmanın effektiv həll olması əsaslandırıldı və müvafiq layihə həlli

təqdim olundu. FPGA əsaslı kənar emal (Edge Computing) Verilog HDL dilində reallaşdırılmış, ModelSim-də simulyasiya edilmiş və Quartus® Prime Design Suite Standard Edition 25.1std mühitində sazlanmışdır.

Əldə edilən nəticələr göstərir ki:

- FPGA real-time sistemlər üçün idealdır həlldir;
- Data Analytics ilə inteqrasiya sistemin effektivliyini artırır;
- Avtomatlaşdırma CPS sistemlərini daha "ağıllı" edir.

Nəticədə təklif olunan FPGA əsaslı kənar emal yanaşması sensor məlumatlarının real vaxt rejimində süzgəclənmə, hadisə əsaslı seçim və sıxlaşdırılma vasitəsilə şəbəkə yükünü azaltmağa və sistemin cavabvermə sürətini artırmağa imkan verir. FPGA ilə Data Analytics və avtomatlaşdırmanın inteqrasiyası paylanmış kiberfiziki sistemlərdə daha effektiv və ağıllı idarəetmə mexanizmlərinin qurulmasına şərait yaradır.

Təklif olunan yanaşma gələcək tədqiqatlar üçün perspektivli istiqamət yaradır.

ƏDƏBIYYAT

[49] E. A. Lee, "Cyber-Physical Systems: Design Challenges," in Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), Orlando, FL, USA, 2008, pp. 363–369. doi: 10.1109/ISORC.2008.25

[50] K+ R. Rajkumar, I. Lee, L. Sha, and J. Stankovic, "Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution," in Proceedings of the 47th Design Automation Conference (DAC), Anaheim, CA, USA, 2010, pp. 731–736. doi:10.1145/1837274.1837461

[51] W. M. Taha, A.-E. M. Taha, and J. Thunberg, "Cyber-Physical Systems: A Model-Based Approach", Springer, 2021.

[52] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions," Future Generation Computer Systems, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013. doi: 10.1016/j.future.2013.01.010

[53] A. Vodyaho, S. Abbas, N. Zhukova, and M. Chervoncev, "Model-Based Approach to Cyber–Physical Systems Status Monitoring," Computers, vol. 9, no. 2, p. 47, 2020. doi: 10.3390/computers9020047

[54] Intel Corporation, "Cyclone IV Device Handbook, Volume 1: FPGA Device Family Overview," Version 2.0, Mar. 2016. [Online]. Available: https://docs.altera.com/v/u/docs/653974/cyclone-iv-device-handbook

[55] R. Johnson, "Verilog for Digital Design and Simulation: Definitive Reference for Developers and Engineers", HiTeX Press, 2025.

RƏQƏMSAL TEXNOLOGİYADA İNFORMASİYA TEXNOLOGİYALARININ ROLU

Günay Həsənova
Azərbaycan Texniki Universiteti
Maşınqayırma və metallurgiya / Maşınqayırma texnologiyası
ghasanova1@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Müasir dövrdə rəqəmsal texnologiyalar cəmiyyətin inkişafına birbaşa təsir göstərən əsas amillərdən birinə çevrilmişdir. Bu inkişaf prosesində informasiya texnologiyaları xüsusi əhəmiyyət daşıyır. İnformasiya texnologiyaları məlumatların toplanması, saxlanılması, emalı, ötürülməsi və mühafizəsini təmin etməklə rəqəmsal sistemlərin əsasını təşkil edir. Məqalədə rəqəmsal texnologiyalarda informasiya texnologiyalarının rolu, onların müxtəlif sahələrdə tətbiqi, yaratdığı üstünlüklər və qarşıya çıxan problemlər təhlil olunur. Təhsil, səhiyyə, biznes, dövlət idarəçiliyi və gündəlik həyat sahələrində informasiya texnologiyalarının istifadəsi rəqəmsal transformasiyanın sürətlənməsinə səbəb olur. Eyni zamanda kibertəhlükəsizlik, rəqəmsal savadlılıq və texnologiyadan düzgün istifadə kimi məsələlər də

aktuallıq kəsb edir. Tədqiqatın nəticəsi göstərir ki, informasiya texnologiyaları yalnız texniki vasitə deyil, həm də müasir cəmiyyətin inkişafını təmin edən strateji resursdur.
Açar sözlər: rəqəmsal texnologiya, informasiya texnologiyaları, rəqəmsallaşma, innovasiya, rəqəmsal transformasiya

THE ROLE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN DIGITAL TECHNOLOGY

Gunay Hasanova
Azerbaijan Technical University
Mechanical engineering and metallurgy / Mechanical engineering technology
ghasanova1@beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

In the modern era, digital technologies have become one of the main factors directly influencing the development of society. In this process, information technologies are of particular importance. By enabling the collection, storage, processing, transmission, and protection of data, information technologies form the foundation of digital systems. This article examines the role of information technologies in digital technology, their application in various fields, the advantages they provide, and the challenges they present. The use of information technologies in education, healthcare, business, public administration, and everyday life accelerates the process of digital transformation. At the same time, issues such as cybersecurity, digital literacy, and the proper use of technology have become increasingly important. The results of the study show that information technologies are not only technical tools, but also strategic resources that support the development of modern society.
Keywords: digital technology, information technologies, digitalization, innovation, digital transformation

Giriş

XXI əsr informasiya və texnologiya əsri kimi xarakterizə olunur. Bu dövrdə baş verən yeniliklər insanların gündəlik həyatına, təhsilinə, iş mühitinə, iqtisadi fəaliyyətinə və idarəetməyə ciddi təsir göstərmişdir. Ənənəvi üsullarla həyata keçirilən bir çox proses artıq rəqəmsal texnologiyalar vasitəsilə daha sürətli və daha rahat şəkildə yerinə yetirilir. Bu dəyişikliklər isə informasiya texnologiyalarının inkişafı ilə birbaşa bağlıdır. Müasir cəmiyyətin şəbəkə əsasında formalaşması və informasiyanın strateji resursa çevrilməsi bu prosesi daha da sürətləndirmişdir (Castells, 2010).

İnformasiya texnologiyaları müasir rəqəmsal dünyanın əsas dayaqlarından biridir. Kompüterlər, proqram təminatı, şəbəkə sistemləri, internet, verilənlər bazaları və bulud texnologiyaları bu sahənin əsas elementlərini təşkil edir. Bu texnologiyalar vasitəsilə böyük həcmdə məlumatın idarə olunması mümkün olur və müxtəlif sistemlər arasında əlaqə daha səmərəli qurulur. Rəqəmsal texnologiyalar yalnız texniki yenilik deyil, eyni zamanda sosial və iqtisadi inkişaf vasitəsidir. Bu səbəbdən informasiya texnologiyalarının rəqəmsal texnologiyadakı yerini və rolunu öyrənmək aktual məsələ hesab olunur.

İnformasiya texnologiyalarının mahiyyəti

İnformasiya texnologiyaları dedikdə informasiyanın əldə edilməsi, emalı, saxlanılması, ötürülməsi və istifadəsi üçün tətbiq olunan texniki və proqram vasitələrinin məcmusu nəzərdə tutulur. Bu texnologiyalar müxtəlif qurğuların və proqramların qarşılıqlı əlaqəsi əsasında fəaliyyət göstərir. Onların əsas məqsədi informasiyanın düzgün, çevik və təhlükəsiz şəkildə idarə olunmasını təmin etməkdir.

Müasir dövrdə informasiya texnologiyaları sadəcə kompüterlərlə məhdudlaşmır. Bu anlayışa mobil texnologiyalar, süni intellekt, böyük verilənlər, bulud sistemləri, onlayn platformalar və avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri də daxildir. İnformasiya sistemləri müasir təşkilatlarda qərarvermə, nəzarət, planlaşdırma və koordinasiya proseslərində mühüm rol oynayır (Laudon & Laudon, 2021).

Rəqəmsal texnologiyalarda informasiya texnologiyalarının rolu

Rəqəmsal texnologiyaların əsasında informasiya ilə işləmə dayanır. Hər hansı rəqəmsal sistemin fəaliyyəti məlumatın daxil edilməsi, işlənməsi və nəticənin təqdim olunması prinsipi ilə qurulur. Bu proseslərin həyata keçirilməsi isə informasiya texnologiyalarının köməyi ilə mümkün olur. Başqa sözlə, rəqəmsal texnologiyalar inkişaf etdikcə informasiya texnologiyalarına olan ehtiyac da artır.

İnformasiya texnologiyalarının rəqəmsal texnologiyalarda ən vacib rolu məlumat axınının düzgün təşkil edilməsidir. Müasir dünyada informasiya çox sürətlə artır və bu informasiyanın idarə olunması xüsusi sistemlər tələb edir. İnformasiya texnologiyaları böyük verilənlər bazalarının yaradılmasına, məlumatların axtarışına, təhlilinə və saxlanılmasına imkan verir. Bu isə müəssisə və təşkilatlarda qərarvermə prosesini asanlaşdırır.

Bundan əlavə, informasiya texnologiyaları avtomatlaşdırmanı təmin edir. Əvvəllər insan əməyinə əsaslanan bir çox proses hazırda rəqəmsal platformalar vasitəsilə həyata keçirilir. Məsələn, sənəd dövriyyəsi, müraciətlərin qəbulu, ödəniş sistemləri, qeydiyyat prosedurları və hesabatların hazırlanması artıq elektron formada icra olunur. Bu da vaxta qənaət etməyə, səhvləri azaltmağa və işin keyfiyyətini artırmağa kömək edir.

İnformasiya texnologiyalarının digər mühüm funksiyası kommunikasiya imkanlarının genişləndirilməsidir. İnternet və şəbəkə texnologiyaları sayəsində dünyanın müxtəlif nöqtələrində olan insanlar və qurumlar real vaxt rejimində əlaqə saxlaya bilirlər. Bu, xüsusilə qlobal iqtisadiyyat, beynəlxalq təhsil və rəqəmsal xidmətlər sahəsində əhəmiyyətlidir.

Təhsil sahəsində rolu

Təhsil sahəsi informasiya texnologiyalarının ən geniş tətbiq olunduğu istiqamətlərdən biridir. Elektron təhsil platformaları, virtual siniflər, videodərslər, rəqəmsal kitabxanalar və onlayn qiymətləndirmə sistemləri bu sahədə mühüm yeniliklər yaratmışdır. İnformasiya texnologiyaları sayəsində tələbə və müəllimlər istənilən məkandan tədris prosesinə qoşula bilir, məlumat mübadiləsini daha sürətli həyata keçirirlər.

Xüsusilə distant təhsil modelinin geniş yayılmasında informasiya texnologiyalarının rolu böyük olmuşdur. Elektron resurslardan istifadə tədris materiallarının daha əlçatan olmasına şərait yaradır. Bununla yanaşı, rəqəmsal texnologiyalar tələbələrin müstəqil araşdırma aparmaq, təqdimat hazırlamaq və onlayn mənbələrdən istifadə etmək bacarıqlarını da inkişaf etdirir.

Səhiyyə sahəsində rolu

Səhiyyədə informasiya texnologiyalarının tətbiqi xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə səbəb olur. Elektron tibbi kartlar, onlayn qeydiyyat sistemləri, laborator nəticələrin rəqəmsal təqdimatı və telemedicina imkanları həm xəstələr, həm də tibb işçiləri üçün mühüm üstünlüklər yaradır. Xəstə haqqında məlumatın operativ əldə olunması diaqnoz və müalicə prosesini daha səmərəli edir.

Rəqəmsal texnologiyalar səhiyyədə məlumatların dəqiq saxlanılmasına və analiz edilməsinə də kömək edir. Bu isə səhiyyə idarəçiliyində qərarların daha düzgün verilməsinə şərait yaradır. Müasir dövrdə süni intellekt əsaslı tibbi proqramlar da məhz informasiya texnologiyalarının inkişafı nəticəsində formalaşmışdır.

Biznes və iqtisadiyyatda rolu

Müasir biznes mühiti informasiya texnologiyalarından geniş şəkildə istifadə edir. Müəssisələr rəqəmsal texnologiyalar vasitəsilə müştəri məlumatlarını idarə edir, maliyyə əməliyyatlarını aparır, məhsul və xidmətlərin reklamını təşkil edir və bazar analizləri həyata keçirirlər. Elektron ticarətin inkişafı da informasiya texnologiyalarının biznes üçün nə qədər vacib olduğunu göstərir.

İnformasiya texnologiyaları biznesdə operativliyi artırır, xərcləri azaldır və rəqabət üstünlüyü yaradır. Müştəri ilə əlaqələrin idarə olunması, onlayn satış sistemləri, rəqəmsal marketinq və avtomatlaşdırılmış xidmətlər müasir iqtisadiyyatın əsas elementlərindən birinə çevrilmişdir. İnformasiya texnologiyalarının təşkilatların performansına, proseslərin optimallaşdırılmasına və rəqəmsal transformasiyaya təsiri geniş şəkildə vurğulanır (Turban et al., 2021).

Nəqliyyat və logistika sahəsində informasiya texnologiyalarının tətbiqi

Nəqliyyat və logistika sahəsində informasiya texnologiyalarının tətbiqi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Müasir rəqəmsal platformalar vasitəsilə avtomobillərin cari vəziyyətinin onlayn rejimdə izlənilməsi, nəqliyyat vasitələrinin keçmiş hərəkət trayektoriyasının təhlili, habelə hesabat və qrafiklər əsasında əldə olunan məlumatların sistemli şəkildə analiz edilməsi mümkün olur. Bununla yanaşı, geoobyektlərin, xəbərdarlıqların, marşrutların və sürücülərlə bağlı məlumatların yaradılması, redaktə olunması və idarə edilməsi nəqliyyat proseslərinin daha çevik və səmərəli təşkilinə imkan verir. Bu texnoloji imkanlar operativ nəzarətin gücləndirilməsinə, marşrutların optimallaşdırılmasına, vaxt və resurs itkilərinin minimuma endirilməsinə şərait yaradır. Eyni zamanda, toplanmış məlumatların təhlili əsasında qəbul edilən idarəetmə qərarlarının daha əsaslandırılmış və məqsədyönlü olması təmin edilir. Nəticə etibarilə, informasiya texnologiyalarının nəqliyyat sektorunda tətbiqi xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə, təhlükəsizliyin artırılmasına və ümumi idarəetmə səmərəliliyinin gücləndirilməsinə əhəmiyyətli təsir göstərir.

Dövlət idarəçiliyində rolu

Dövlət qurumlarında informasiya texnologiyalarının tətbiqi vətəndaşlara xidmətin keyfiyyətini yüksəldir. Elektron hökumət sistemləri, onlayn arayışlar, rəqəmsal sənəd dövriyyəsi və elektron müraciət platformaları həm şəffaflığı artırır, həm də vətəndaşların vaxt itkisini azaldır. Bu sahədə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi idarəetmənin daha çevik və effektiv təşkilinə imkan verir.

İnformasiya texnologiyaları dövlət və vətəndaş arasında əlaqəni sadələşdirir. Ənənəvi üsullarla saatlarla davam edən prosedurlar elektron sistemlər vasitəsilə bir neçə dəqiqə ərzində həll olunur. Bu da dövlət xidmətlərinin müasir tələblərə uyğun şəkildə formalaşmasına kömək edir.

İnformasiya texnologiyalarının üstünlükləri

İnformasiya texnologiyalarının rəqəmsal texnologiyalardakı rolunu daha aydın göstərən əsas cəhətlər onların yaratdığı üstünlüklərlə bağlıdır. İlk növbədə operativlik qeyd edilməlidir. Məlumatın sürətli emalı və ötürülməsi qərarvermə prosesini xeyli sürətləndirir. İkinci mühüm üstünlük dəqiqlikdir. Rəqəmsal sistemlər insan səhvlərini minimuma endirir və məlumatların daha düzgün saxlanılmasını təmin edir.

Digər üstünlüklərdən biri əlçatanlıqdır. İnternet və mobil texnologiyalar vasitəsilə informasiyaya istənilən vaxt və istənilən yerdən çıxış əldə etmək mümkündür. Eyni zamanda informasiya texnologiyaları innovasiyalara yol açır. Süni intellekt, maşın öyrənməsi, bulud hesablamaları və böyük verilənlər kimi anlayışlar müasir rəqəmsal inkişafın əsas istiqamətləri hesab olunur.

Azərbaycanda da rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi və rəqəmsal transformasiya istiqamətində mühüm addımlar atılır. Bu proses müxtəlif sahələrdə, o cümlədən iqtisadiyyat və sənaye istiqamətlərində özünü göstərir (Aliyev, 2022; Imamverdiyev, 2021).

Qarşıda duran problemlər

İnformasiya texnologiyalarının geniş yayılması ilə yanaşı, bəzi problemlər də meydana çıxır. Onlardan ən əsası kibertəhlükəsizlik məsələsidir. Rəqəmsal sistemlərdə saxlanılan məlumatların məxfiliyinin qorunması olduqca vacibdir. Şəxsi məlumatların oğurlanması, sistemlərə icazəsiz müdaxilə və kiberhücumlar bu sahədə əsas risklər hesab olunur.

Digər problem rəqəmsal savadlılıqla bağlıdır. Hər bir insan informasiya texnologiyalarından eyni səviyyədə istifadə edə bilmir. Bu da rəqəmsal bərabərsizlik yaradır. Texnologiyanın imkanlarından tam istifadə etmək üçün istifadəçilərin rəqəmsal bacarıqları inkişaf etdirilməlidir.

Bununla yanaşı, bəzi hallarda texnologiyadan həddindən artıq asılılıq da müşahidə olunur. İnsanların bir çox sahədə rəqəmsal sistemlərə tam etibar etməsi müəyyən risklər yarada bilər. Buna görə informasiya texnologiyalarının tətbiqində təhlükəsizlik, etik qaydalar və düzgün istifadə prinsipləri nəzərə alınmalıdır.

Nəticə

Nəticə olaraq demək olar ki, informasiya texnologiyaları rəqəmsal texnologiyaların formalaşmasında və inkişafında əsas rol oynayır. Onlar məlumatların toplanması, emalı, saxlanılması və ötürülməsi proseslərini səmərəli şəkildə təşkil etməklə müxtəlif sahələrdə idarəetmənin keyfiyyətini yüksəldir, iş proseslərini optimallaşdırır və innovativ inkişaf üçün geniş imkanlar yaradır. Təhsil, səhiyyə, biznes, nəqliyyat-logistika və dövlət idarəçiliyi sahələrində informasiya texnologiyalarının tətbiqi rəqəmsallaşma prosesini sürətləndirərək xidmətlərin daha çevik, əlçatan və effektiv şəkildə təşkilinə şərait yaradır. Xüsusilə nəqliyyat və logistika sahəsində rəqəmsal həllərin tətbiqi operativ nəzarətin gücləndirilməsinə, marşrutların daha səmərəli planlaşdırılmasına və resurslardan rasional istifadəyə imkan verir. Bu isə ümumilikdə həm idarəetmə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsinə, həm də xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə mühüm təsir göstərir.

Demək olar ki, informasiya texnologiyalarının geniş tətbiqi ilə bağlı kibertəhlükəsizlik, rəqəmsal savadlılıq, məlumatların məxfiliyi və texnologiyadan düzgün istifadə kimi məsələlər də xüsusi diqqət tələb edir. Müasir dövrdə rəqəmsal transformasiyanın davamlı və təhlükəsiz şəkildə həyata keçirilməsi üçün yalnız texnoloji imkanların genişlənməsi deyil, həm də insan resurslarının bu prosesə uyğun hazırlanması vacibdir. Eyni zamanda, rəqəmsal mühitdə etik davranış qaydalarının və informasiya təhlükəsizliyi prinsiplərinin qorunması da mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Gələcəkdə informasiya texnologiyalarının daha da inkişaf etməsi rəqəmsal cəmiyyətin güclənməsinə, idarəetmənin təkmilləşməsinə və müxtəlif sahələrdə innovativ həllərin tətbiq dairəsinin genişlənməsinə əlverişli şərait yaradacaqdır. Bu baxımdan informasiya texnologiyalarının rolu təkcə texniki xarakter daşımır, eyni zamanda sosial, iqtisadi və strateji inkişafın əsas istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir.

Ədəbiyyat

1. Castells, M. (2010). *The rise of the network society: The information age: Economy, society, and culture* (2nd ed.). Wiley.
2. Aliyev, A. G. (2022). Problems of application of digital technologies in the territories of Azerbaijan liberated from the Armenian occupation. *Problems of Information Society, 13*(1), 27–34. https://doi.org/10.25045/jpis.v13.i1.04
3. Imamverdiyev, Y. N. (2021). Oil and Gas 4.0: Existing solutions, prospects and challenges. *Problems of Information Society, 12*(1), 32–42. https://doi.org/10.25045/jpis.v12.i1.03
4. Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2021). *Management information systems: Managing the digital firm* (17th ed.). Pearson.
5. Turban, E., Pollard, C., & Wood, G. (2021). *Information technology for management: Driving digital transformation to increase local and global performance, growth and sustainability* (12th ed.). Wiley.

RƏQƏMSAL URBANIZASIYANIN PSIXOSOSIAL MEMARLIĞI: AĞILLI ŞƏHƏRLƏRDƏ TEXNOLOJI SƏMƏRƏLILIK VƏ İNSAN RIFAHI ARASINDAKI ZIDDIYYƏTLƏ

Pəri Məmmədli
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
İnformasiya Texnologiyaları
perimemmedli14@gmail.com
Bakı,Azərbaycan

Xülasə

Rəqəmsal urbanizasiya müasir şəhərsalma proseslərində texnoloji innovasiyaların inteqrasiyası vasitəsilə idarəetmə səmərəliliyini, resurs optimizasiyasını və ictimai xidmətlərin sürətini artırmaq məqsədi daşıyır. Lakin ağıllı şəhər konsepsiyasının tətbiqi zamanı texnoloji səmərəlilik ilə insan psixososial rifahı arasında fundamental gərginliklər yaranır. Bu məqalə rəqəmsal urbanizasiyanın psixososial memarlığını, yəni texnoloji infrastrukturun şəhər sakinlərinin emosional, kognitiv və sosial sağlamlığına təsir mexanizmlərini təhlil edir. Tədqiqat göstərir ki, alqoritmik idarəetmə, daimi izlənmə, rəqəmsal yorğunluq və ictimai fəzanın virtualizasiyası kimi amillər şəhər mühitində stress, təcrid hissi və kommunikasiya çatışmazlığı risklərini artırır. Eyni zamanda, texnoloji səmərəlilik insan mərkəzli dizayn, iştirakçı qərarvermə və etik məlumat idarəetməsi ilə uzlaşdırıldıqda rəqəmsal urbanizasiya psixososial dayanıqlılığı gücləndirə bilər. Məqalə, ağıllı şəhərlərin gələcək inkişafında texnoloji optimizasiya ilə insan rifahı arasında tarazlığı təmin edəcək çoxölçülü planlama prinsiplərini irəli sürür.

Açar sözlər: Rəqəmsal urbanizasiya, ağıllı şəhərlər, psixososial memarlıq, texnoloji səmərəlilik, insan rifahı, rəqəmsal rifah, şəhərsalma etikası.

Abstract

Digital urbanization aims to enhance management efficiency, resource optimization, and the speed of public services through the integration of technological innovations in modern urban planning processes. However, the implementation of smart city concepts creates fundamental tensions between technological efficiency and human psychosocial well-being. This article analyzes the psychosocial architecture of digital urbanization, specifically the mechanisms through which technological infrastructure affects the emotional, cognitive, and social health of urban residents. Research indicates that factors such as algorithmic management, constant surveillance, digital fatigue, and the virtualization of public spaces increase risks of stress, feelings of isolation, and communication deficiencies in urban environments. At the same time, when technological efficiency is aligned with human-centered design, participatory decision-making, and ethical data management, digital urbanization can strengthen psychosocial resilience. The article proposes multidimensional planning principles that will ensure balance between technological optimization and human well-being in the future development of smart cities.

Keywords: Digital urbanization, smart cities, psychosocial architecture, technological efficiency, human well-being, digital well-being, urban planning ethics.

Giriş

XXI əsrin şəhər mühiti yalnız fiziki infrastrukturla deyil, həm də rəqəmsal təbəqələrlə formalaşır. Sensor şəbəkələri, süni intellekt əsaslı idarəetmə sistemləri, böyük məlumat (big data) təhlili və IoT (Əşyaların İnterneti) texnologiyaları ağıllı şəhər konsepsiyasının əsasını təşkil edir. Bu texnologiyaların ilkin vəd edilən faydaları arasında nəqliyyat sıxlığının azaldılması, enerji səmərəliliyinin artırılması, təhlükəsizliyin gücləndirilməsi və ictimai xidmətlərin fərdiləşdirilməsi dayanır. Lakin rəqəmsal urbanizasiyanın sürətli tətbiqi şəhər mühitinin psixososial dinamikasını dəyişdirərək yeni ziddiyyətlər yaradır. Texnoloji səmərəlilik ilə insan rifahı arasındakı gərginlik, əsasən, şəhər planlamasının texnokratik yanaşmalarla insan mərkəzli dəyərlər arasında qeyri-tarazlıq yaratmasından qaynaqlanır. Bu məqalənin məqsədi ağıllı şəhərlərdə rəqəmsal infrastrukturun psixososial təsirlərini sistemli şəkildə təhlil etmək, mövcud ziddiyyətləri müəyyənləşdirmək və texnoloji səmərəliliklə insan rifahını uzlaşdıran planlama strategiyalarını təklif etməkdir.

Nəzəri Çərçivə: Psixososial Memarlıq və Rəqəmsal Şəhər Ekologiyası Psixososial memarlıq termini şəhər mühitinin insanın emosional, kognitiv və sosial ehtiyaclarını necə formalaşdırdığını, dəstəklədiyini və ya məhdudlaşdırdığını öyrənən sahəni ifadə edir. Ənənəvi şəhərsalma nəzəriyyələri (məsələn, Ceyn Ceykobsun "şəhər həyatının müxtəlifliyi" və Kevin Linçin "zehni xəritələr" yanaşması) fiziki məkanın

insan davranışına və rifahına təsirini vurğulayır. Rəqəmsal dövr isə bu təsirləri virtual-alqoritmik təbəqə ilə genişləndirir. Ağıllı şəhərlərdə "məkan" artıq yalnız coğrafi koordinat deyil, həm də məlumat axını, rəqəmsal kimlik və alqoritmik təsnifatlar şəbəkəsidir. Bu kontekstdə psixososial memarlıq, texnoloji infrastrukturun insanın diqqət resurslarına, sosial bağlara, muxtariyyət hissinə və məkan aidilik duyğusuna təsirini təhlil etməyi tələb edir. Rəqəmsal urbanizasiyanın kritik aspekti odur ki, texnoloji sistemlər "görünməz" olduqda, onların psixososial nəticələri də gizli qalır və yalnız uzunmüddətli stress, rəqəmsal yorğunluq və ya ictimai fəzada sosial soyuqluq kimi simptomlarla özünü göstərir.

Texnoloji Səmərəlilik və İnsan Rifahı Arasındakı Əsas Ziddiyyətlər Ağıllı şəhər sistemlərinin tətbiqi zamanı yaranan ziddiyyətləri dörd əsas istiqamətdə təsnif etmək mümkündür. Birincisi, **nəzarət və şəxsi həyatın toxunulmazlığı** arasındakı gərginlikdir. Təhlükəsizlik kameraları, üz tanıma sistemləri və mobil izləmə texnologiyaları cinayətin qarşısını almaq və təcili hallara sürətli reaksiya vermək baxımından səmərəli olsa da, daimi izlənmə hissi şəhər sakinlərində özünüməhdudlaşdırma, davranış konformizmi və psixoloji narahatlıq yaradır. İkincisi, **alqoritmik idarəetmə ilə insan muxtariyyəti** arasındakı toqquşmadır. Trafik işıqlarının, nəqliyyat marşrutlarının və ya ictimai xidmət bölgülərinin süni intellekt tərəfindən optimallaşdırılması resurs itkisini azaltsa da, qərarvermə prosesindən şəffaflığın və ictimai iştirakın çıxarılması vətəndaşları passiv istehlakçılara çevirir. Bu da şəhər həyatında aidilik hissini zəiflədir. Üçüncüsü, **rəqəmsal əlaqəlilik və sosial təcrid** paradoksudur. Smartfonlar, platforma iqtisadiyyatı və virtual ictimai fəzalar əlaqələri texniki olaraq asanlaşdırır, lakin tədqiqatlar göstərir ki, rəqəmsal vasitəçilikli ünsiyyət dərin empatiyanı, spontan küçə qarşılıqlı təsirlərini və yerli icma bağlarını zəiflədə bilər. Dördüncüsü, **məlumat optimizasiyası ilə emosional ehtiyaclar** arasındakı uyğunsuzluqdur. Alqoritmlər kəmiyyət göstəricilərinə (məsələn, sürət, enerji sərfiyyatı, xidmət müddəti) əsaslanır, lakin insan rifahı keyfiyyətli amillərdən (məsələn, estetik zövq, təhlükəsizlik hissi, sosial ədalət, məkanın mənəvi yükü) asılıdır. Bu iki məntiqin birləşdirilməməsi "texnoloji cəhətdən mükəmməl, lakin psixoloji cəhətdən soyuq" şəhər mühitləri yaradır.

Rəqəmsal Urbanizasiyanın Psixososial Təsirləri: Risklər və Potensial Rəqəmsal infrastrukturun psixososial təsirləri birdəfəlik deyil, kumulyativ və kontekstdən asılıdır. Risklər arasında rəqəmsal yorğunluq (information overload), diqqət parçalanması, rəqəmsal bərabərsizlik (texnologiyaya çıxışı olmayan qrupların xidmətlərdən kənarlaşması) və "alqoritmik determinizm" (insan seçimlərinin məhdudlaşdırılması) qeyd edilə bilər. Xüsusilə gənc nəsil və həssas qruplar üçün daimi rəqəmsal stimulasiya xroniki stress, yuxu pozuntuları və depressiya riskini artırır. Digər tərəfdən, düzgün tərtib edildikdə rəqəmsal urbanizasiya psixososial dayanıqlılığı da gücləndirə bilər. Məsələn, real vaxt rejimində hava keyfiyyəti monitorinqi, səs-küy azaldıcı ağıllı sistemlər, yaşlılar və əlillər üçün adaptiv naviqasiya, və icma təhlükəsizliyi platformaları sosial rifahı birbaşa dəstəkləyir. Əsas məsələ texnologiyanın "məqsəd" deyil, "vasitə" kimi qəbul edilməsi və onun insan mərkəzli dəyərlərə tabe etdirilməsidir.

Tarazlaşdırıcı Strategiyalar: İnsan Mərkəzli Rəqəmsal Şəhər Planlaması Texnoloji səmərəlilik və insan rifahı arasındakı ziddiyyətləri həll etmək üçün çoxsəviyyəli yanaşma tələb olunur. Birincisi, **Rəqəmsal Rifah Etkisi Qiymətləndirməsi (DRIA)** şəhər layihələrinin ilkin mərhələsində tətbiq edilməlidir. Bu, layihənin psixoloji stress, sosial bərabərlik və məkan aidiliyinə təsirini proqnozlaşdıran mexanizmdir. İkincisi, **iştirakçı alqoritmik idarəetmə** modelləri inkişaf etdirilməlidir. Vətəndaşlar məlumat toplanması, alqoritm təlimi və qərarvermə proseslərində şəffaf şəkildə iştirak etməlidir. Üçüncüsü, şəhər mühitində **rəqəmsal sükut zonaları** və texnologiyasız ictimai fəzalar yaradılmalıdır. Parklar, kitabxanalar, məhəllə meydanları kimi məkanlar daimi əlaqədən qurtulma, spontan sosiallaşma və diqqəti bərpa etmə imkanı verməlidir. Dördüncüsü, **etik məlumat idarəçiliyi** çərçivələri qəbul edilməlidir. Məlumat minimizasiyası, açıq mənbə alqoritmlər, istifadəçi razılığının dinamik idarə olunması və məlumat mülkiyyətinin vətəndaşa qaytarılması prinsipləri rəqəmsal şəhərlərdə hüquqi və psixoloji təhlükəsizliyi təmin edəcək. Nəhayət, **psixososial göstəricilər** şəhər səmərəliliyi hesablamalarına daxil edilməlidir. Yalnız iqtisadi və texniki KPI-lar deyil, həm də vətəndaş məmnuniyyəti, sosial kapital indeksi, rəqəmsal stress səviyyəsi və ictimai fəzada ünsiyyət keyfiyyəti kimi parametrlər monitorinq edilməlidir.

Nəticə Rəqəmsal urbanizasiya şəhərlərin gələcəyini formalaşdıran qaçılmaz prosesdir, lakin onun tətbiqi yalnız texniki optimizasiya ilə məhdudlaşmamalıdır. Ağıllı şəhərlərin həqiqi uğuru sensorların sayı və ya məlumatın sürəti ilə deyil, şəhər sakinlərinin psixososial rifahının səviyyəsi ilə ölçülməlidir. Texnoloji səmərəlilik və insan rifahı arasındakı ziddiyyətlər texnologiyanın özündən deyil, onun insan mərkəzli dəyərlərdən kənar tətbiqindən qaynaqlanır. Gələcək şəhərsalma strategiyaları alqoritmik idarəetməni şəffaflıqla, rəqəmsal infrastrukturu ictimai fəza etikasına, məlumat optimizasiyasını isə psixososial ehtiyaclara uyğunlaşdırmalıdır. Bu məqsədlə çarpaz intizimli tədqiqatlar, vətəndaş iştirakı mexanizmləri və

rəqəmsal rifah standartlarının inkişafı vacibdir. Yalnız bu yanaşma ilə ağıllı şəhərlər "texnoloji cəhətdən qabaqcıl" deyil, həm də "insani cəhətdən yaşayışlı" mühitlərə çevrilə bilər.

İstinadlar

1. Batty, M. (2018). *Inventive Cities: How Technology is Shaping the Future of Urban Life*. MIT Press.
2. Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1–14.
3. Hollands, R. G. (2015). Critical interventions into the corporate smart city. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 61–77.
4. Sennett, R. (1990). *The Conscience of the Eye: The Design and Social Life of Cities*. W. W. Norton & Company.
5. Zuboff, S. (2019). *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. PublicAffairs.
6. Townsend, A. M. (2013). *Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia*. W. W. Norton & Company.
7. European Commission. (2021). *Human-Centric Approach to Smart Cities: Guidelines for Digital Urban Transformation*. EU Urban Policy Report.
8. World Health Organization. (2022). *Digital Health and Urban Well-being: Psychosocial Impacts of Smart City Technologies*. WHO Technical Series.
9. Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*. Random House.
10. Floridi, L. (2020). The ethics of smart cities and digital urbanism. *Philosophy & Technology*, 33(2), 189–205.

KOMPÜTER ŞƏBƏKƏLƏRI ÜÇÜN HÜCUM QRAFLARI VƏ CVSS ƏSASLI RISK QIYMƏTLƏNDIRMƏ MODELI

Magistrant Səbinə Ayaz qızı ƏLİYEVA
Bakı Mühəndislik Universiteti
E-mail: seliyeva38@std.beu.edu.az
AZƏRBAYCAN

Xülasə

Bu məqalədə kompüter şəbəkələrində kibertəhlükəsizlik risklərinin qiymətləndirilməsi üçün **hücum qrafları (Attack Graph)** və **CVSS (Common Vulnerability Scoring System)** əsaslı inteqrə olunmuş bir model təklif olunur. Müasir şəbəkə mühitlərində zəifliklərin və mümkün hücum ssenarilərinin sayının artması risklərin ənənəvi, ayrı-ayrı metodlarla qiymətləndirilməsini qeyri-kafi edir. Təklif olunan modeldə hücum qrafları vasitəsilə şəbəkədə mümkün hücum yolları müəyyən edilir, CVSS skorları isə hər bir zəifliyin kəmiyyət baxımından risk səviyyəsini ifadə etmək üçün istifadə olunur. Məqalədə hücum qraflarının qurulması prosesi, CVSS metrikalarının risk hesablamasına inteqrasiyası və hücum yolları üzrə ümumi riskin qiymətləndirilməsi mexanizmi ardıcıl şəkildə təhlil edilir. Aparılan analiz nəticələri göstərir ki, Attack Graph və CVSS-in birgə istifadəsi risklərin daha obyektiv və real qiymətləndirilməsinə imkan yaradır, prioritet zəifliklərin və kritik hücum ssenarilərinin müəyyən edilməsini asanlaşdırır və şəbəkə təhlükəsizliyinin idarə edilməsində qərarvermə prosesini effektivləşdirir.

Açar sözlər: Hücum qrafı (Attack Graph), CVSS, risk qiymətləndirmə, kompüter şəbəkələri, kibertəhlükəsizlik, zəifliklərin analizi

AN ATTACK GRAPH AND CVSS-BASED RISK ASSESSMENT MODEL FOR COMPUTER NETWORKS

Summary

This article proposes an integrated risk assessment model for computer networks based on **Attack Graphs** and the **Common Vulnerability Scoring System (CVSS)**. In modern network environments, the increasing number of vulnerabilities and complex attack scenarios makes traditional, isolated risk

assessment approaches insufficient. In the proposed model, Attack Graphs are used to identify possible attack paths within the network, while CVSS scores provide quantitative measurements of vulnerability severity. The study analyzes the process of constructing attack graphs, integrating CVSS metrics into risk calculations, and evaluating overall risk across multiple attack paths. The results demonstrate that combining Attack Graphs with CVSS enables more accurate and realistic risk assessment, improves the prioritization of critical vulnerabilities and attack scenarios, and supports more effective decision-making in network security management.

Keywords
Attack Graph, CVSS, risk assessment, computer networks, cybersecurity, vulnerability analysis

Giriş

Rəqəmsallaşmanın sürətlənməsi, bulud texnologiyalarının geniş yayılması və paylanmış şəbəkə arxitekturalarının artması kompüter şəbəkələrinin təhlükəsizlik risklərini əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır. Müasir təşkilatlarda çoxsaylı informasiya aktivləri, xidmətlər və istifadəçi nöqtələri mövcuddur ki, bu da potensial hücum səthinin genişlənməsinə səbəb olur. Nəticədə, şəbəkə mühitlərində mövcud zəifliklərin vaxtında aşkarlanması və onların yaratdığı risklərin düzgün qiymətləndirilməsi kibertəhlükəsizliyin əsas problemlərindən birinə çevrilmişdir.

Ənənəvi risk qiymətləndirmə yanaşmaları çox zaman ayrı-ayrı zəifliklərin və ya aktivlərin analizinə əsaslanır və mürəkkəb hücum ssenarilərini tam şəkildə əks etdirmir. Bu yanaşmalar şəbəkə daxilində zəifliklər arasında mövcud olan əlaqələri və hücumçunun bu zəifliklərdən ardıcıl şəkildə istifadə edərək hansı yollarla hədəfə çata biləcəyini nəzərə almaqda məhdudiyyətlərə malikdir. Nəticədə risklərin real səviyyəsi düzgün müəyyən edilmir və təhlükəsizlik tədbirlərinin prioritetləşdirilməsində çətinliklər yaranır.

Bu kontekstdə **hücum qrafları (Attack Graph)** şəbəkə mühitində mümkün hücum yollarının modelləşdirilməsi üçün effektiv alət kimi çıxış edir. Hücum qrafları hücumçunun mövcud zəifliklərdən istifadə edərək hansı ardıcıl addımlarla kritik aktivlərə çata biləcəyini vizual və riyazi şəkildə təqdim edir. Digər tərəfdən, **CVSS (Common Vulnerability Scoring System)** zəifliklərin təhlükəlilik səviyyəsinin kəmiyyət baxımından qiymətləndirilməsi üçün geniş istifadə olunan standartdır. Lakin CVSS təkbaşına istifadə edildikdə zəifliklərin şəbəkə kontekstində yaratdığı ümumi riski tam əks etdirmir.

Bu məqalənin əsas məqsədi hücum qrafları və CVSS yanaşmalarını inteqrasiya edərək **kompüter şəbəkələri üçün daha obyektiv və real risk qiymətləndirmə modelinin** formalaşdırılmasıdır. Təklif olunan yanaşma şəbəkə daxilində mövcud olan zəifliklərin qarşılıqlı əlaqəsini, mümkün hücum yollarını və bu yollar üzrə risk səviyyələrini nəzərə alaraq təhlükəsizlik qərarlarının daha əsaslandırılmış şəkildə qəbul edilməsinə imkan yaradır.

Hücum qraflarına əsaslanan risk qiymətləndirmə yanaşması.Hücum qrafları şəbəkə mühitində mövcud olan sistemlər, zəifliklər və hücumçunun imkanları arasında əlaqələri qraf strukturu şəklində modelləşdirir. Qrafın düyünləri sistem vəziyyətlərini və ya zəifliklər, kənarları isə hücumçunun bir vəziyyətdən digərinə keçid imkanlarını ifadə edir. Bu yanaşma hücum ssenarilərinin ardıcıl şəkildə təhlil edilməsinə və potensial hücum yollarının müəyyən edilməsinə şərait yaradır.

Ənənəvi risk qiymətləndirmə metodlarında zəifliklər çox zaman müstəqil şəkildə analiz edilir. Lakin real hücum ssenarilərində hücumçular bir neçə zəiflikdən ardıcıl istifadə edərək daha yüksək təsirə malik hücumlar həyata keçirə bilirlər. Hücum qrafları bu problemi aradan qaldıraraq şəbəkədəki zəifliklərin birgə yaratdığı riski müəyyən etməyə imkan verir. Bununla belə, hücum qrafları özlüyündə zəifliklərin kəmiyyət risk qiymətini təqdim etmir və bu səbəbdən əlavə metrikaların inteqrasiyasına ehtiyac yaranır.

CVSS əsaslı zəifliklərin qiymətləndirilməsi.CVSS zəifliklərin təhlükəlilik səviyyəsini kəmiyyət göstəriciləri ilə ifadə edən beynəlxalq standartdır. CVSS metrikaları zəifliyin istismar mürəkkəbliyi, hücum vektoru, təsir səviyyəsi və digər texniki xüsusiyyətləri nəzərə alaraq 0-dan 10-a qədər skor formalaşdırır. Bu skor zəifliyin prioritetləşdirilməsi və aradan qaldırılması proseslərində geniş istifadə olunur.

Lakin CVSS skorları zəifləkləri kontekstdən asılı olmayaraq qiymətləndirir və onların konkret şəbəkə arxitekturasında yaratdığı ümumi risk səviyyəsini tam əks etdirmir. Məsələn, yüksək CVSS skoruna malik zəiflik kritik hücum yolunun üzərində yerləşmədikdə real risk səviyyəsi aşağı ola bilər. Bu səbəbdən CVSS skorlarının hücum qrafları ilə inteqrasiyası risklərin daha düzgün qiymətləndirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Təklif olunan Attack Graph və CVSS əsaslı risk qiymətləndirmə modeli.Təklif olunan model hücum qraflarının struktur üstünlüklərini CVSS-in kəmiyyət qiymətləndirmə imkanları ilə birləşdirir. Modelin ilkin mərhələsində şəbəkə mühiti analiz edilir və mövcud sistemlər, xidmətlər və zəifliklər

müəyyənləşdirilir. Daha sonra bu məlumatlar əsasında hücum qrafı qurulur və mümkün hücum yolları identifikasiya edilir.
Növbəti mərhələdə hər bir zəifliyə uyğun CVSS skorları təyin olunur və bu skorlar hücum qrafının düyünlərinə inteqrasiya edilir. Hücum yolları üzrə ümumi risk səviyyəsi zəifliklərin CVSS skorlarının və hücumun başvermə ehtimalının kombinasiyası əsasında hesablanır. Bu yanaşma kritik hücum ssenarilərinin və prioritet zəifliklərin müəyyən edilməsinə imkan yaradır.
Model nəticəsində əldə edilən risk qiymətləri təhlükəsizlik tədbirlərinin planlaşdırılmasında, resursların optimal bölüşdürülməsində və risklərin azaldılması strategiyalarının formalaşdırılmasında effektiv qərarvermə mexanizmi kimi çıxış edir
Attack Graph və CVSS əsaslı risk qiymətləndirmə yanaşmasınıntransformasiyası.Ənənə-vi risk qiymətləndirmə yanaşmaları çox zaman şəbəkə zəifliklərinin ayrı-ayrı təhlilinə əsaslanır və kompleks hücum ssenarilərini nəzərə almır. Bu yanaşmalar müəyyən hallarda təhlükəsizlik qərarlarını çevik şəkildə dəstəkləyə bilsə də, müasir şəbəkə mühitində yaranan yüksək həcmli və ardıcıl hücum ssenariləri fonunda effektiv və miqyaslana bilən həll kimi çıxış etmir. Təkcə CVSS skoru və ya müstəqil zəiflik təhlili analitiklərin qərarvermə prosesini tam dəstəkləmədiyi üçün risklərin real səviyyəsi düzgün qiymətləndirilməyə bilər. Nəticədə, kritik zəifliklərin prioritetləşdirilməsi və müdafiə tədbirlərinin təyini gecikir, şəbəkənin ümumi təhlükəsizlik posturu zəifləyir.
Attack Graph + CVSS əsaslı risk qiymətləndirmə yanaşması bu problemi aradan qaldırır. Hücum qrafı şəbəkədə mövcud olan zəifliklər arasındakı qarşılıqlı əlaqələri və hücumçunun potensial hücum yollarını ardıcıl şəkildə modelləşdirir. CVSS metrikaları isə hər bir zəifliyin kəmiyyət baxımından təhlükəlilik səviyyəsini təyin edir. Bu iki yanaşmanın inteqrasiyası nəticəsində hər bir hücum ssenarisi üzrə risk səviyyəsi daha dəqiq qiymətləndirilir və təşkilat üçün kritik təhlükə mənbələri müəyyənləşdirilir.
Bu yanaşmanın üstünlükləri aşağıdakılardır:
1. **Daha obyektiv risk qiymətləndirməsi:** Hücum yollarının və zəifliklərin qarşılıqlı təsirləri nəzərə alınır, yalnız təkcə CVSS skoruna əsaslanmaqla yaranan subyektiv qiymətləndirmələr aradan qaldırılır.
2. **Erkən identifikasiya və prioritetləşdirmə:** Kritik hücum yolları və yüksək riskli zəifliklər avtomatik olaraq müəyyənləşdirilir, müdafiə tədbirlərinin vaxtında həyata keçirilməsinə imkan yaradır.
3. **Resursların effektiv istifadəsi:** Təhlükəsizlik komandası yalnız real və yüksək riskli ssenarilərə fokuslana bilir, əməliyyat yükü azaldılır.
4. **Miqyaslana bilən və təkrarlana bilən proses:** Hücum qrafları və CVSS əsaslı risk hesablamaları şəbəkənin ölçüsündən asılı olaraq genişləndirilə bilər və hər dəfə ardıcıl və ölçülə bilən nəticələr verir.
5. **Strateji qərarverməyə dəstək:** Təklif olunan model təşkilat rəhbərliyinə risklərin vizual və kvantitativ göstəricilərini təqdim edərək təhlükəsizlik strategiyalarının daha əsaslandırılmış hazırlanmasına şərait yaradır.

Nəticə etibarilə, **Attack Graph + CVSS əsaslı risk qiymətləndirmə modeli** ənənəvi, təkbaşına CVSS və ya ayrı-ayrı zəiflik təhlilinə əsaslanan yanaşmalarla müqayisədə daha sistemli, obyektiv və praktik tətbiq oluna bilən yanaşma kimi çıxış edir. Bu yanaşma yalnız risklərin düzgün qiymətləndirilməsinə imkan vermir, həm də şəbəkə müdafiə strategiyalarının optimallaşdırılması və kritik resursların qorunması baxımından strateji üstünlük təmin edir
Tətbiqi və perspektivlər. Attack Graph + CVSS əsaslı risk qiymətləndirmə modeli yalnız nəzəri konsepsiya olaraq qalmır, həm də real şəbəkə mühitlərində praktik tətbiq imkanları təqdim edir. Bu yanaşmanın tətbiqi bir neçə mühüm sahədə özünü göstərir:
1. **Real vaxt risk monitorinqi:** Hücum qrafının avtomatik generasiyası və CVSS əsaslı skorların inteqrasiyası sayəsində şəbəkədəki kritik zəifliklər real vaxt rejimində izlənilə bilər. Bu, təhlükəsizlik komandalarının ani cavab və preventiv tədbirləri vaxtında həyata keçirməsinə imkan verir.
2. **Simulyasiya və ssenari analizləri:** Attack Graph modeli müxtəlif hücum ssenarilərini vizual və analitik olaraq modelləşdirməyə imkan verir. Bu, potensial hücumların təsirini əvvəlcədən qiymətləndirməyə, müdafiə strategiyalarını test etməyə və resursları optimal bölməyə şərait yaradır.
3. **Avtomatlaşdırılmış prioritetləşdirmə:** CVSS skoru ilə zəifliklərin kəmiyyət baxımından qiymətləndirilməsi, Attack Graph ilə birlikdə yüksək riskli ssenarilərin avtomatik prioritetləşdirilməsinə imkan yaradır. Bu, resursların daha səmərəli istifadəsini təmin edir və insan faktorundan qaynaqlanan səhvləri azaldır.
4. **Strategiya və qərarvermə dəstəyi:** Model təşkilat rəhbərliyi üçün risklərin vizual təmsilini və kvantitativ göstəricilərini təqdim edir. Nəticədə təhlükəsizlik strategiyalarının hazırlanması daha əsaslandırılmış, məlumatlı və strateji xarakter daşıyır.

5. **Müasir kibertəhlükəsizlik mühitinə adaptasiya:** Yüksək həcmli və mürəkkəb şəbəkələrdə bu model miqyaslana bilir və təkrarlana bilən, davamlı risk qiymətləndirmə prosesləri təmin edir. Bu, xüsusilə böyük müəssisələr və kritik infrastruktur sistemləri üçün əvəzsiz üstünlükdür.

Nəticə olaraq, Attack Graph + CVSS əsaslı yanaşma yalnız risklərin daha dəqiq qiymətləndirilməsini təmin etmir, həm də şəbəkə müdafiəsinin optimallaşdırılması, resursların səmərəli istifadəsi və strateji qərarvermənin gücləndirilməsi üçün praktik və miqyaslana bilən çərçivə təqdim edir. Bu model, ənənəvi risk qiymətləndirmə metodlarının məhdudiyyətlərini aradan qaldıraraq müasir kibertəhlükəsizlik mühitində effektiv və dayanıqlı həll kimi çıxış edir.

Nəticə. Aparılan tədqiqat göstərir ki, hücum qrafları və CVSS əsaslı inteqrə olunmuş risk qiymətləndirmə modeli ənənəvi, izolə olunmuş yanaşmalarla müqayisədə daha obyektiv və real nəticələr təqdim edir. Hücum qrafları şəbəkə mühitində mümkün hücum yollarını və zəifliklər arasındakı əlaqələri aydın şəkildə göstərdiyi halda, CVSS zəifliklərin təhlükəlilik səviyyəsinin kəmiyyət baxımından qiymətləndirilməsini təmin edir. Bu iki yanaşmanın birgə istifadəsi risklərin düzgün prioritetləşdirilməsinə və kritik təhlükəsizlik boşluqlarının vaxtında müəyyən edilməsinə imkan yaradır.

Təklif olunan model təhlükəsizlik qərarlarının qəbulunda subyektivliyi azaldır, resurslardan daha səmərəli istifadəyə şərait yaradır və təşkilatların ümumi kibertəhlükəsizlik səviyyəsinin yüksəldilməsinə töhfə verir. Gələcək tədqiqatlarda modelin dinamik hücum qrafları, real vaxt risk qiymətləndirməsi və maşın öyrənməsi yanaşmaları ilə zənginləşdirilməsi perspektivli istiqamət kimi qiymətləndirilir.

İstifadə olunmuş ədəbiyyat:

1. Wang, S., Shao, D., & Wu, J. (2015). Algorithm of Attack Graph Generation based on Attack Cost of CVSS.https://www.scitepress.org/PublishedPapers/2015/60288/
2. Unger, S., Arzoglou, E., Heinrich, M., Scheuermann, D., & Katzenbeisser, S. (2023). Risk Assessment Graphs: Utilizing Attack Graphs for Risk Assessment. arXiv. https://arxiv.org/abs/2307.14114
3. Shin, G.-Y., Hong, S.-S., Lee, J.-S., Han, I.-S., & Oh, H.-R. (2022). Network Security Node-Edge Scoring System Using Attack Graph Based on Vulnerability Correlation. Applied Sciences. https://www.mdpi.com/2076-3417/12/14/6852
4. Singhal, A. (2016). Security Risk Analysis Using Attack Graphs. NIST – Computer Security Resource Center (CSRC). https://csrc.nist.gov/projects/measuring-security-risk-in-enterprise-networks/security-risk-analysis-using-attack-graphs
5. Tan Duy Le, et al. CVSS Based Attack Analysis Using a Graphical Security Model: Review and Smart Grid Case Study. Monash University Research. https://research.monash.edu/en/publications/cvss-based-attack-analysis-using-a-graphical-security-model
6. Common Vulnerability Scoring System (CVSS) – Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Common_Vulnerability_Scoring_System

EVALUATING OF HYBRID GESTURE CONTROLLER INTERACTION IN VR: REAL-TIME 3D HAND TRACKING VIA PYTHON & UNITY INTEGRATION

Sarkhan Salahzade

Department of Mechatronics and Robotics Engineering, SABAH Groups

Azerbaijan State Oil and Industry University

Baku, Azerbaijan

sarkhansalahzada@gmail.com

Abstract: Handheld controllers are typically used for interaction with virtual reality, however camera-based hand tracking is a more natural alternative; however, hand tracking using a camera may have limitations such as lower precision, occlusion and control that may not be consistent. This paper examines a hybrid input method for improving quality of interaction by combining hand gestures with controller input. A real-time prototype was created to act as the study platform: a standard webcam is used to capture motion of the user's hands, a Python computer vision module processes and generates a stream containing 21 3D locations of the user's hand, and the landmark stream is transported via UDP to a Unity scene where it will be used to represent a virtual representation of a user's hand and allow for interactions. The proposed

method was evaluated to determine if the proposed method supports a stable representation of a user's hands in real-time with inexpensive hardware; as well as to verify that the hybrid input method can combine the natural movement of a person's hands, with the dependability of using a controller.
***Keywords**: Virtual Reality (VR), Hybrid Input, 3D Hand Tracking, Computer Vision, Usability Evaluation*

INTRODUCTION

Virtual Reality (VR) has moved beyond novelty and into regular use across training, design, education, and simulation. As the price of VR headsets continues to decline and improve in terms of functionality, the interaction quality is an increasingly limiting factor; interaction quality is the more important performance measure than the downgrading effect of visual fidelity. Users can only become "immersed" in a VR environment when they are able to effectively "select," "manipulate," and "control" the objects they encounter within the environment. At present, handheld controllers dominate the VR property because they offer stable tracking, explicit and defined input states, predictable and consistent actions for selecting, grabbing and navigating, and tactile cues that reduce ambiguity.

Despite being the most used method of interaction with VR systems and VR environments, using controllers for VR interactions can often feel less "natural" than using your own hands. Button mappings may increase cognitive load for "first time" users, and this is resulting in interest in the use of "hand tracking" and "gesture input" as an alternative to using a controller. Gestures can feel more "intuitive" and "expressive" than actions performed with a controller.

However, in practice, using only gestures as the primary method of interacting with a VR environment can result in limits for reliably performing tasks. Vision-based tracking is susceptible to occlusion with the environment, affected by ambient conditions, and degrading in performance for fast motion, self-occlusion, or leaving the camera field of view. Additionally, gestures may be less effective when precision is required to accomplish an intended task, and the use of gestures can cause fatigue during longer interactions.

To achieve the best of both worlds, a "hybrid" approach can be used, where a controller will manage critical control functions that require stable accuracy of input, while gestures will allow for more intuitive and natural interactions. This article provides an evaluation of hybrid gesture and controller-based input through a structured comparison in a prototype VR environment; this evaluation will assist in clarifying the benefits and limitations as well as the design trade-offs of a usable hybrid VR interaction.

DESCRIPTION OF THE PROCESSING SYSTEM

To begin with, a more detailed explanation of the operational stages of the developed system is provided. All exam materials received from exam sites are directed to the scanning area. The process of recognizing exam forms follows the main steps common to many other industrial systems of form recognition [3], [4]:

A. Comparison Conditions and Evaluation Scope
B. System Architecture and Implementation Overview
C. Landmark Representation and Coordinate Mapping
D. Unity Testbed and 3D Reconstruction
E. Hybrid Interaction Mapping Policy
F. Evaluation Metrics and Measurement Protocol

A. Comparison Conditions and Evaluation Scope.

To conduct an evaluation of the input conditions described above, the three types of input to be evaluated are the following; A controller only input. Gesture only input using tracked hand landmarks. And Hybrid input. Each of the types of inputs will allow the experimenter to reliably produce scientifically reproducible outcomes using result entities that are defined as a value or measurement based on objective system-level metrics and documented evidence showing the method of/for reliability of the interaction and the number of the modes of failure.

B. System Architecture and Implementation Overview

Figure 1 summarizes the end-to-end architecture. The pipeline comprises a perception stage (Python), a transport stage (UDP), and a runtime stage (Unity), operating in a continuous update loop.

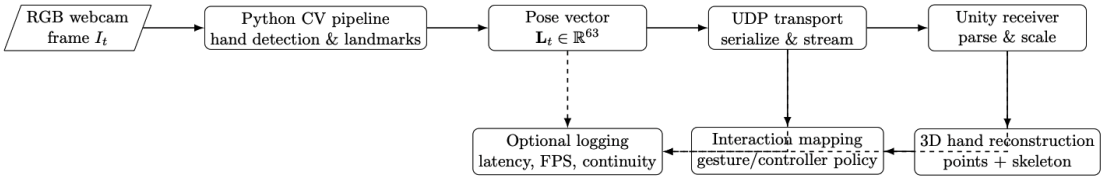


Fig. 1. System architecture and runtime dataflow.
A webcam frame is processed in Python to extract hand landmarks, serialized as a 63-dimensional pose vector, streamed via UDP, received in Unity, reconstructed as a 3D hand skeleton, and mapped into interaction actions.

C. Landmark Representation and Coordinate Mapping

The hand pose at time t is represented using 21 landmarks, each with coordinates (x_i, y_i, z_i). The per-frame representation is a stacked vector:

$\boldsymbol{L}_t = [x_1, y_1, z_1, \ldots, x_{21}, y_{21}, z_{21}]^T \in \mathbb{R}^{63}$.

Coordinate alignment is required when mapping image-space coordinates to Unity. A vertical inversion can be expressed as:

$y'_i = H - y_i$,

where H is the image height in pixels. The mapped Unity coordinate is obtained by scaling factor s:

$\boldsymbol{p}_{i,t}^{(u)} = (1/s)[x_{i,t}, y'_{i,t}, z_{i,t}]^T$.

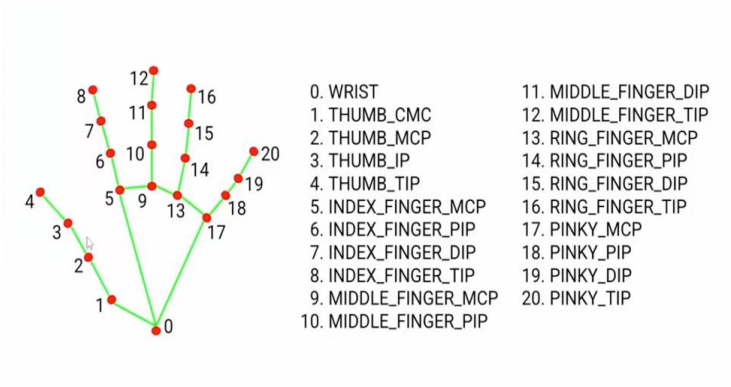


Fig. 2. Hand landmark indexing

To reduce drift and stabilize interaction, centering around a reference landmark (e.g., wrist) is useful:

$\tilde{p}_{i,t}^{(u)} = p_{i,t}^{(u)} - p_{wrist,t}^{(u)}$.

Finally, lightweight smoothing reduces jitter:

$\hat{p}_{i,t} = \alpha\tilde{p}_{i,t}^{(u)} + (1 - \alpha)\hat{p}_{i,t-1}$,

D. Unity Testbed and 3D Reconstruction

Hand Tracking is achieved using a normal RGB webcam in a Python environment; this would use a 21-point landmark model for hand pose, with 3 coordinates (x, y, z) defined for each of the 21 landmarks, and thus resulting in a total of 63 values for each frame. An example of the 21-point landmark model is shown in Figure 1, which will be used as the basis of hand representation in the virtual scene as well as for mapping hand movement into the virtual scene.

Prior to transmission, the resulting normalized landmark vector is created to ensure proper mapping between the camera coordinate space and the 3D world, including vertical alignment, proper scaling, and accounting for the spatial range of each object in the Unity scene.

The processed landmark stream sent from the Python environment to the 3D environment is sent via UDP, allowing for a continuous low-overhead data stream of motion data for each frame. Each frame, incoming packets are received on the 3D-engine side, and once parsed, a simple 3D representation of the hand is created using 21 separate markers connected by line segments that represent an approximate hand skeleton. Figure shows an example of the evaluation scene from within Unity, which includes reconstructed landmarks and interactive objects used in the study.

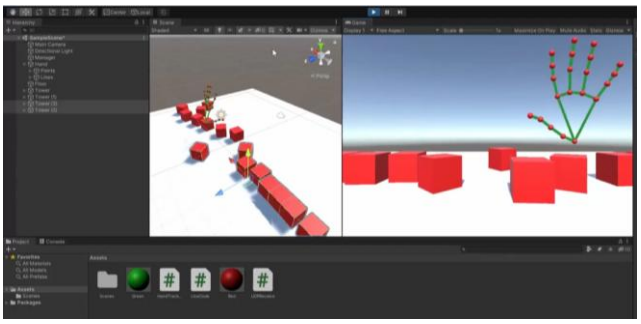


Fig. 1. Unity testbed scene real-time 3D hand reconstruction and interaction with objects.

E. Hybrid Interaction Mapping Policy

Hybrid interaction is formalized as an action allocation policy that combines the gesture state g_t and the controller state c_t:

$g_t = f(\mathbf{L}_t)$, $a_t = \pi(g_t, c_t)$,

where a_t denotes the executed action (e.g., select, grab, confirm, mode switch). Table 1 summarizes a compact hybrid mapping policy: gestures capture direct spatial intent when tracking is stable, while controllers provide reliable confirmation and support precise alignment.

F. Evaluation Metrics and Measurement Protocol

To support reproducible evaluation, the testbed can be instrumented with system-level metrics: end-to-end latency, update rate (CV FPS and Unity FPS), transport stability (packet loss and jitter), tracking continuity (fraction of frames with confident hand detection), and landmark stability (average per-frame displacement under steady pose). Table 1 defines these metrics and a recommended reporting format.

TABLE I. SYSTEM-LEVEL EVALUATION METRICS AND RECOMMENDED REPORTING FORMAT

Metric	**Definition**	**Reporting**
End-to-end latency	$\Delta t = t_unity - t_cam$	mean, SD, min/max (ms)
CV update rate	Frames processed per second	mean FPS
Unity update rate	Render/update loop rate	mean FPS
Packet loss rate	$(N_sent - N_recv) / N_sent$	%
Inter-arrival jitter	$std(\Delta t_arrival)$	ms
Tracking continuity	$(1/T)\ \Sigma\ I[\text{hand detected}]$	ratio or %

TASK PERFORMANCE AND INTERACTION RELIABILITY

Performance differed among input conditions (controller-only, gestures only, and hybrid) on tasks due to how they interact with affordances of performing actions (i.e., engaging in action through different means). With controller-only interaction, participants accurately completed steps comprising controlled selections and stable grasping/placement patterns while using fewer interruptions to flow. Further, with discrete input conditions (e.g., explicit confirmation), completion of steps was more consistent, leading to less inadvertent activation while working.

For gesture-only interaction, participants maintained hands-first control when completing tasks but delivered performances dependent upon hand-pose tracking and continual stability as a function of completing steps. To mis-select targets upon target acquisition, make unsuccessful allowances for executing actions like a grasp, and lose track of their hands when hand orientation changed or when an object was occluded were all dominant gestures that contributed to performance errors. Furthermore, all these gesture failures were primarily associated with the precision-based motions of the motions they produced rather than through large expressive motions. This finding identified the conditions under which gesture interactions work most effectively, given that there is small variability (i.e., more consistent position and confirmed gesture) associated with the accuracy of actions.

In hybrid interaction, the number of primary gesture-based failures experienced by participants was greatly reduced by providing stability in the execution of gesture-only actions with controllers while providing gesture users with directness of gesture execution from controllers. This allowed for fewer corrective cycles (repositioning, reattempting selections, re-grasping), while providing some stability during the action phases noted previously that resulted in being the most error prone.

TABLE II. COMPARISON OF VR INPUT APPROACHES AND THEIR RELATIONS

Approach / Study	Input mode(s)	Tracking / sensing	Key point vs your work
Controller-based VR (baseline)	Controller-only	Controller tracking (standard VR)	Strong reliability/precision baseline; less "natural" feel
Vision-based hand tracking in VR	Gesture/hand-only	Camera-based hand tracking	More direct/natural; more sensitive to occlusion/precision limits
Hybrid VR input (prior research)	Gesture + controller	Mixed sensing (study-specific)	Hybrid can balance naturalness + reliability when mappings are clear
This study (proposed)	Controller vs Gesture vs Hybrid	Webcam 3D hand landmarks streamed Python & Unity	Low-cost, reproducible testbed; hybrid framed as evaluation strategy

CONCLUSION

In this research paper evaluated hybrid gesture controller interaction in virtual reality, focusing on the practical trade-offs between controller reliability and gesture-based directness. The results of this study demonstrate that controller-based input produces the most consistent experience for operations that require precision, while gesture-only input produces a greater sense of naturalness but has increased sensitivity to inconsistencies in tracking and confidence when performing tasks with precision. Hybrid input will provide users with a balance of interaction modalities and take advantage of the strengths of gesture-only input while reducing the major weaknesses associated with using only gesture-based hand controls. The results of this study lend support to using hybrid input as a design method; using hybrid input with action types assigned to the mode that best fits the action's required level of precision, confirmation, and comfort provides an effective method of interface design.

REFERENCES

[1] Elsa Ajarwati. "What Is OMR and How Different It Is from OCR: A Brief Comparison." gleematic.com. https://gleematic.com/what-is-optical-mark-recognition-omr-example-of-use-cases/ (accessed June 24, 2023).

[2] Karez Abdulwahhab Hamad and Mehmet Kaya, "A Detailed Analysis of Optical Character Recognition Technology," International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, 2016, 4 (Special Issue), pp. 244–249.

[3] K. R. Aida-zade and E. E. Mustafayev, "About one hierarchical handwritten recognition system on the bases neural networks," Transactions of the NAS of Azerbaijan, series of PTMS, №2-3, 2002, pp.94-98. (In Russian).

[4] K. R. Aida-zade, S. H. Talybov, and E. E. Mustafayev, "Multilevel recognition system of handwritten forms," Proceedings of the 11th All-Russian Conference "Mathematical Methods of Pattern Recognition", Moscow, 2003, p.230-233.

[5] Parul Himanshu Monga and Mnupreet Kaur. "A Novel Optical Mark Recognition Technique Based on Biogeography Based Optimization," International Journal of Information Technology and Knowledge Management, July-December 2012, Volume 5, No. 2, pp. 331-333.

[6] Rakesh S, Kailash Atal, and Ashish Arora, "Cost Effective Optical Mark Reader," International Journal of Computer Science and Artificial Intelligence, Jun. 2013, Vol. 3 Iss. 2,Bradski, G. (2000). The OpenCV library. Dr. Dobb's Journal of Software Tools, 25(11), 120–125.

[7] Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola, J. J., & Poupyrev, I. (2004). 3D user interfaces: Theory and practice. Addison-Wesley.

[8] Huang, Y.-J., Liu, K.-Y., Lee, S.-S., & Yeh, I.-C. (2021). Evaluation of a hybrid of hand gesture and controller inputs in virtual reality. International Journal of Human–Computer Interaction, 37(2), 169–180. https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1809248

[9] Lugaresi, C., Tang, J., Nash, H., McClanahan, C., Uboweja, E., Hays, M., Zhang, F., Chang, C.-L., Yong, M. G., Lee, J., Chang, W.-T., Hua, W., Georg, M., & Grundmann, M. (2019). MediaPipe: A framework for building perception pipelines. arXiv preprint arXiv:1906.08172. https://arxiv.org/abs/1906.08172

[10] Luong, T., Cheng, Y.-F., Möbus, M., Fender, A., & Holz, C. (2023). Controllers or bare hands? A controlled evaluation of input techniques on interaction performance and exertion in virtual reality. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3320211
[11] Oviatt, S. (1999). Ten myths of multimodal interaction. Communications of the ACM, 42(11), 74–81. https://doi.org/10.1145/319382.319398
[12] Unity Technologies. (2023, February 1). Unity 2021.3.18f1 release notes [Release notes]. https://unity.com/releases/editor/whats-new/2021.3.18f1
[13] Zhang, F., Bazarevsky, V., Vakunov, A., Tkachenka, A., Sung, G., Chang, C.-L., & Grundmann, M. (2020). MediaPipe Hands: On-device real-time hand tracking. arXiv preprint arXiv:2006.10214. https://arxiv.org/abs/2006.10214

APPLICATION OF LARGE LANGUAGE MODELS IN MODERN EDUCATION: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Rasim Abiyev
Independent Researcher
abiyev.rasim@gmail.com
Baku, Azerbaijan

Abstract: Large Language Models (LLMs) represent a significant breakthrough in artificial intelligence, demonstrating remarkable capabilities in natural language understanding and generation. This paper examines the application of LLMs in modern educational settings, analyzing their potential to transform teaching, learning, and assessment processes. Through a systematic review of recent studies and empirical evidence, we identify key opportunities such as personalized learning, intelligent tutoring, automated feedback, and accessibility improvement. Simultaneously, we address critical challenges including academic integrity concerns, bias in AI-generated content, over-reliance risks, and data privacy issues. The findings suggest that a balanced, pedagogically informed integration of LLMs can significantly enhance educational outcomes when accompanied by appropriate policies and teacher training. We propose a framework for responsible LLM adoption in educational institutions.
Keywords: large language models, artificial intelligence in education, personalized learning, ChatGPT, intelligent tutoring systems, academic integrity

1. Introduction

The rapid advancement of artificial intelligence has produced a new class of computational systems known as Large Language Models (LLMs). Models such as GPT-4, Claude, and Gemini have demonstrated an unprecedented ability to comprehend, generate, and reason with natural language text across virtually all domains of knowledge. Education, as one of the most language-intensive human activities, stands at a critical intersection with this technology.

The global education sector has long sought technological solutions to perennial challenges: individualized instruction at scale, timely and constructive feedback, equitable access to quality resources, and support for diverse learning needs. LLMs offer plausible pathways toward each of these goals. At the same time, their deployment raises substantive concerns that must be addressed before widespread adoption can be considered responsible.

This paper provides a structured analysis of the current state of LLM integration in education. We review empirical evidence from recent studies (2022–2025), identify prevailing opportunities and challenges, and propose a conceptual framework to guide educators, policymakers, and technology developers in making evidence-based decisions.

2. Background and Related Work

The intersection of artificial intelligence and education has a substantial history. Early intelligent tutoring systems (ITS) such as LISP Tutor and Cognitive Tutor demonstrated measurable learning gains through adaptive instruction, yet remained limited by narrow domain coverage and rigid interaction models [1]. The

emergence of neural network-based natural language processing in the 2010s broadened the scope of educational AI, enabling applications such as automated essay scoring and dialogue-based learning companions.

The introduction of transformer-based architectures by Vaswani et al. [2] in 2017, and subsequent scaling into LLMs, represented a qualitative shift. Models pre-trained on vast corpora exhibit emergent capabilities including multi-step reasoning, code generation, and nuanced question answering. Brown et al. [3] demonstrated that few-shot prompting of GPT-3 could achieve competitive performance on a wide range of academic benchmarks without task-specific fine-tuning.

The release of ChatGPT in late 2022 catalyzed an unprecedented wave of educational experimentation. Surveys conducted in early 2023 indicated that a substantial proportion of university students had used LLMs for coursework assistance, prompting institutional responses ranging from outright prohibition to structured integration [4]. This polarized landscape underscores the urgency of principled, evidence-based guidance.

3. Opportunities in Educational Contexts

3.1 Personalized Learning and Adaptive Instruction

Perhaps the most compelling educational promise of LLMs lies in their capacity for personalization. Traditional classroom instruction necessarily targets an average learner, leaving advanced students under-challenged and struggling students unsupported. LLM-powered tutoring systems can dynamically adjust explanation depth, vocabulary, and worked examples to match individual learner profiles. Studies have shown that students interacting with LLM-based tutors achieve comparable or superior outcomes relative to peer tutoring in STEM subjects [5].

3.2 Automated Feedback and Assessment

Providing timely, detailed feedback on student writing is one of the most resource-intensive tasks in education. LLMs can generate constructive, rubric-aligned feedback on written assignments within seconds. Research by Stasaski and Hearst [6] demonstrated that LLM-generated feedback was rated as useful as expert human feedback by undergraduate students, while being available on demand and at scale. Furthermore, LLMs show promise in formative assessment, generating diagnostic questions tailored to detected misconceptions.

3.3 Accessibility and Equity

LLMs have the potential to democratize access to high-quality educational support. Learners in under-resourced regions, students with disabilities, and non-native speakers may particularly benefit. Real-time translation, text simplification, and multimodal explanations can bridge linguistic and cognitive barriers that previously limited educational participation [7].

3.4 Teacher Support and Administrative Efficiency

Beyond direct student interaction, LLMs support educators by automating lesson plan generation, producing differentiated instructional materials, and reducing administrative burden. Teachers who leverage LLMs as professional tools report increased time available for high-value interpersonal instruction and mentorship activities [8].

4. Challenges and Risks

4.1 Academic Integrity

The most immediately salient challenge is the potential for LLMs to facilitate academic dishonesty. Students may submit LLM-generated work as their own, undermining the evaluative validity of assignments and impeding genuine skill development. Automated detection tools have proven unreliable, with high rates of both false positives and false negatives [9]. Institutional responses must evolve toward assessment designs that emphasize process documentation, oral defense, and real-world application over static text submission.

4.2 Hallucination and Misinformation

LLMs are known to generate confident, grammatically fluent, but factually incorrect statements — a phenomenon termed "hallucination." In educational contexts, such errors can entrench misconceptions and erode trust in AI-assisted learning. Learners lacking domain expertise may be unable to identify inaccuracies, making critical AI literacy an essential educational goal alongside content instruction [10].

4.3 Bias and Fairness

LLMs trained on large internet corpora inherit and may amplify societal biases related to gender, race, culture, and socioeconomic status. Educational applications of biased LLMs risk perpetuating inequities

rather than ameliorating them. Systematic bias auditing, diverse training data curation, and continuous monitoring are necessary but not yet standard practice in commercially deployed educational AI tools.

4.4 Data Privacy and Security

Educational settings involve sensitive data about minors and adult learners alike. The deployment of cloud-based LLM services raises concerns regarding data sovereignty, compliance with regulations such as GDPR and FERPA, and the potential misuse of interaction logs. Institutions must conduct thorough data protection impact assessments before adopting LLM-based tools.

5. Proposed Framework for Responsible Integration

Based on our synthesis of the literature, we propose a four-pillar framework for the responsible integration of LLMs in educational institutions. (1) Pedagogical Alignment: LLM deployment should be driven by clearly defined learning objectives, with technology serving as a means to pedagogical ends rather than as an end in itself. (2) Educator Empowerment: Teachers must receive sustained professional development in LLM capabilities, limitations, and pedagogical applications before and during deployment. (3) Learner Agency and Literacy: Students should be taught to critically evaluate AI-generated content, understand model limitations, and develop their own epistemic standards. (4) Governance and Ethics: Institutions should establish clear policies on permissible LLM use, data handling protocols, bias auditing procedures, and mechanisms for iterative policy review.

6. Conclusion

Large Language Models represent a genuinely transformative technology for education, offering unprecedented capabilities in personalization, feedback, accessibility, and teacher support. However, these opportunities are accompanied by serious challenges that cannot be resolved through technology alone. Academic integrity, hallucination, bias, and privacy risks demand coordinated responses from educators, policymakers, and AI developers.

The most productive path forward lies neither in uncritical adoption nor in wholesale prohibition, but in evidence-based, pedagogically grounded integration accompanied by robust governance structures and continuous evaluation. Future research should focus on longitudinal learning outcomes, bias mitigation strategies, and the development of context-appropriate assessment methodologies for the LLM era.

References

[1] Anderson, J.R., Corbett, A.T., Koedinger, K.R., & Pelletier, R. (1995). Cognitive tutors: Lessons learned. Journal of the Learning Sciences, 4(2), 167–207.

[2] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A.N., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems, 30.

[3] Brown, T.B., Mann, B., Ryder, N., et al. (2020). Language models are few-shot learners. Advances in Neural Information Processing Systems, 33, 1877–1901.

[4] Farrokhnia, M., Banihashem, S.K., Noroozi, O., & Wals, A. (2024). A SWOT analysis of ChatGPT: Implications for educational practice and research. Innovations in Education and Teaching International, 61(3), 460–474.

[5] Pardos, Z.A., & Bhandari, S. (2023). Learning gain differences between ChatGPT and human tutors. arXiv preprint arXiv:2302.07268.

[6] Stasaski, K., & Hearst, M.A. (2022). Semantic appropriateness for automatic feedback generation. Proceedings of the 17th Workshop on Innovative Use of NLP for Building Educational Applications.

[7] Bender, E.M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? Proceedings of FAccT 2021, 610–623.

[8] Mollick, E., & Mollick, L. (2023). Assigning AI: Seven approaches for students with prompts. SSRN Working Paper.

[9] Weber-Wulff, D., Anohina-Naumeca, A., Bjelobaba, S., et al. (2023). Testing of detection tools for AI-generated text. International Journal for Educational Integrity, 19(1), 26.

[10] Kasneci, E., Sessler, K., Kuchemann, S., et al. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and Individual Differences, 103, 102274.

AQRAR DIAQNOSTIKA SISTEMLƏRINDƏ KOMPÜTER GÖRMƏSI VƏ MAŞIN ÖYRƏNMƏSI METODLARININ TƏTBIQI VƏ PERSPEKTIVLƏRI

t.ü.f.d.dos. Kəmalə Əliyeva
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası
kaliyeva@beu.edu.az

Səmra Cəfərli, magistr
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi kafedrası
sceferli5@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Xülasə. *Aqrar sahədə xəstəliklərin vaxtında müəyyən edilməsi məhsuldarlığın artırılması və iqtisadi itkilərin azaldılması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Ənənəvi diaqnostika üsulları insan faktorundan asılı olduğuna görə subyektiv nəticələr yarada bilir və vaxt itkisinə səbəb olur. Bu tədqiqat işində kompüter görməsi və maşın öyrənməsi metodlarının aqrar diaqnostika sistemlərində tətbiq imkanları təhlil edilmişdir. Mövcud elmi yanaşmalar təhlil edilmiş, təsvir analizi əsaslı sistemlərin üstünlükləri müəyyən edilmiş və onların praktik əhəmiyyəti qiymətləndirilmişdir. Nəticə olaraq göstərilmişdir ki, intellektual diaqnostika sistemləri aqrar sahədə qərarvermə prosesinin optimallaşdırılmasına və xəstəliklərin ilkin mərhələlərdə aşkarlanmasına real töhfə verə bilər.*
Açar sözlər: *Maşın öyrənməsi, təsvir analizi, kompüter görməsi, aqrar diaqnostika, süni intellekt, konvolyusiya neyron şəbəkələri.*

APPLICATION OF COMPUTER VISION AND MACHINE LEARNING METHODS IN AGRICULTURAL DIAGNOSTIC SYSTEMS

Assoc. Prof. Dr. Kamala Aliyeva
Baku Engineering University
Faculty of Information and Computer Technologies
Department of Cybersecurity and Computer Engineering
kaliyeva@beu.edu.az
Samra Jafarli, Master
Baku Engineering University
Faculty of Information and Computer Technologies
Department of Cybersecurity and Computer Engineering
sceferli5@std.beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract. *Timely detection of diseases in the agricultural sector plays a crucial role in increasing productivity and reducing economic losses. Traditional diagnostic methods depend on human factors, which may lead to subjective results and time inefficiency. This study analyzes the application possibilities of computer vision and machine learning methods in agricultural diagnostic systems. Existing scientific approaches are examined, and the advantages of image analysis-based systems are identified and their practical significance is evaluated. The findings indicate that intelligent diagnostic systems can contribute significantly to optimizing decision-making processes and enabling early-stage disease detection in agriculture.*
Keywords: *Machine learning, image analysis, computer vision, agricultural diagnostics, artificial intelligence, convolutional neural networks.*

GIRIŞ

Aqrar sahə dünya iqtisadiyyatının və ərzaq təhlükəsizliyinin əsas dayaqlarından biridir. Bitki xəstəlikləri isə məhsuldarlığın azalmasına və ciddi iqtisadi itkilərə səbəb olur. Beynəlxalq statistik məlumatlar göstərir ki, bitki xəstəlikləri hər il kənd təsərrüfatı məhsularının əhəmiyyətli hissəsinin itirilməsinə gətirib çıxarır. BMT-nin Ərzaq və Kənd Təsərrüfatı Təşkilatının məlumatına əsasən, bitki xəstəlikləri səbəbindən hər il

qlobal məhsulun təxminən 20–40%-nin itirilməsi halı baş verir [1]. Bu isə milyardlarla dollar iqtisadi zərər deməkdir və xüsusilə inkişaf etməkdə olan ölkələr üçün bu hal daha ciddi bir problemdir.
Bitki xəstəliklərinin erkən mərhələlərdə aşkarlanması məhsul itkisini minimuma endirə və pestisid istifadəsini azalda bilər. Pestisidlərin həddindən artıq istifadəsi həm su ehtiyatlarına, torpağın keyfiyyətinə, həm də insan sağlamlığına mənfi təsir göstərir. Buna görə, dəqiq və avtomatlaşdırılmış müasir diaqnostika sistemlərindən istifadə həm iqtisadi, həm də ekoloji baxımdan mühüm əhəmiyyət kəsb edir.
Hazırda bitki xəstəliklərinin müəyyən edilməsi üçün əsasən vizual müşahidə kimi ənənəvi üsullardan istifadə olunur.. Aqronom və mütəxəssislər yarpaqların səthlərində yaranmış rəng dəyişmələri, müxtəlif ləkələr və deformasiya kimi simptomlara əsaslanaraq diaqnoz qoyurlar. Lakin bu diaqnostika üsulu insan təcrübəsindən asılıdır, çox vaxt tələb edir, daha böyük ərazidə operativ tətbiqi çətindir və bəzi hallarda yanlış diaqnozla nəticələnə bilər ki, bəzi xəstəliklərin simptomları erkən mərhələlərdə bir-birinə oxşar olur.
Müasir dövrdə süni intellekt, xüsusilə maşın öyrənməsi və dərin öyrənmə metodları ilə görüntü analizi sahəsində yüksək dəqiqliyə malik nəticələr əldə etmək mümkündür. Məsələn, konvolyusiya neyron şəbəkələri (CNN – Convolutional Neural Network) təsvirlər analizi, avtomatik xüsusiyyət çıxarılması və təsnifatı üçün effektiv alət kimi geniş istifadə olunur [2]. Bu modellər müxtəlif xüsusiyyətləri giriş verilənlərindən avtomatik olaraq müəyyən edərək birbaşa öyrənmə qabiliyyətinə malikdir.
Aparılan tədqiqatlar nəticəsində dərin öyrənmə modellərinin bitki xəstəliklərinin diaqnostikası zamanı 99%-ə qədər dəqiqlik əldə edə bildiyini müəyyən edilmişdir [3]. Buna bənzər digər tədqiqat işlərində isə AlexNet, VGG və ResNet - kimi müxtəlif CNN arxitekturaları müqayisə edilmiş, yüksək performans göstəriciləri təsdiq edilmişdir [4], [5].
Bu tədqiqat işinin əsas məqsədi kompüter görməsi, dərin öyrənmə və maşın öyrənməsi metodlarının aqrar diaqnostika sistemlərində tətbiq imkanlarını sistemli şəkildə analiz etmək, onların hansı üstünlüklərinin və ya məhdudiyyətlərinin olduğunu müəyyən etmək və gələcək inkişaf istiqamətlərini göstərməkdir.

TƏDQIQAT METODU

Təsvir analizi əsaslı diaqnostika sistemlərinin iş prinsipi aşağıdakı mərhələlərdən ibarətdir:

- Təsvirlərin toplanması
- İlkin emal mərhələsi
- Xüsusiyyətlərin çıxarılması
- Klassifikasiya
- Nəticələrin qiymətləndirilməsi

Təsvirlərin toplanması. Təsvirlərin toplanması prosesi mobil cihaz kameraları, yüksək dəqiqlikli rəqəmsal görüntüləmə sistemləri, pilotsuz uçuş aparatları (dronlar) kimi vasitələrlə həyata keçirilə bilər. Son illərdə fermerlər üçün mobil telefon tətbiqləri daha asan həll yolu kimi geniş yayılmışdır. Belə tətbiqlər sistemdən real vaxt rejimində istifadə edilməsinə imkan yaradır və geniş ərazilərin monitorinqini asanlaşdırır.
Toplanan təsvirlərin görüntü keyfiyyəti və müxtəlifliyi növbəti mərhələlərin dəqiqliyinə ciddi təsir göstərir. Buna görə də fərqli işıqlandırma şəraitlərində, müxtəlif perspektivlərdən və fərqli inkişaf dövrlərində çəkilən görüntülərin toplanması mühüm hesab olunur. Nəticədə, daha çox və müxtəlif məlumatlardan ibarət verilənlər bazaları modellərin daha sabit, dəqiq cavablar verməsini təmin edir və performansını yaxşılaşdırır.
İlkin emal mərhələsi. Toplanan məlumatlar üzərində ilkin emal prosesi həyata keçirilir. Bu proses zamanı bir sıra üsullar istifadə olunur. Bu üsullara kontrastın artırılmasını, səs-küyün azaldılmasını, təsvirlərin ölçüsünün normallaşdırılmasını, fonun ayrılmasını aid etmək olar. Bundan əlavə olaraq ilkin emal mərhələsində histoqram bərabərləşdirmə kimi üsullardan da istifadə olunur ki, bu üsulların köməyi ilə işıqlandırma dəyişkənliyinin təsvirlərin keyfiyyətinə mənfi təsiri azaldılır. Nəticə etibarilə, müxtəlif üsullar vasitəsilə toplanan məlumatların vahid formata salınması və standartlaşdırılması prosesləri ilkin emal mərhəsində aparılır. Bu da modelin daha etibarlı nəticələr əldə etməsinə və növbəti mərhələlərin daha səmərəli həyata keçirilməsinə imkan verir.
Xüsusiyyətlərin çıxarılması. Ənənəvi yanaşmada GLCM – Gray Level Co-occurrence Matrix, yəni boz səviyyəli yanaşılıq matrisi kimi tekstura xüsusiyyətləri, formaya aid parametrlər, kənar deteksiyası və rəng histoqramları istifadə olunur. Bu yanaşmalar müəyyən qədər effektiv nəticələr versə də, əl ilə xüsusiyyətlərin seçilməsini tələb edir və mürəkkəb vizual strukturların təhlili zamanı bəzi məhdudiyyətlərin yaranmasına səbəb olur.
Dərin öyrənmə modellərində isə xüsusiyyətlərin çıxarılması avtomatik olaraq neyron şəbəkələr tərəfindən həyata keçirilir. Xüsusilə CNN arxitekturalarında konvolyusiya qatları ilk olaraq lokal xüsusiyyətləri, daha

dərin qatlar isə daha abstrakt, yüksək səviyyəli vizual strukturları müəyyən edir. Bu yanaşma isə bitki xəstəlikləri növlərinin sistem tərəfindən daha yüksək dəqiqliklə ayırd edilməsinə imkan verir.

Klassifikasiya. Maşın öyrənməsi alqoritmləri verilənlərdən nümunələr öyrənərək təsnifat və proqnozlaşdırma kimi prosesləri həyata keçirir. Bu alqoritmlərdən aqrar diaqnostikada müxtəlif bitki xəstəliklərinin avtomatik müəyyənləşdirilməsi məqsədilə istifadə olunur. Bu məqsədlə aşağıdakı klassifikasiya modelləri tətbiq olunur:

- Support Vector Machines (SVM)
- Random Forest
- K-Nearest Neighbors (KNN)
- Konvolyusiya neyron şəbəkələri (CNN)

Xüsusilə təsvir əsaslı problemlər zamanı CNN modelləri yüksək performans göstərir [6]. Həmçinin, əvvəlcədən öyrədilmiş modellərin yeni verilənlərə uyğunlaşdırılması üçün transfer learning yanaşması da vardır ki, bu da kiçik həcmli aqrar verilənlər bazalarında effektiv nəticələrin əldə edilməsinə kömək edir [5].

Modelin qiymətləndirilməsi. Modelin qiymətləndirilməsi mərhələsi maşın öyrənmə modelinin verilənlər üzərində nə dərəcədə dəqiq nəticələr əldə etdiyini öyrənilməsini əhatə edən mərhələdir. Bu zaman modelin nəticələri real nəticələrlə müqayisə edilir, səhv etmə dərəcəsi, ümumi dəqiqliyi və performansı təhlil edilir. Qiymətləndirmə mərhələsi modelin etibarlılıq dərəcəsinin müəyyənləşdirilməsi üçün çox vacib mərhələlərdən biri hesab olunur. Bu məqsədlə əsasən aşağıdakı göstəricilərdən istifadə olunur:

- Accuracy;
- Precision;
- Recall;
- F1-score.

Xəstəliklərin müəyyən edilməməsi ciddi məhsul itkisinə səbəb ola bilər. Bu səbəbdən recall göstəricisi aqrar sahədə daha vacib göstərici kimi hesab olunur. Əlavə olaraq, modelin düzgün və ya səhv təsnifatlarının strukturunun detallı şəkildə təhlili üçün qarışıqlıq matrisi(confusion matrix) də istifadə olunur.

NƏTICƏ

Aparılan tədqiqatlara əsasən demək olar ki, aqrar diaqnostika sistemlərində maşın öyrənməsi və kompüter görməsi yanaşmalarının tətbiqi bitki xəstəliklərinin erkən mərhələlərdə aşkarlanmasına və bu səbəbdən meydana gələn məhsul itkilərinin minimuma endirilməsinə mühüm töhfələr verə bilər. Xüsusilə dərin öyrənmə yanaşmaları böyük həcmə malik təsvir məlumatlarının emalında yüksək dəqiqlik və effektivliyə malikdir.

Lakin bu yanaşmaların tətbiqi zamanı da bəzi çətinliklər yarana bilər. Bunlara real sahə şəraitində texniki infrastrukturla əlaqəli məhdudiyyətlər, fərqli bitki növləri arasındakı görüntü oxşarlıqları, verilənlərin balanssızlığı kimi halları aid etmək olar. Belə halların yaranması modelin həm texniki, həm də praktiki tətbiqi baxımından etibarlılığının qiymətləndirilməsinin vacib məsələlərdən olduğunu sübut edir.

Həmçinin, aqrar sahədə modelin izah edilə bilənliyi də qərarvermə zamanı mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Çünki mütəxəssislər və fermerlər sistemlərin hansı vizual xüsusiyyətlərə əsasən qərarvermə prosesini həyata keçirdiklərini öyrənmək istəyirlər.

Gələcək araşdırmaların real sahələri əks etdirən daha böyük verilənlər bazalarının yaradılması, bu bazalara müxtəlif sensorlardan gələn multimodal verilənlərin daxil edilməsi və real vaxt rejimində işləyən mobil tətbiqlərin inkişafı kimi istiqamətlərdə aparılması məqsədəuyğundur. Belə yanaşmalar aqrar diaqnostika sistemlərinin praktik istifadə üçün daha uyğun, çevik və etibarlı hala çevrilməsi üçün inkişaf etdirilməsinə kömək edir.

Nəticədə onu demək olar ki, müasir texnologiyalara əsaslanan diaqnostika sistemləri kənd təsərrüfatının inkişafını, məhsul itkilərinin qarşısının alınmasını, iqtisadi zərərlərin minimuma endirilməsini və aqrar sahədə qərarvermənin optimallaşdırılmasını əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdıra bilər.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

[1] FAO, “The State of Food and Agriculture 2021,” Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2021.

[2] Y. LeCun, Y. Bengio and G. Hinton, “Deep learning,” *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015.

[3] S. P. Mohanty, D. P. Hughes and M. Salathé, “Using deep learning for image-based plant disease detection,” *Frontiers in Plant Science*, vol. 7, p. 1419, 2016.

[4] K. P. Ferentinos, "Deep learning models for plant disease detection and diagnosis," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 145, pp. 311–318, 2018.
[5] E. C. Too, L. Yujian, S. Njuki and L. Yingchun, "A comparative study of fine-tuning deep learning models for plant disease identification," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 161, pp. 272–279, 2019.
[6] S. Sladojevic et al., "Deep neural networks for plant disease recognition," *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2016, Article ID 3289801, 2016.

DEEPFAKE TEXNOLOGIYALARININ YAYILMASI VƏ ONLARIN CƏMIYYƏTƏ TƏSIRI

Səmra Cəfərli
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
sceferli5@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Xülasə. *Deepfake texnologiyaları süni intellekt və dərin öyrənmə alqoritmləri vasitəsilə real insan üzlərini, davranışlarını və səslərini yüksək dəqiqliklə kopyalamağa imkan verən texnologiyalardır. Bu texnologiyalar vasitəsilə yaradılmış materiallar media etibarlılığı, sosial sabitlik və informasiya təhlükəsizliyi kimi mövzuları gündəmə gətirmişdir. Bu məqalədə deepfake texnologiyaların işləmə prinsipləri, tətbiq sahələri və onların cəmiyyətə göstərdiyi təsirlər tədqiq edilmişdir. Mövcud elmi yanaşmalar təhlil edilmiş, bu texnologiyaların müsbət və mənfi aspektləri müəyyən edilmişdir. Nəticələrə əsasən demək olar ki, deepfake texnologiyaları yeni imkanlar təqdim etsə də, müəyyən çərçivələr daxilində istifadə olunmalıdır. Əks halda, ciddi etik, sosial və hüquqi problemlərin yaranmasına səbəb ola bilər.*
Açar sözlər: *Deepfake, GAN, maşın öyrənməsi, süni intellekt, dezinformasiya, media manipulyasiyası, informasiya təhlükəsizliyi.*

THE SPREAD OF DEEPFAKE TECHNOLOGIES AND THEIR IMPACT ON SOCIETY

Samra Jafarli
Baku Engineering University
Information and computer technologies faculty
sceferli5@std.beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract. *Deepfake technologies are methods that enable the high-precision replication of real human faces, behaviors, and voices using artificial intelligence and deep learning algorithms. The materials created through these technologies have raised issues such as media credibility, social stability, and information security. This article examines the working principles of deepfake technologies, their application areas, and their impact on society. Existing scientific approaches have been analyzed, and the positive and negative aspects of these technologies have been identified. Based on the results, it can be stated that although deepfake technologies offer new opportunities, they should be used within certain frameworks. Otherwise, they may lead to serious ethical, social, and legal problems.*
Keywords: *Deepfake,GAN,machine learning, artificial intelligence, misinformation, media manipulation, information security.*

GIRIŞ

Hazırkı dövrdə bir sıra texnologiyaların xüsusilə, süni intellekt texnologiyalarının inkişafı informasiya və media sahəsində ciddi dəyişikliklər yaratmışdır. Bu texnologiyalardan biri də real insan görüntülərinin və səslərinin imitasiyasının yaradılmasına imkan verən deepfake texnologiyasıdır. Deepfake texnologiyaları dərin öyrənmə modellərinə əsaslanır və zaman keçdikcə daha real nəticələr əldə edə bilir. Buna misal olaraq GAN – Generative Adversarial Networks modelini göstərmək olar.

Deepfake texnologiyalarının inkişafı rəqəmsal mühitdə yeni bir dövrün başlanğıcı kimi qəbul edilə bilər. Əvvəllər multimedianın məzmunu real həyatda baş vermiş hadisələri əks etdirilməsi ilə əlaqələndirilirdi. Hazırkı dövrdə isə bu məzmunlar gerçəklikdən uzaq olur və süni intellekt vasitəsilə yaradılır. Bu səbəbdən informasiya etibarlılığı məsələlərinin yenidən nəzərdən keçirilməsi məsələsi aktuallaşır və "rəqəmsal həqiqət" anlayışı daha mürəkkəb və qeyri-müəyyən anlayışa çevrilir [2].

Son illərdə deepfake texnologiyalarının sürətli inkişafı texniki tərəqqi ilə yanaşı, böyük həcmdə vizual məlumatların mövcud olması ilə də əlaqələndirilir. İnsanların sosial media platformalarından daha çox istifadə etmələri nəticəsində gün ərzində milyonlarla şəkil və videolar paylaşılır. Bu da deepfake texnologiyalarının öyrədilməsi üçün zəngin verilənlər bazasının formalaşmasına imkan verir. Nəticədə, deepfake modellərin daha çox məlumat və görüntü əsasında daha dəqiq, realistik nəticələr əldə etməsi mümkün olur [3].

Bununla yanaşı, deepfake texnologiyalarının geniş yayılması informasiya təhlükəsizliyi məsələlərini də aktuallaşdırır. Çünki artıq hər hansı bir görüntünün və ya səsin real olub-olmamasını yalnız vizual müşahidə əsasında müəyyən etmək mümkün deyil. Bunun üçün xüsusi texniki analiz üsullarına ehtiyac yaranır. Bu vəziyyət texnoloji biliklərin əhəmiyyətini, rəqəmsal məlumatların düzgün qiymətləndirilməsi və informasiya ilə işləmə bacarıqlarının əhəmiyyətini ön plana çıxarır [4].

Digər tərəfdən bu texnologiyaların inkişafı nəticəsində psixoloji və sosial təsirlər də özünü göstərməyə başlamışdır.İnsanların gördüklərinə və eşitdiklərinə inamının azalmasını, manipulyativ kontentlərin yayılmasını, informasiya mühitində güvənsizlik hissinin artmasını bu təsirlərin əsas göstəriciləri kimi qəbul etmək olar [2], [5].

Əlavə olaraq, deepfake texnologiyaların inkişafı etik və hüquqi məsələlərin də aktuallaşmasına səbəb olmuşdur. Şəxsi məlumatlardan icazəsiz istifadə edilərək saxta audio və video materialların hazırlanması və onların fərqli məqsədlərlə yayılması insanların hüquqlarının pozulmasına gətirib çıxarır [4]. Buna görə də, bəzi ölkələr bu texnologiyaların tənzimlənməsi üçün qanunvericilik bazalarının yaradılması istiqamətində tədbirlər görür.

Nəticə olaraq demək olar ki, deepfake texnologiyaları müasir dövr üçün həm innovativ imkanlar təqdim edən, həm də müəyyən risk faktorlarını özündə birləşdirən mühüm texnologiyalardan biridir. Bu texnologiyanın inkişaf etməsi tətbiq sahələrinin genişlənməsi ilə birlikdə yarana biləcək təhlükələrin də artmasına gətirib çıxarır. Bu səbəbdən, deepfake texnologiyalarının aspektlərinin düzgün qiymətləndirilməsi ciddi əhəmiyyət kəsb edir.

Deepfake texnologiyalarının yayılması və tətbiq sahələri

Sosial media platformalarının inkişaf etməsi, böyük həcmdə vizual məlumatların əlçatan olması və internet infrastrukturunun güclənməsi deepfake texnologiyalarının sürətlə yayılmasına səbəb olmuşdur. İstifadəçilər tərəfindən xüsusilə Instagram, YouTube, TikTok kimi platformalarda gün ərzində milyonlarla şəkil və videoların paylaşılması bu texnologiyaların tətbiqi və modellərin öyrədilməsi üçün böyük verilənlər bazasını formalaşdırır. Hazırlanmış materiallar bu platformalar vasitəsilə qısa zamanda geniş izləyici kütləsinə çatır və bununla da təsir gücü daha da artır.

Həmçinin, süni intellekt alətlərinin əlçatanlığının artması da deepfake texnologiyaların yayılmasına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərmişdir. Hazır modellərin, bulud əsaslı hesablama resurslarının və açıq mənbəli proqram təminatlarının əlçatan olması böyük texnoloji şirkətlərlə yanaşı fərdi istifadəçilərin də bu texnologiyalardan istifadə etməsinə imkan verir. Buna görə də, həm peşəkar, həm də qeyri-peşəkar sahələrdə deepfake texnologiyası sürətlə yayılmışdır.

Deepfake texnologiyaların müxtəlif sahələrdə geniş tətbiq imkanları mövcuddur. Bu tətbiq imkanları həm yaradıcı, həm də funksional məqsədləri əhatə edir.

Təhsil sahəsi.

Təhsil sahəsində deepfake texnologiyaları immersiv və interaktiv öyrənmə mühitlərinin yaradılmasını mümkün edir. Tələbələrin dərslərə olan marağını artırmaq və mövzuların daha yadda qalan olmasını təmin etmək üçün tarixi şəxsiyyətlərin və ya hadisələrin virtual şəkildə canlandırılması kimi üsullardan istifadə etmək olar. Həmçinin, distant təhsil sistemlərində virtual müəllimlərin yaradılması, fərdiləşdirilmiş tədris metodlarının tətbiq olunması bu texnologiyalar vasitəsilə mümkün olur. Buna misal olaraq Synthesia platformasını göstərmək olar ki, bu platforma vasitəsilə virtual müəllimlər yaradılaraq təhsil prosesində istifadə.edilir.

Əyləncə sənayesi.

Deepfake texnologiyaları əyləncə sənayesində televiziya və film istehsalında istifadə olunur. Belə ki, bu texnologiyadan istifadə edilərək aktyorların cavanlaşdırılması və ya yaşlandırılması kimi görünüş

dəyişikliklərinin edilməsi, həyatda olmayan insanların rəqəmsal şəkildə ekrana çıxarılması mümkün olur. Məsələn, vəfat etmiş aktyor Paul Walker-in bəzi səhnələri "Fast & Furious 7" filmində rəqəmsal texnologiyalar vasitəsilə tamamlanmışdır. Deepfake texnologiyası CGI(Computer-Generated Imagery) texnologiyasına nisbətən istehsal xərclərini azalda bilir və daha real üz ifadələrini, mimikaları yaratmaq imkanına malikdir ki, bu da vizual keyfiyyəti artırır. Bundan əlavə olaraq, film dublyajları zamanı müxtəlif dillərə uyğun olaraq aktyorların üz hərəkətlərini də dəyişmək mümkündür.

Kibertəhlükəsizlik sahəsi.

Kibertəhlükəsizlik sahəsində deepfake texnologiyaları iki istiqamətdə tətbiq olunur. Birinci istiqamət olaraq phishing hücumlarının gücləndirilməsi, sosial mühəndislik hücumlarının həyata keçirilməsi, saxta kimliklərin yaradılması kimi halları göstərmək olar. 2019-cu ildə kibercinayətkarlar tərəfindən deepfake texnologiyaları vasitəsilə bir şirkətin rəhbərinin səsi təqlid olunaraq şirkət əməkdaşlarından böyük məbləğlərdə pul köçürmələri tələb edilmişdir. Bu isə əməkdaşların 243.000 ABŞ dolları məbləğində pul köçürməsi ilə nəticələnmişdir. İkinci istiqamət isə bu halların qarşısının alınması üçün təhlükəsizlik şirkətləri tərəfindən deepfake aşkarlama sistemlərinin hazırlanmasını əhatə edir. Bu sahədə əsas məqsəd təhlükəsizliyin təmin olunması və real vaxt rejimində saxta kontentlərin müəyyən olunmasıdır.

Marketinq və reklam.

Deepfake texnologiyalarından marketinq sahəsində fərdiləşdirilmiş reklamların hazırlanması üçün istifadə olunur. Şirkətlər istifadəçilərin diqqətinin daha effektiv şəkildə cəlb olunmasını təmin etmək üçün onların davranış və maraqlarına uyğun video kontentlər hazırlaya bilirlər. Bununla yanaşı, bir reklamın fərqli auditoriyalara uyğun müxtəlif versiyalarının avtomatik generasiyası da mümkündür. Buna misal olaraq "Malaria Must Die" layihəsini göstərmək olar.ki, bu layihə çərçivəsində deepfake texnologiyalarından istifadə edilərək David Beckham-ın siması ilə müxtəlif dillərə uyğun videolar hazırlanmışdır. Bu da reklamın effektivliyini artırır və qlobal səviyyədə yayılmasını təmin edir.

Yuxarıda sadalananlardan əlavə, deepfake texnologiyalarının geniş yayılması onlardan sui-istifadə edilməsi risklərini də əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bu texnologiya xüsusilə, siyasi manipulyasiya, ictimai rəyin yönləndirilməsi, saxta xəbərlərin hazırlanması və yayılması halları kimi ciddi informasiya təhlükəsizliyi problemlərinə səbəb ola bilər. Deepfake multimedia materiallarının sosial platformalarda sürətli şəkildə yayılması onların təsir gücünü daha da artırır və bu da cəmiyyətin informasiya etibarlılığına olan inamının zəifləməsinə gətirib çıxarır [1].

Cəmiyyətə təsiri

Deepfake texnologiyalarının cəmiyyətə göstərdiyi təsir çoxşaxəli xarakter daşıyır və həm müsbət, həm də mənfi istiqamətləri əhatə edir. Bu təsirlər yalnız texnoloji mühitlə məhdudlaşmır. Eyni zamanda ictimai etimad səviyyəsinə, sosial davranışlara və informasiya istehlakına da birbaşa təsir göstərir.

Müsbət təsirlər.

Deepfake texnologiyaları müxtəlif sahələrdə innovativ yanaşmaların tətbiq edilməsinə imkan verərək rəqəmsal kontentin yaradılmasında yeni imkanlar formalaşdırır. Bu texnologiyalar audio və video materialların daha təsirli və realistik şəkildə hazırlanmasına şərait yaradaraq yaradıcılıq potensialını genişləndirir, istehsal proseslərinin daha çevik və səmərəli olmasını təmin edir.

Eyni zamanda, bu texnologiyaların tətbiqi vasitəsilə istifadəçilərə daha interaktiv və fərdiləşdirilmiş təcrübələr təqdim etmək də mümkündür. Xüsusilə rəqəmsal kommunikasiya və təhsil kimi sahələrdə məlumatların daha anlaşıqlı şəkildə təqdim olunması informasiyanın qavranılması və öyrənmə proseslərini asanlaşdırır.

Əlavə olaraq, deepfake texnologiyaları rəqəmsal mühitdə kommunikasiya imkanlarını genişləndirərək istifadəçilərlə kontent arasında daha effektiv qarşılıqlı əlaqənin qurulmasına imkan verir. Bu isə ümumilikdə informasiya təqdimatının keyfiyyətinin artırılmasına və istifadəçi təcrübəsinin yaxşılaşdırılmasına əhəmiyyətli təsir göstərir.

Mənfi təsirlər.

Deepfake texnologiyalarının ən əsas mənfi təsiri saxta xəbərlərin və dezinformasiyaların yayılmasıdır. Bu texnologiyalardan istifadə edilərək hazırlanan materiallar ictimai rəyin manipulyasiyası və siyasi proseslərin istiqamətlərinin dəyişdirilməsi kimi halların yaranmasına səbəb ola bilər. Məsələn, 2022-ci ildə Ukrayna Prezidentinin təslim olmasını əks etdirən saxta videolar hazırlanmışdı. Belə material və ya kontentlər sosial media vasitəsilə sürətlə yayılaraq qısa zamanda geniş kütləyə təsir edə bilir.

Bununla yanaşı, insanların görüntülərinin və səslərinin icazəsiz şəkildə istifadə olunması şəxsi hüquqların pozulmasına gətirib çıxarır. Bu da həm hüquqi, həm də etik problemlərin yaranması ilə nəticələnir [2]. Hüquqi və etik problemlərə müəllif hüquqlarının pozulması, şəxsi məlumatların icazəsiz istifadəsi, şantaj

və kibercinayətkarlıq hallarını aid etmək olar. Hazırda bir sıra ölkələrdə deepfake texnologiyalarının istifadəsinə dair hüquqi çərçivənin formalaşdırılması üzrə tədbirlər görülür. Lakin bu çərçivənin formalaşdırılması prosesi hələ yekunlaşmadığına görə rəqəmsal mühitdə boşluqlar qalmaqda davam edir və bu da texnologiyadan sui-istifadə risklərinin artmasına şərait yaradır [4].

Həmçinin, deepfake texnologiyalarının geniş yayılması nəticəsində "görülən hər şeyə inanmaq" prinsipi zaman keçdikcə zəifləyir. Bu isə ümumi informasiya etibarlılığının azalmasına, insanların media mənbələrinə qarşı daha şübhəli yanaşmasına və inamın zəifləməsinə səbəb olur [3].

Bu mənfi təsirləri azaltmaq üçün müxtəlif deepfake aşkarlama metodları inkişaf etdirilir. Bu metodlar əsasən süni intellekt yanaşmalarına və görüntü analizi texnikalarına əsaslanır. Məqsəd real və saxta kontentləri daha yüksək dəqiqliklə bir-birindən ayırd edərək informasiya təhlükəsizliyini təmin etməkdir.

Deepfake aşkarlama metodlarına görüntü artefaktlarının analizi, dərin öyrənmə əsaslı deteksiya modelləri, audio və video siqnallar arasında uyğunsuzluqların aşkarlanması daxildir. Xüsusilə CNN(Convolutional Neural Networks) əsaslı modellər deepfake materialların aşkarlanmasında yüksək effektivlik ehtiva edir [5]. Əlavə olaraq, sosial media platformaları tərəfindən bir sıra avtomatik filtr və moderasiya sistemləri də tətbiq olunur ki, bunlar risklərin azaldılmasına kömək edir.

NƏTICƏ

Süni intellekt və dərin öyrənmə sahəsində əldə edilən mühüm nailiyyətlərdən biri də deepfake texnologiyaları hesab olunur. Aparılan araşdırmalar göstərir ki, bu texnologiya yaradıcı sənaye ilə yanaşı, təhsil, əyləncə sənayesi, kibertəhlükəsizlik və marketinq kimi müxtəlif sahələrdə geniş tətbiq imkanlarına malikdir. Xüsusilə audio və video materialların yüksək dəqiqliklə analiz edilməsi rəqəmsal kontentin hazırlanmasını daha effektiv hala gətirir.

Bundan əlavə, deepfake texnologiyalarının müsbət tərərfləri ilə yanaşı bəzi mənfi tərəfləri də mövcuddur ki, məsələn, bu texnologiyaların nəzarətsiz istifadəsi ictimai rəyin manipulyasiyası, dezinformasiyaların yayılması və şəxsi hüquqların pozulması kimi ciddi problemlərə də səbəb ola bilər. Saxta materialların sosial mediada sürətlə yayılması informasiya etibarlılığını azaldır və cəmiyyətdə inamsızlıq yaradır.

Həmçinin, bu texnologiyanın inkişafı etik və hüquqi tənzimləmələrin zəruriliyini də artırır. Mövcud boşluqların aradan qaldırılması məqsədilə həm beynəlxalq hüquqi mexanizmlərin, həm də texniki aşkarlama sistemlərinin inkişaf etdirilməsi mütləqdir.

Nəticə olaraq demək olar ki, deepfake texnologiyaları həm böyük innovativ imkanlar təqdim edən, həm də ciddi risklər ehtiva edən müasir texnologiyadır. Yalnız balanslı texniki, etik və hüquqi yanaşmalar əsasında ondan təhlükəsiz şəkildə istifadə etmək mümkündür.

Ədəbiyyat siyahısı

[1] Chesney, R., & Citron, D. K. (2019). Deepfakes and the New Disinformation War. Foreign Affairs.

[2] Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2014). Generative Adversarial Nets. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS).

[3] Mirsky, Y., & Lee, W. (2021). The Creation and Detection of Deepfakes: A Survey. ACM Computing Surveys.

[4] Verdoliva, L. (2020). Media Forensics and DeepFakes: An Overview. IEEE Signal Processing Magazine.

[5] Tolosana, R., Vera-Rodriguez, R., Fierrez, J., Morales, A., & Ortega-Garcia, J. (2020). DeepFakes and Beyond: A Survey of Face Manipulation and Fake Detection. Information Fusion.

KİBERPSİXOLOGİYANIN SOSİAL VƏ PSİXOLOJİ TƏSİRLƏRİ

Sultanova İlhamə Həmid qızı
Bakı Biznes Universitetinin
Humanitar elmlər kafedrasının müəllimi
E-mail ilhama.sultanova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5485-7830
BAKI,AZƏRBAYCAN

Xülasə

Məqalədə müasir informasiya cəmiyyətində kiberpsixologiyanın sosial-psixoloji aspektləri araşdırılır. Rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı fonunda sosial münasibətlərin dəyişməsi, fərdi və kollektiv identikliyin formalaşması, sosial medianın psixoloji təsirləri və davranış modellərindəki dəyişikliklər təhlil edilir. Xarici və yerli tədqiqatlar müqayisəli şəkildə təqdim olunub. Bakı şəhərində tələbələr arasında aparılan empirik sorğu sosial medianın emosional vəziyyət, özünəqiymətləndirmə və sosial əlaqələrə təsirini göstərmişdir. Nəticələr göstərir ki, sosial media həm inkişaf imkanları təqdim edir, həm də emosional asılılıq, sosial müqayisə və psixoloji gərginlik kimi riskləri artırır.

Açar sözlər:kiberpsixologiya, sosial media, identiklik, rəqəmsal mühit, gənclər, sosial davranış, psixoloji təsir

Abstract

This article provides a comprehensive analysis of the socio-psychological aspects of cyberpsychology in the contemporary information society. Against the backdrop of rapid digital technological advancements, it examines the transformation of social relationships, the formation of individual and collective identities, the psychological effects of social media, and changes in behavioral patterns. The study compares findings from both international and local research. An empirical survey conducted among students in Baku investigated the impact of social media use on emotional well-being, self-esteem, and social interactions. The results indicate that while social media offers developmental opportunities, it also generates risks such as emotional dependency, social comparison, and psychological stress.

Keywords:cyberpsychology, social media, identity, digital environment, youth, social behavior, psychological impact

Giriş: Müasir informasiya cəmiyyəti rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı ilə xarakterizə olunur. İnternet, mobil texnologiyalar və sosial media platformalarının geniş yayılması insanların sosial münasibətlərini, ünsiyyət formalarını və gündəlik davranış modellərini köklü şəkildə dəyişdirib. Bu dəyişikliklər yalnız texnoloji inkişafa aid deyil, həm də sosial strukturun və fərdi identikliyin transformasiyasının göstəricisidir.Onlayn mühit fərdlər üçün alternativ yox, paralel sosial reallıqdır. Bu mühitdə insan yalnız informasiya istehlakçısı deyil, həm də kontent yaradıcısı və sosial münasibətlərin iştirakçısıdır. Sosial şəbəkələrdə insanlar özlərini təqdim edir, sosial statuslarını müəyyənləşdirir və müxtəlif qruplarla qarşılıqlı əlaqəyə girirlər. Bu baxımdan kiberpsixologiya virtual mühitdə insan davranışını öyrənən mühüm elmi istiqamət kimi çıxış edir.

C. Suler (2004) qeyd edir ki, onlayn mühitdə sosial məhdudiyyətlərin azalması fərdlərin sərbəst və bəzən nəzarətsiz davranış nümayiş etdirməsinə səbəb olur. Bu "onlayn disinhibisiya effekti" olaraq tanınır və virtual mühitdə sosial normativlərin transformasiyasına yol açır.G.U. Soldatova (2019) internetin yeni sosial reallıq yaratdığını, fərdlərə özünüifadə və identiklik formalaşdırmaq imkanları verdiyini bildirir. Xüsusilə sosial media platformaları vizual identikliyin qurulmasında mühüm rol oynayır. İstifadəçilər özlərini şəkillər, videolar və digər vizual kontent vasitəsilə təqdim edir və sosial təsdiq mexanizmləri (layklar, şərhlər) onların özünəqiymətləndirməsinə təsir göstərir.Sosial media gənclərin identiklik formalaşmasında xüsusi rol oynayır. Yeniyetmələr üçün bu mühit real sosial münasibətlərin davamı kimi çıxış edir (Khararbakhova, Musatova, Shpagina, 2021). Digər tərəfdən, sosial müqayisə və sosial təsdiqə asılılıq emosional gərginlik və narahatlıq yarada bilər.

Bu məqalənin məqsədi rəqəmsal mühitin fərdin sosial davranışına və psixoloji vəziyyətinə təsirini nəzəri və empirik baxımdan təhlil etməkdir.

Nəzəri təhlili: Ədəbiyyat təhlili göstərir ki, kiberpsixologiya sosial münasibətlər və identiklik üçün yeni yanaşmalar təqdim edir. D. Boyd (2014) gənclərin onlayn ünsiyyətində mürəkkəb sosial davranışların formalaşdığını, sosial media istifadəsinin yalnız kommunikasiya deyil, həm də sosial identiklik vasitəsi

olduğunu vurğulayır.M. Castells (2010) şəbəkə cəmiyyətinin yaranmasını təsvir edərək qeyd edir ki, rəqəmsal texnologiyalar sosial strukturun əsas elementinə çevrilib. A.N. Joinson (2007) virtual dünya ilə real həyat arasındakı əlaqələri və fərdi davranış dəyişikliklərini araşdırmışdır.K.Y.A. McKenna və J.A. Bargh (2000) internetin fərdi şəxsiyyət və sosial psixologiyaya təsirlərini analiz edərək qeyd edirlər ki, onlayn anonimlik fərdlərin real həyatda nümayiş etdirmədikləri davranışları ortaya çıxara bilər. P. Valkenburg və J. Peter (2009) sosial medianın yeniyetmələr üzərində həm müsbət, həm də mənfi təsirlərini geniş araşdırmışlar.Azərbaycanda aparılmış araşdırmalar da oxşar nəticələr göstərir. A. Abbasov (2020) sosial texnologiyaların sosial struktur və ünsiyyət modellərini dəyişdirdiyini bildirir. R. Aliyeva (2022) isə gənclərin sosial mediada fəallığının onların dəyərlər sistemi və kommunikativ bacarıqlarına birbaşa təsir etdiyini vurğulayır.G.U. Soldatova (2019) və S. Turkle (2011) qeyd edir ki, rəqəmsal mühit yalnız ünsiyyət vasitəsi deyil, həm də yeni sosial reallıqdır; burada fərdlər özünü təqdim etmə və sosial təsir mexanizmlərində iştirak edirlər.Beləliklə, həm xarici, həm də yerli ədəbiyyat göstərir ki, rəqəmsal mühit fərdi və sosial davranışları köklü şəkildə dəyişir, yeni identiklik formaları yaradır və psixoloji vəziyyətə təsir göstərir.

Metodologiya

Tədqiqat Bakı Biznes Universitetində 250 tələbə arasında aparılmışdır. Məqsəd sosial medianın gənclərin emosional vəziyyətinə, özünəqiymətləndirməsinə və sosial əlaqələrinə təsirini müəyyən etməkdir.

Tədqiqat metodu:

Sorğu (questionnaire)

5 ballıq Likert şkalası (1 – tam razı deyil, 5 – tam razıdır)

İştirakçılar:

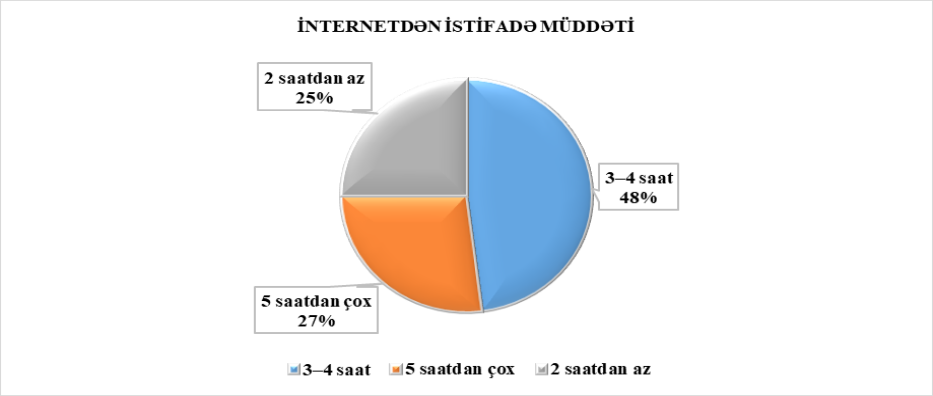
- Ümumi sayı: 250 tələbə
- Yaş aralığı: 17–23
- Cins: həm oğlanlar, həm qızlar daxil edilmişdir
- Seçim kriteriyası: tələbələrin sosial media istifadəçiləri olması

Araşdırılan göstəricilər:

- Sosial şəbəkələrdə istifadə müddəti: Gündəlik orta saat sayı və platformalara görə fərqliliklər.
- Özünəqiymətləndirmənin sosial təsdiqdən asılılığı: Respondentlərin layk, şərh və digər sosial təsdiq mexanizmlərinə bağlılıq səviyyəsi.
- Emosional vəziyyət: Sosial media istifadəsindən sonra yaranan duyğular – motivasiya, narahatlıq, stres və s.
- Sosial əlaqələr: Virtual və real əlaqələrin genişlənməsi, dost dairəsinin dəyişməsi, sosial media vasitəsilə qurulan ünsiyyətin keyfiyyəti və xarakteri.

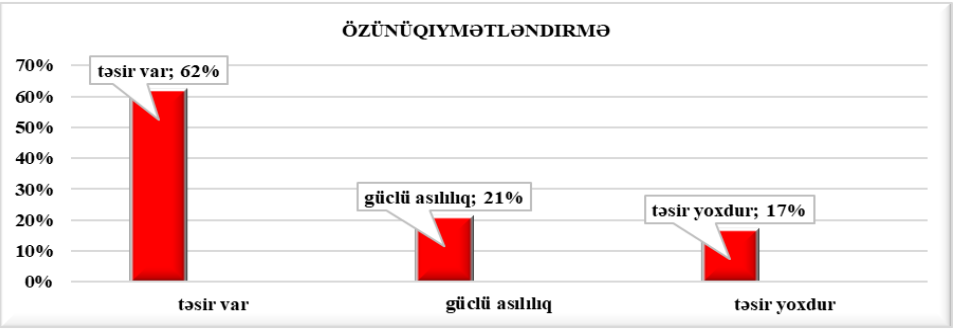
Sorğunun nəticələrini diaqrmalarda əks olunub.

DİAQRAM 1



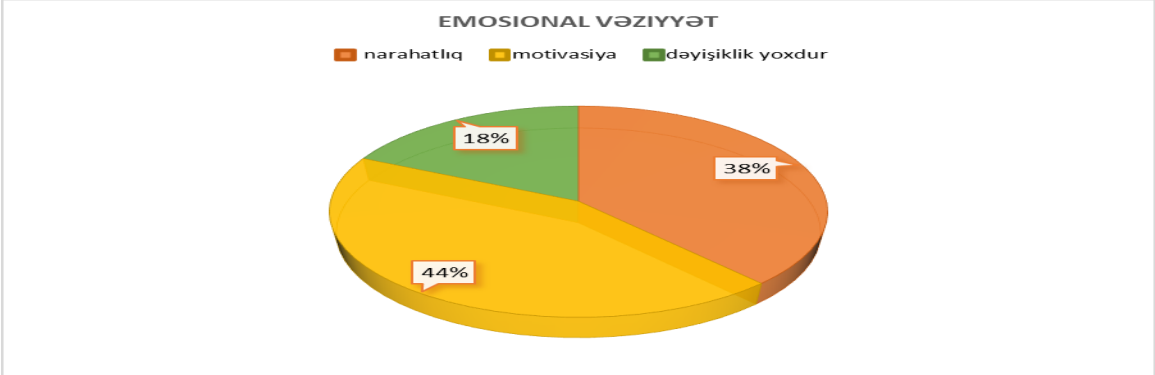
Diaqram № 1 əks olunan sorğunun nəticələri göstərir ki, gənclərin böyük hissəsi (48%) gündəlik sosial mediada 3–4 saat vaxt keçirir. 27%-i isə 5 saatdan çox istifadə edərək, rəqəmsal mühitin gündəlik həyatdakı dominant rolunu göstərir. 25% istifadə müddəti 2 saatdan azdır, yəni bu qrup sosial mediadan daha ölçülü istifadə edir. 3–4 saat qrupunun yüksək payı gənclərin sosial media ilə aktiv əlaqəsini göstərir.5 saatdan çox istifadə edənlər emosional və sosial təsir baxımından risk qrupu kimi qiymətləndirilə bilər.

DİAQRAM 2



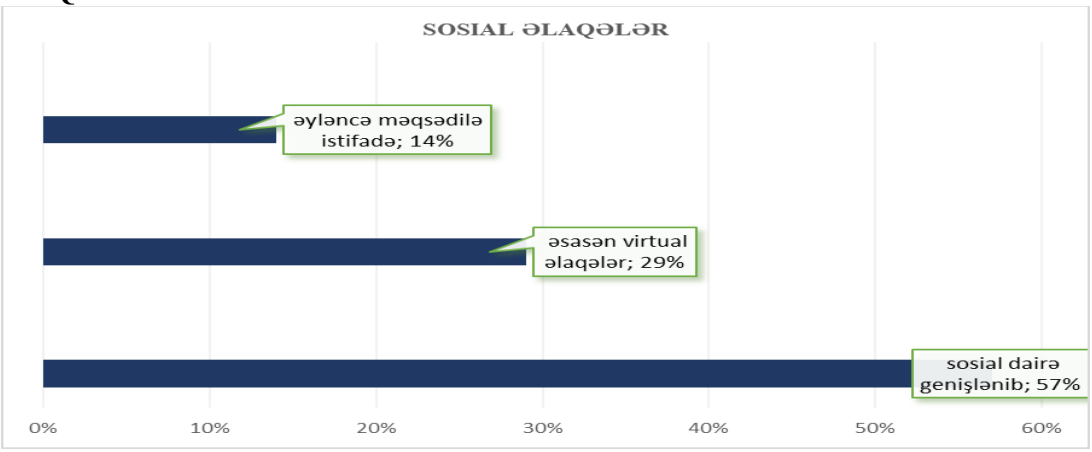
Diaqram №2 -dən göründüyü kimi sorğu göstərir ki, gənclərin əksəriyyəti (62%) sosial media təsdiqlərinə (layk, şərh və s.) bağlı olaraq özünəqiymətləndirməyə təsir hiss edir. 21% respondentlərdə bu təsir yüksək dərəcədə emosional asılılıq yaradır. 17% üçün isə sosial media özünəqiymətləndirməyə təsirsizdir.

DİAQRAM 3



Diaqram № 3 -ün təhlili göstərir ki, 44% respondent sosial media istifadəsindən sonra motivasiya hissi yaşadığını bildirir, bu müsbət təsirin göstəricisidir. Lakin 38% respondent narahatlıq və stress yaşadığını qeyd edir ki, bu da sosial müqayisə və rəqəmsal asılılıqdan qaynaqlana bilər. 18% üçün emosional vəziyyət dəyişməyib.Motivasiya və narahatlıq arasında balans fərdi fərqlilikləri və sosial media istifadəsinin ikitərəfli təsirini göstərir

DİAQRAM 4



4№ li diaqramın təhlili göstərir ki, respondentlərin 57%-i sosial şəbəkələr vasitəsilə real və virtual əlaqələrinin genişləndiyini qeyd edib. 29% yalnız virtual əlaqələrlə aktivdir, yəni real həyatda sosial şəbəkələrin köməyi ilə daha az ünsiyyət qururlar. 14% sosial mediadan əsasən əyləncə məqsədilə istifadə edir.Genişlənmiş sosial dairə müsbət sosial təsirin göstəricisidir, lakin əsasən virtual əlaqələr reallıqla uyğunluq və sosial adaptasiya risklərini ortaya qoyur.

Müzakirə: Tədqiqat nəticələri göstərir ki, sosial media gənclərin həyatında mühüm rol oynayır. Uzunmüddətli istifadə rəqəmsal mühitin dominant rolunu təsdiqləyir Özünəqiymətləndirmənin sosial təsdiqdən asılılığı (62%) və güclü emosional asılılıq (21%) sosial müqayisənin güclü olduğunu göstərir və narahatlıq yarada bilər Sosial əlaqələrlə bağlı nəticələr göstərir ki, 57% respondent sosial şəbəkələrin

ünsiyyət dairəsini genişləndirdiyini bildirir. Lakin 29%-nin əsasən virtual əlaqələrə üstünlük verməsi real sosial münasibətlərin zəifləməsi riskini ortaya qoyur Azərbaycanlı tədqiqatçılar da göstərir ki, rəqəmsal texnologiyalar sosial strukturu və ünsiyyət modellərini dəyişir Ümumilikdə, sosial media həm inkişaf imkanları təqdim edir, həm də emosional asılılıq, müqayisə və psixoloji gərginlik kimi risklər yaradır. Bu baxımdan rəqəmsal savadlılığın artırılması, istifadə tənzimlənməsi və psixoloji dəstək proqramları vacibdir.

Nəticə

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, rəqəmsal mühit gənclərin sosial və psixoloji inkişafına həm müsbət, həm də mənfi təsir göstərir. Sosial media platformaları fərdlərə geniş ünsiyyət imkanları, sosial dəstək şəbəkələrinin yaradılması və informasiya mübadiləsi imkanları təqdim edir. Bununla yanaşı, istifadə müddətinin uzanması və sosial müqayisə mexanizmlərinə asılılıq emosional narahatlıq, özünəqiymətləndirmədə qeyri-sabitlik və sosial stress risklərini artırır. Beləliklə, rəqəmsal mühit həm inkişafedici potensiala malikdir, həm də gənclərin psixoloji rifahına təsir edən yeni risklər yaradır.

Tövsiyələr:

1. Rəqəmsal savadlılığın artırılması: Gənclər üçün sosial media istifadəsi, rəqəmsal davranış modelləri və risklər barədə təlim və seminarların təşkili. Bu, gənclərin özünüifadəsini balanslaşdırılmış şəkildə həyata keçirməsinə və sosial müqayisənin mənfi təsirlərini azaltmağa kömək edəcək.
2. Sosial media istifadəsinin vaxt və məzmun baxımından tənzimlənməsi: Gündəlik sosial media istifadəsinin normativ çərçivədə aparılması, məzmun seçiminin monitorinqi və istifadənin psixoloji təsirləri barədə maarifləndirmə. Bu, emosional gərginliyi azaltmaq və virtual mühitdə təhlükəsiz davranışın təşviqi üçün vacibdir.
3. Psixoloji maarifləndirmə və dəstək proqramlarının təşkili: Təhsil müəssisələrində və gənclər mərkəzlərində psixoloqlar tərəfindən onlayn və oflayn dəstək proqramlarının yaradılması. Bu proqramlar gənclərin sosial və emosional adaptasiyasını dəstəkləyəcək və kiberasılıq, narahatlıq, stress halları ilə mübarizə üçün vasitələr təqdim edəcək.
4. Təhsil müəssisələrində kiberpsixologiya mövzularının tədrisə inteqrasiyası: Rəqəmsal davranış və sosial-psixoloji aspektlərin müasir tədris proqramlarına daxil edilməsi, tələbələrin rəqəmsal mühitin təsirlərini akademik və praktiki baxımdan öyrənməsini təmin edəcək.
5. Valideyn və müəllimlər üçün maarifləndirmə tədbirləri: Sosial medianın uşaqların və gənclərin inkişafına təsirləri barədə valideyn və müəllimlərin məlumatlandırılması. Onlar gənclərin rəqəmsal mühitdə davranışlarını izləmək, düzgün yönləndirmək və riskləri vaxtında aşkar etmək imkanına malik olacaqlar.
6. Beləliklə, tədqiqat göstərir ki, sosial media və rəqəmsal mühitin gənclərin inkişafına təsiri çoxşaxəlidir və həm inkişafedici, həm də risk yaradan aspektləri nəzərə alınmalıdır. Bu, gələcək tədqiqatların istiqamətini müəyyənləşdirmək və sosial-psixoloji dəstək mexanizmlərinin effektivliyini artırmaq üçün mühüm elmi əsas yaradır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Abbasov A. Информационное общество и трансформация социальных отношений. Баку, 2020.
2. Aliyeva R. Влияние социальной активности молодежи в социальных сетях на систему ценностей и коммуникативные навыки. Психология и образование, 2022, №2, с.6–8.
3. Boyd D. It's Complicated: The Social Lives of Networked Teens. New Haven: Yale University Press, 2014.
4. Castells M. The Rise of the Network Society. Oxford: Blackwell Publishers, 2010.
5. Joinson A.N. Understanding the Psychology of Internet Behaviour: Virtual Worlds, Real Lives. London: Palgrave Macmillan, 2007.
6. Khararbakhova L., Musatova E., Shpagina N. Virtual Environment and Adolescent Identity Formation. Психология и образование, 2021, №1, с.2–13.
7. McKenna K.Y.A., Bargh J.A. Plan 9 from Cyberspace: The Implications of the Internet for Personality and Social Psychology. Personality and Social Psychology Review, 2000, Vol.4, №1, p.57–75.
8. Suler J. The Online Disinhibition Effect. CyberPsychology & Behavior, 2004, Vol.7, №3, p.321–326.
9. Turkle S. Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other. New York: Basic Books, 2011.
10. Valkenburg P.M., Peter J. Social Consequences of the Internet for Adolescents: A Decade of Research. Current Directions in Psychological Science, 2009, Vol.18, №1, p.1–5.
11. Soldatova G.U. Психология интернета: теоретические основы и практические аспекты. Москва: Аспект Пресс, 2019.

SÜNİ İNTELLEKT ƏSASLI KİBERTƏHLÜKƏSİZLİK SİSTEMLƏRİ VƏ ADAPTİV MÜDAFİƏ MEXANİZMLƏRİ

Gülbiçə Zahidova
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
guabdullayeva@beu.edu.az

Leyla Zeynallı-Hüseynzadə
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
lzeynalli@beu.edu.az

Aytəkin Vəliyeva
Kibertəhlükəsizlik və kompüter mühəndisliyi
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
aveliyeva@beu.edu.az

Xülasə: Rəqəmsal transformasiya prosesləri və informasiya sistemlərinin tətbiqi kiberhücumların sayının və müxtəlifliyinin artması ilə müşayiət olunur. İmzalara əsaslanan ənənəvi yanaşmalar müasir təhdidlərin, xüsusən də zero days hücumların və çoxsaylı vektorlardan istifadə edən hücumların öhdəsindən gələ bilmir. Süni intellekt əsaslı kibertəhlükəsizlik sistemləri bu kimi çətinliklərə ümidverici bir həll yolu təqdim edir və sistem təhlükəsizliyini təmin etmək üçün yüksək dərəcədə adaptiv və proaktiv yanaşma təklif edir. Bu məqalədə süni intellekt yanaşmalarının, yəni maşın öyrənməsi və dərin öyrənmə modellərinin kibertəhlükəsizlik sahəsində tətbiqi nəzəri baxımdan araşdırılır. Eyni zamanda, adaptiv müdafiə sistemləri, dinamik risk qiymətləndirmə metodları və real vaxt reaksiya modelləri anlayışı nəzərdən keçirilir və həmçinin süni intellekt əsaslı sistemlərin arxitekturası, üstünlükləri və çatışmazlıqları müqayisə edilir. Nəticədə, özünü öyrənmə sistemlərinin ənənəvi statik sistemlərdən daha yüksək təhlükəsizlik təmin edə biləcəyi nümayiş etdirilir. Bundan əlavə, məqalədə model etibarlılığı, rəqib hücumları və false positive cəhətləri gələcək tədqiqatlar üçün potensial mövzular kimi vurğulanır.
Açar sözlər*: süni intellekt, kibertəhlükəsizlik, adaptiv müdafiə, maşın öyrənməsi, anomaliya deteksiyası, dinamik risk qiymətləndirilməsi, zero-day hücumlar, avtomatlaşdırılmış təhlükəsizlik sistemləri.*

GİRİŞ

İnformasiya cəmiyyətinin inkişafının hazırkı mərhələsində rəqəmsal infrastrukturlar artıq yalnız texnoloji komponent kimi deyil, həm də iqtisadi, sosial və siyasi fəaliyyətlərin əsas dayağı kimi çıxış edir. Dövlət idarəçiliyi, maliyyə sistemləri, sənaye müəssisələri və fərdi istifadəçilər gündəlik əməliyyatlarını böyük ölçüdə rəqəmsal platformalar üzərində həyata keçirirlər. Bu transformasiya nəticəsində məlumatların toplanması, emalı və ötürülməsi sürəti əhəmiyyətli dərəcədə artmış, eyni zamanda bu məlumatların qorunması məsələsi daha kritik hala gəlmişdir. Xüsusilə IoT (Əşyaların İnterneti) cihazlarının geniş yayılması, bulud hesablamalarının tətbiqinin artması və paylanmış sistemlərin formalaşması şəbəkə mühitini daha mürəkkəb və çoxqatlı etmişdir. Bu isə hücum səthinin genişlənməsinə, yəni potensial hücum nöqtələrinin sayının artmasına səbəb olur. Müasir kiberhücumlar artıq sadə və təsadüfi xarakter daşımır. Onlar planlaşdırılmış, məqsədyönlü və çox mərhələli struktura malik olur. Hücumçular süni intellektdən və avtomatlaşdırılmış vasitələrdən istifadə edərək müdafiə sistemlərini aşmaq üçün daha mürəkkəb strategiyalar hazırlayırlar. Sıfır gün hücumları (zero-day attacks), yəni əvvəllər məlum olmayan zəifliklərdən istifadə edən hücumlar, bu kontekstdə xüsusi təhlükə yaradır. Bundan əlavə, APT (Advanced Persistent Threat) kimi uzunmüddətli və gizli hücum kampaniyaları, sosial mühəndislik və fişinq hücumları təşkilatların informasiya təhlükəsizliyini ciddi şəkildə təhdid edir. Bu hücumların mürəkkəbliyi və dəyişkənliyi klassik təhlükəsizlik yanaşmalarının effektivliyini azaldır.

Ənənəvi kibertəhlükəsizlik sistemləri əsasən statik qaydalar və əvvəlcədən müəyyən edilmiş imzalar əsasında işləyir. Bu sistemlər yalnız məlum hücumları aşkar edə bilir və daha əvvəl rast gəlinməmiş

hücumlara qarşı zəif qalır.[1] Dinamik və dəyişkən hücum mühitində isə belə yanaşmalar kifayət etmir. Bu səbəbdən daha çevik, adaptiv və öyrənən sistemlərin yaradılması zərurəti yaranır. Süni intellekt məhz bu ehtiyaca cavab verən əsas texnologiyalardan biridir. Süni intellekt maşın öyrənməsi və dərin öyrənmə kimi metodlar vasitəsilə böyük həcmli verilənlər üzərində analiz aparmaq, nümunələri müəyyən etmək və proqnozlar vermək imkanına malikdir. Bu texnologiyalar şəbəkə trafikində gizlənmiş zərərli fəaliyyətləri aşkar etməyə, istifadəçi davranışlarını modelləşdirməyə və anomaliyaları müəyyən etməyə imkan verir. Məsələn, sistem istifadəçilərin adi davranışlarını öyrənərək bu davranışdan kənara çıxan fəaliyyətləri dərhal aşkar edə bilər. Bu isə həm daxili, həm də xarici təhdidlərin tez bir zamanda müəyyən edilməsinə şərait yaradır.

Adaptiv sistemlər süni intellektin ən mühüm tətbiq sahələrindən biridir. Bu sistemlər davamlı olaraq yeni məlumatlar əsasında özünü yeniləyir və dəyişən mühitə uyğunlaşır. Dinamik risk qiymətləndirməsi bu yanaşmanın əsas elementlərindən biridir. Sistem real vaxt rejimində mövcud vəziyyəti analiz edir, risk səviyyəsini müəyyən edir və uyğun müdafiə tədbirlərini avtomatik şəkildə tətbiq edir. Bu isə kibertəhlükəsizlik sistemlərinin yalnız reaktiv deyil, həm də proaktiv fəaliyyət göstərməsinə imkan verir.

Məqalədə süni intellektə əsaslanan kibertəhlükəsizlik sistemlərinin nəzəri əsasları və konseptual yanaşmaları geniş şəkildə təhlil olunur. Bu çərçivədə belə sistemlərin arxitekturası da araşdırılır. Tipik olaraq, bu arxitektura məlumatların toplanması, emalı, xüsusiyyətlərin çıxarılması, modelin qurulması, real vaxt analizi və cavab mexanizmlərindən ibarət çoxmərhələli struktura malikdir. Hər bir mərhələ sistemin ümumi effektivliyinə təsir göstərir və onların düzgün inteqrasiyası yüksək performansın təmin olunması üçün vacibdir.

Bununla yanaşı, süni intellekt əsaslı kibertəhlükəsizlik sistemlərinin tətbiqi bir sıra üstünlüklərlə yanaşı müəyyən riskləri də özündə ehtiva edir. Bu sistemlər böyük həcmdə məlumatı sürətli şəkildə emal edə və insan faktorundan asılılığı azalda bilir. Lakin model qərəzi, false positive, həmçinin yüksək hesablama resurslarına ehtiyac kimi problemlər onların tətbiqini çətinləşdirə bilər. Bundan əlavə, süni intellekt sistemlərinin özləri də xüsusi hazırlanmış hücumlara (adversarial attacks) qarşı həssas ola bilər.

Gələcək inkişaf perspektivləri baxımından süni intellektin kibertəhlükəsizlikdə rolu daha da genişlənəcəkdir. Generativ süni intellekt texnologiyaları yeni hücum ssenarilərinin modelləşdirilməsi və müdafiə strategiyalarının test edilməsi üçün istifadə oluna bilər. Federativ öyrənmə yanaşması isə məlumatların mərkəzləşdirilmədən öyrənilməsinə imkan verərək məxfilik problemlərinin həllinə töhfə verə bilər. Eyni zamanda, kvant hesablama texnologiyalarının inkişafı mövcud kriptoqrafik sistemlər üçün yeni çağırışlar yaradır və bu sahədə əlavə tədqiqatların aparılmasını zəruri edir. Beləliklə, süni intellektə əsaslanan kibertəhlükəsizlik sistemləri müasir rəqəmsal mühitdə təhlükəsizliyin təmin olunması üçün strateji əhəmiyyət kəsb edir. Onların nəzəri və praktiki aspektlərinin öyrənilməsi, həmçinin mövcud risklərin düzgün qiymətləndirilməsi gələcəkdə daha etibarlı və effektiv müdafiə sistemlərinin yaradılmasına imkan verəcəkdir.

ƏSAS HISSƏ

Süni intellekt (Sİ) müasir informasiya cəmiyyətinin ən sürətlə inkişaf edən və ən çox təsir göstərən texnologiyalarından biridir. O, insan intellektinə xas olan öyrənmə, analiz etmə, məntiq yürütmə, qərar qəbul etmə və hətta müəyyən hallarda yaradıcılıq kimi funksiyaların kompüter sistemlərində modelləşdirilməsini əhatə edir. Bu texnologiyanın inkişafı ilə kompüterlər artıq yalnız verilmiş əmrləri icra edən passiv vasitələr deyil, həm də məlumatları analiz edən, nəticə çıxaran və qərar verə bilən aktiv sistemlərə çevrilmişdir. Bu dəyişiklik xüsusilə kibertəhlükəsizlik sahəsində özünü daha aydın göstərir.

Müasir dünyada rəqəmsallaşma demək olar ki, bütün sahələri əhatə etmişdir: bank sistemi, dövlət idarəçiliyi, səhiyyə, təhsil, sənaye və hətta gündəlik həyatımızın böyük hissəsi rəqəmsal platformalara əsaslanır. Bu isə məlumatların qorunmasını həyati əhəmiyyətli məsələ halına gətirir. Kiberhücumların həm sayı, həm də mürəkkəbliyi artdıqca, ənənəvi təhlükəsizlik üsulları bu hücumlara qarşı kifayət qədər effektiv olmur. Məhz bu səbəbdən süni intellekt əsaslı kibertəhlükəsizlik sistemləri aktuallaşmışdır. Ənənəvi təhlükəsizlik sistemləri əsasən qayda və imza əsaslı işləyir. Bu o deməkdir ki, sistem yalnız əvvəlcədən məlum olan hücum nümunələrini tanıya bilir. Lakin müasir hücumlar çox vaxt yeni və əvvəllər görülməmiş metodlardan istifadə edir. Bu halda süni intellektin əsas üstünlüyü ortaya çıxır: o, yalnız məlum nümunələri deyil, həm də davranış analizinə əsaslanaraq naməlum hücumları aşkar edə bilir.

Süni intellektin kibertəhlükəsizlikdə tətbiqi əsasən üç böyük istiqamətə bölünür: maşın öyrənməsi, dərin öyrənmə və gücləndirici öyrənmə[2]. Bu yanaşmaların hər biri fərqli problemlərin həllində istifadə olunur və birlikdə çox güclü müdafiə mexanizmi yaradır:

➢ Maşın öyrənməsi (Machine Learning) verilənlərdən öyrənmə prinsipinə əsaslanır. Bu yanaşmada sistemə böyük həcmdə məlumat təqdim edilir və o, bu məlumatlar əsasında müəyyən nümunələri və əlaqələri aşkar edir. Məsələn, şəbəkə trafiki analiz edilərək hansı fəaliyyətlərin normal, hansının isə şübhəli olduğu müəyyən edilir. Bu metodun üstünlüyü ondadır ki, sistem zaman keçdikcə daha dəqiq nəticələr verməyə başlayır. Maşın öyrənməsinin bir neçə növü vardır: nəzarətli öyrənmə, nəzarətsiz öyrənmə və yarı-nəzarətli öyrənmə. Nəzarətli öyrənmədə model əvvəlcədən etiketlənmiş məlumatlar üzərində təlim keçir. Məsələn, "zərərli" və "normal" kimi işarələnmiş trafik nümunələri əsasında model gələcəkdə bu fərqləri ayırd etməyi öyrənir. Nəzarətsiz öyrənmədə isə modelə etiketlənməmiş məlumatlar verilir və o, özü məlumat daxilindəki strukturları aşkar edir. Bu yanaşma anomaliyaların aşkarlanması üçün xüsusilə faydalıdır.

➢ Dərin öyrənmə (Deep Learning) isə maşın öyrənməsinin daha inkişaf etmiş formasıdır və süni neyron şəbəkələrinə əsaslanır. Bu şəbəkələr insan beyninin işləmə prinsipindən ilhamlanaraq yaradılmışdır. Dərin öyrənmə modelləri çoxqatlı struktura malikdir və məlumatların müxtəlif səviyyələrdə emalına imkan verir. Bu xüsusiyyət ona mürəkkəb və böyük həcmli məlumatları analiz etmək imkanı verir. Məsələn, şəbəkə trafikində gizlənmiş hücumların aşkarlanması üçün dərin öyrənmə modelləri istifadə olunur. Bu modellər yalnız açıq şəkildə görünən nümunələri deyil, həm də gizli əlaqələri aşkar edə bilir. Bundan əlavə, dərin öyrənmə fişinq e-maillərinin müəyyən edilməsi, zərərli proqramların analizi və istifadəçi davranışlarının modelləşdirilməsi kimi sahələrdə geniş istifadə olunur.

➢ Gücləndirici öyrənmə (Reinforcement Learning) isə daha fərqli yanaşmadır. Bu metodda sistem ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqə quraraq öyrənir. O, müxtəlif hərəkətləri sınayır və nəticələrə əsasən hansı qərarın daha yaxşı olduğunu müəyyən edir. Bu proses mükafat və cəza mexanizmi üzərində qurulur.

Kibertəhlükəsizlikdə gücləndirici öyrənmə dinamik müdafiə sistemlərinin yaradılmasında istifadə olunur. Məsələn, sistem müxtəlif hücum ssenarilərinə qarşı hansı tədbirin daha effektiv olduğunu öyrənə bilər. Bu isə avtomatlaşdırılmış və ağıllı müdafiə mexanizmlərinin formalaşmasına imkan yaradır. Kibertəhlükəsizlik sistemlərinin əsas məqsədi "CIA triadası" kimi tanınan üç əsas prinsipi qorumaqdır: məxfilik, bütövlük və əlçatanlıq. Məxfilik məlumatların icazəsiz şəxslər tərəfindən əldə olunmasının qarşısını alır. Bütövlük məlumatların dəyişdirilməməsini və düzgün saxlanılmasını təmin edir. Əlçatanlıq isə məlumatların lazım olduqda əlçatan olmasını təmin edir. Süni intellekt bu prinsiplərin qorunmasında müxtəlif funksiyalar vasitəsilə iştirak edir. İlk olaraq hücumların aşkarlanması vacibdir. Süni intellekt sistemləri həm məlum, həm də yeni hücumları müəyyən edə bilir. Bu, xüsusilə sıfır gün hücumlarına qarşı effektivdir.

Anomaliya aşkarlanması isə daha dərin analiz tələb edir. Sistem əvvəlcə normal davranışı öyrənir və sonra bu davranışdan kənara çıxan halları müəyyən edir. Bu yanaşma daxili təhdidlərin və gizli hücumların aşkarlanmasında mühüm rol oynayır. Təhlükənin proqnozlaşdırılması funksiyası isə gələcək risklərin əvvəlcədən müəyyən edilməsinə imkan verir. Bu, təşkilatlara hücum baş verməzdən əvvəl tədbir görmək imkanı yaradır. Məsələn, sistem müəyyən bir IP ünvanından gələn trafikdə riskli davranış müşahidə edərsə, gələcəkdə bu mənbədən hücum ehtimalını yüksək qiymətləndirə bilər. Reaksiya mərhələsində isə süni intellekt avtomatlaşdırılmış qərarlar qəbul edir. Bu qərarlar çox sürətli olduğu üçün hücumların təsirini minimuma endirir. Məsələn, sistem zərərli fəaliyyəti aşkar etdikdə həmin əlaqəni dərhal kəsə və ya sistemi izolyasiya edə bilər.

Süni intellekt əsaslı sistemlərin arxitekturası da olduqca mürəkkəbdir. Bu sistemlər bir neçə mərhələdən ibarətdir: məlumatların toplanması, məlumatların emalı, modelin qurulması, real vaxt analiz və cavab mexanizmi. Məlumatların toplanması mərhələsində müxtəlif mənbələrdən məlumatlar əldə edilir. Bu məlumatlar nə qədər keyfiyyətli olarsa, model bir o qədər dəqiq işləyər[3]. Məlumatların emalı mərhələsində xam məlumatlar təmizlənir, strukturlaşdırılır və analiz üçün hazırlanır. Daha sonra model qurulur və sistem bu model əsasında öyrənir. Real vaxt analiz isə sistemin davamlı olaraq işləməsini təmin edir. Bu xüsusiyyət hücumların dərhal aşkarlanmasına imkan verir.

Adaptiv təhlükəsizlik yanaşması süni intellektin ən mühüm üstünlüklərindən biridir. Bu yanaşma sistemin daim dəyişən mühitə uyğunlaşmasını təmin edir. Sistem yeni məlumatlar əsasında özünü yeniləyir və daha effektiv müdafiə strategiyaları formalaşdırır.

Bununla belə, süni intellekt sistemlərinin bəzi çatışmazlıqları da mövcuddur. False positive, model qərəzi və yüksək resurs tələbi bu sistemlərin əsas problemləridir. Bundan əlavə, süni intellekt sistemləri də hücumlara məruz qala bilər. Xüsusilə adversarial hücumlar modelin səhv qərarlar verməsinə səbəb ola bilər.

Gələcəkdə süni intellektin kibertəhlükəsizlikdə rolu daha da artacaq. Adaptiv süni intellekt yeni hücum modellərinin yaradılması və müdafiə strategiyalarının test edilməsi üçün istifadə ediləcək. Federativ öyrənmə isə məlumatların paylaşılmadan öyrənilməsinə imkan verəcək[4]. Kvant hesablama texnologiyalarının inkişafı isə həm risk, həm də imkan yaradır. Mövcud şifrələmə üsulları zəifləyə bilər, lakin eyni zamanda daha güclü təhlükəsizlik mexanizmlərinin yaradılması üçün imkanlar açılır. Süni intellekt kibertəhlükəsizlik sahəsində inqilabi dəyişikliklər yaradır. O, daha ağıllı, sürətli və adaptiv müdafiə sistemlərinin qurulmasına imkan verir. Lakin bu texnologiyanın effektiv istifadəsi üçün onun məhdudiyyətləri də nəzərə alınmalı və davamlı şəkildə inkişaf etdirilməlidir[5].

NƏTİCƏ

Rəqəmsal mühitdə kiber təhdidlərin mürəkkəbliyinin və miqyasının artması ənənəvi kibertəhlükəsizlik yanaşmalarının kifayət qədər effektiv olmadığını göstərir. Statik qaydalara və imza əsaslı sistemlərə əsaslanan bu yanaşmalar yalnız məlum hücumları aşkar edə bilir və yeni, dinamik hücum formalarına uyğunlaşmaqda çətinlik çəkir. Nəticədə təşkilatlar çox vaxt gec reaksiya verir və bu da maliyyə və reputasiya baxımından ciddi itkilərə səbəb olur.

Bu baxımdan süni intellekt əsaslı kibertəhlükəsizlik sistemləri daha müasir və effektiv həll kimi çıxış edir. Süni intellekt dinamik və öyrənən struktura malik olduğu üçün dəyişən mühitə uyğunlaşa bilir və yalnız mövcud təhlükələri deyil, həm də potensial riskləri əvvəlcədən proqnozlaşdıra bilir. Bu isə kibertəhlükəsizlikdə proaktiv yanaşmanın tətbiqinə imkan yaradır.

Maşın öyrənməsi, dərin öyrənmə və gücləndirici öyrənmə bu sahədə əsas texnologiyalar hesab olunur. Maşın öyrənməsi böyük həcmdə verilənləri analiz edərək normal və qeyri-normal davranışları müəyyən edir və anomaliyaların aşkarlanmasına kömək edir. Dərin öyrənmə mürəkkəb və böyük verilənlər üzərində işləyərək gizli hücum nümunələrini aşkar edir. Gücləndirici öyrənmə isə sistemin təcrübə əsasında optimal qərarlar qəbul etməsinə şərait yaradır və müdafiə mexanizmlərini daha adaptiv edir.

Adaptiv kibertəhlükəsizlik sistemləri real vaxt rejimində məlumatları təhlil edir, riskləri qiymətləndirir və avtomatik qərarlar qəbul edir. Bu, həm qərar qəbuletmə sürətini artırır, həm də insan faktorundan asılılığı azaldır. Belə sistemlər yalnız reaksiya verməklə kifayətlənmir, həm də hücumların qarşısını əvvəlcədən almağa kömək edir.

Bununla belə, süni intellekt əsaslı sistemlərin bəzi çatışmazlıqları da mövcuddur. Modellərin etibarlılığı, yanlış müsbət və yanlış mənfi nəticələr, həmçinin rəqib hücumlar bu sahədə əsas problemlərdən hesab olunur. Bundan əlavə, bu sistemlərin işlədilməsi üçün yüksək hesablama resursları tələb olunur.

Nəticə olaraq, süni intellekt kibertəhlükəsizlik sahəsində ən perspektivli yanaşmalardan biridir. O, daha sürətli, dəqiq və adaptiv müdafiə mexanizmləri təqdim edir. Lakin onun effektiv tətbiqi üçün mövcud risklər nəzərə alınmalı və texnologiya davamlı şəkildə inkişaf etdirilməlidir.

ƏDƏBIYYAT

1. https://au.edu.az/userfiles/uploads/531af8d7c6cad9d7db0ced1910c5696b.pdf
2. IBM Security (2023). AI and Machine Learning in Cyber Defense Systems. Technical Report.
3. Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson.
4. Hüseynov, R. (2022). “Kibertəhlükəsizlikdə süni intellektin tətbiqi məsələləri”
5. NIST (2022). *Artificial Intelligence Risk Management Framework*. National Institute of Standards and Technology.

SÜNİ İNTELLEKTİN KİBERTƏHLÜKƏSİZLİK SAHƏSİNDƏ İKİLİ ROLU: TƏHDİDLƏR VƏ MÜDAFİƏ MEXANİZMLƏRİ

Ceyran Quliyeva
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
İnformasiya Texnologiyaları
jeyranguliyevaa@gmail.com
BAKI, AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ

Bu tədqiqat işi süni intellektin kibertəhlükəsizlik sahəsində həm təhdid, həm də müdafiə aləti kimi çıxış etməsinin aktuallığını əsaslandırır. İşin məqsədi süni intellekt texnologiyalarının kibertəhlükələrdə istifadəsini təhlil etmək və eyni zamanda onların müdafiə mexanizmlərində rolunu araşdırmaqdır. Elmi yenilik kimi bu iki tərəfli yanaşmanın sistemli şəkildə müqayisəli analizi təqdim olunur. Praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, əldə olunan nəticələr real təhlükəsizlik strategiyalarının qurulmasında tətbiq oluna bilər. Tədqiqatın üstünlüyü kompleks yanaşma təqdim etməsidir. Nəticə olaraq süni intellektin düzgün istifadəsinin təhlükəsizlik səviyyəsini əhəmiyyətli dərəcədə artıra biləcəyi müəyyən edilmişdir.

AÇAR SÖZLƏR:
Süni İntellekt, Kibertəhlükəsizlik, Kibertəhdidlər, Müdafiə Mexanizmləri, Maşın Öyrənməsi.

THE DUAL ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CYBERSECURITY: THREATS AND DEFENCE MECHANISMS

JEYRAN GULIYEVA

ABSTRACT

This research examines the dual role of artificial intelligence in cybersecurity as both a source of threats and a tool for defense, highlighting its growing relevance. The aim of the study is to analyze the use of artificial intelligence technologies in cyber threats while also exploring their role in defense mechanisms. The scientific novelty lies in providing a systematic comparative analysis of this dual nature. Its practical significance is reflected in the applicability of the findings to real-world security strategies. The study's strength is its comprehensive approach. As a result, it is concluded that the proper use of artificial intelligence can significantly enhance the level of security.

KEYWORDS: artificial intelligence, cybersecurity, cyber threats, defense mechanisms, machine learning

GIRIŞ

Müasir informasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı və rəqəmsallaşmanın geniş yayılması kibertəhlükəsizlik məsələlərini qlobal səviyyədə prioritet sahələrdən birinə çevirmişdir. Xüsusilə süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi bu sahədə yeni imkanlar yaratmaqla yanaşı, yeni risklərin də formalaşmasına səbəb olmuşdur. Süni intellekt kibertəhlükəsizlikdə maşın öyrənməsi, dərin öyrənmə, təbii dilin emalı, proqnozlaşdırıcı analitika və avtonom sistemlər vasitəsilə təhlükələrin aşkar edilməsi, qarşısının alınması, onlara operativ cavab verilməsi və əvvəlcədən proqnozlaşdırılması kimi mühüm funksiyaları yerinə yetirir. Bununla belə, eyni texnologiyaların kibercinayətkarlar tərəfindən istifadəsi bu sahədə təhlükələrin daha mürəkkəb və dinamik xarakter almasına gətirib çıxarmışdır. Bu baxımdan süni intellektin kibertəhlükəsizlik sahəsində ikili rolunun araşdırılması olduqca aktual və əhəmiyyətlidir.

Hal-hazırda mövcud təhlükəsizlik sistemlərinin böyük bir hissəsi ənənəvi imza əsaslı və ya qayda əsaslı yanaşmalara əsaslanır. Lakin bu cür sistemlər yeni və daha mürəkkəb hücum növlərinə qarşı kifayət qədər effektiv olmur. Süni intellektə əsaslanan sistemlər isə böyük həcmdə məlumatları təhlil edərək davranış nümunələrini öyrənir, anomaliyaları müəyyən edir və yeni hücum modellərini aşkar edə bilir. Bu xüsusiyyətlər onları daha adaptiv və effektiv edir. Bununla belə, elmi ədəbiyyatda əsas diqqət çox vaxt yalnız süni intellektin müdafiə imkanlarına yönəldilmiş, onun təhdid yaradan tərəfi isə kifayət qədər kompleks şəkildə araşdırılmamışdır. Bu isə sahədə müəyyən boşluqların mövcud olduğunu və daha geniş tədqiqatlara ehtiyac olduğunu göstərir.

Tədqiqat işinin əsas məqsədi süni intellektin kibertəhlükəsizlik sahəsində həm təhdid, həm də müdafiə vasitəsi kimi rolunu sistemli şəkildə təhlil etməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün süni intellektin tətbiq sahələri araşdırılmış, mövcud yanaşmalar müqayisə edilmiş və onun kibertəhlükələrdə istifadəsi ilə müdafiə mexanizmlərində rolu geniş şəkildə təhlil edilmişdir. Tədqiqat zamanı analitik, müqayisəli və

sistemli yanaşma metodlarından istifadə olunmuşdur ki, bu da mövzunun daha dərindən və obyektiv şəkildə öyrənilməsinə imkan vermişdir. İşin elmi yeniliyi süni intellektin ikili rolunun vahid çərçivədə kompleks şəkildə araşdırılması ilə bağlıdır, praktiki əhəmiyyəti isə real kibertəhlükəsizlik strategiyalarının hazırlanmasında istifadə oluna bilməsidir.

Tədqiqat işi struktur baxımından giriş, əsas hissə və nəticədən ibarətdir. Əsas hissədə süni intellektin kibertəhlükələrdə istifadəsi, bu texnologiyaların yaratdığı risklər, eyni zamanda müdafiə mexanizmlərində rolu və onların müqayisəli təhlili təqdim olunur. Nəticə hissəsində isə aparılmış tədqiqat ümumiləşdirilir, əldə olunan nəticələr əsasında müvafiq təkliflər və gələcək tədqiqat istiqamətləri irəli sürülür.

TƏDQIQAT

Süni intellekt (Sİ) kibertəhlükəsizlik sistemində kibertəhlükələrin aşkarlanması, qarşısının alınması və onlara operativ cavab verilməsinin gücləndirilməsi məqsədilə ağıllı alqoritmlərin və maşın öyrənməsi metodlarının tətbiqini ifadə edir. Bu texnologiya kibertəhlükəsizlik sistemlərinə böyük həcmdə məlumatları yüksək sürətlə analiz etmək, davranış nümunələrini müəyyənləşdirmək və insan imkanlarını aşan dəqiqliklə qərarlar qəbul etmək imkanı yaradır.

Süni intellektin kibertəhlükəsizlik sahəsində rolu çoxşaxəlidir. O, jurnal fayllarının (logların) təhlili, zəifliklərin aşkarlanması və sistem monitorinqi kimi təkrarlanan və vaxt aparan prosesləri avtomatlaşdırır. Bu isə kibertəhlükəsizlik mütəxəssislərinə daha mürəkkəb və strateji məsələlərə fokuslanmaq imkanı verir. Eyni zamanda, süni intellektə əsaslanan sistemlər real vaxt rejimində təhlükələri müəyyən edərək operativ müdaxilə və zərərin minimuma endirilməsini təmin edir.

Bundan əlavə, süni intellekt davamlı öyrənmə qabiliyyətinə malikdir. O, yeni məlumatlar əsasında öz modellərini təkmilləşdirir və daim dəyişən kibertəhdid mühitinə uyğunlaşır. Bu xüsusiyyət onun yeni və əvvəllər məlum olmayan hücum növlərini belə aşkarlamasına imkan verir.

Nəticə etibarilə, süni intellekt kibertəhlükəsizlik sahəsində həm aşkarlama proseslərini təkmilləşdirir, həm də müdafiə mexanizmlərini gücləndirir. Davranış analizləri, fişinq hücumlarının müəyyən edilməsi və adaptiv öyrənmə imkanları sayəsində Sİ müasir kibertəhlükəsizlik strategiyalarının əsas komponentlərindən birinə çevrilmişdir. Bu texnologiya proaktiv müdafiəni təmin edərək həssas məlumatların qorunmasında mühüm rol oynayır.

Süni intellekt kibertəhlükələrin qarşısını necə alır?

Süni intellekt (Sİ) kibertəhlükəsizlik sahəsində təhlükə kəşfiyyatını gücləndirərək kibertəhdidlərin aşkarlanması və onların təsirinin azaldılmasında mühüm rol oynayır. O, böyük həcmdə məlumatları təhlil edərək kibertəhlükələrə aid nümunələri və komprometasiya göstəricilərini müəyyən etməyə imkan verir. Neyron şəbəkələrin iş prinsipləri bu analizləri daha da gücləndirərək hücumun ilkin mərhələlərində belə kiçik anomaliyaların aşkarlanmasını təmin edir. Bu yanaşma şübhəli şəbəkə davranışlarının, qeyri-adi giriş cəhdlərinin və IoT cihazlarından və ya son nöqtələrdən gələn anormal trafikin real vaxtda müəyyən edilməsinə şərait yaradır.

Süni intellekt həmçinin müdafiə mexanizmlərinin gücləndirilməsində mühüm əhəmiyyət daşıyır. O, təhlükəsizlik sistemlərini daim monitorinq edərək yoluxmuş cihazların izolə edilməsinə, zərərli trafikin bloklanmasına və zərərli proqramların dayandırılmasına kömək edir. Bundan əlavə, SI potensial risklərin yüksək olduğu sahələri əvvəlcədən proqnozlaşdıraraq təşkilatlara zəifliklərı hücum baş verməzdən öncə aradan qaldırmaq imkanı verir.

Eyni zamanda, süni intellekt istifadəçi autentifikasiyası prosesində də geniş tətbiq olunur. O, barmaq izi, yazı tərzi və səs nümunələri kimi biometrik və davranış məlumatlarını analiz edərək istifadəçilərin şəxsiyyətini yoxlayır. Seans zamanı istifadəçi davranışlarını izləyərək normadan kənar fəaliyyətləri müəyyən edir və zəruri hallarda əlavə doğrulama tələb edir.

Süni intellekt hücumların mənşəyinin müəyyən edilməsində də effektivdir. O, istifadə olunan alətləri, IP ünvanlarını və davranış modellərini analiz edərək hücumları konkret təhdid qrupları ilə əlaqələndirə bilir. Bu, təhlükəsizlik mütəxəssislərinə hücumların mənbəyini daha dəqiq müəyyən etməyə imkan verir.

Bundan əlavə, süni intellekt fişinq və spam hücumlarının aşkarlanmasında mühüm rol oynayır. O, e-poçt mesajlarını, keçidləri və əlavələri analiz edərək zərərli məzmunları əvvəlcədən bloklayır və onların yayılmasının qarşısını alır.

Nəhayət, süni intellekt ortaq təhlükə kəşfiyyatının paylaşılmasını dəstəkləyir. O, təşkilatların təhlükəsizlik məlumatlarını paylaşmasına və bu biliklərdən kollektiv şəkildə faydalanmasına imkan yaradaraq ümumi kibertəhlükəsizlik səviyyəsini artırır. Bu yanaşma xüsusilə genişlənən və avtomatlaşdırılan sistemlərdə, o cümlədən böyük məlumat mərkəzlərində, təhlükəsizlik risklərinin idarə olunmasında mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Süni intellektin yaratdığı kibertəhdidlər

Süni intellektin (Sİ) inkişafı kibertəhlükəsizlik sahəsində yeni imkanlarla yanaşı, yeni nəsil təhdidlərin də yaranmasına səbəb olmuşdur. Aparılan araşdırmalar göstərir ki, Sİ texnologiyaları yalnız müdafiə məqsədləri üçün deyil, həm də kibercinayətkar fəaliyyətlərin gücləndirilməsi üçün geniş şəkildə istifadə oluna bilir. Bu isə kibertəhlükələrin daha avtomatlaşdırılmış, adaptiv və aşkar olunması çətin formaya keçməsinə gətirib çıxarmışdır.

Ən mühüm təhdidlərdən biri süni intellektin hücumların avtomatlaşdırılmasında istifadəsidir. Generativ modellər və maşın öyrənməsi alqoritmləri vasitəsilə fişinq hücumları, zərərli proqramlar və sosial mühəndislik ssenariləri daha real və inandırıcı formada hazırlanır. Bu, kibercinayətkarların texniki bilik səviyyəsindən asılılığı azaldır və hücumların miqyasını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Digər ciddi təhdid adaptiv zərərli proqramların (malware) yaradılmasıdır. Süni intellektə əsaslanan zərərli proqramlar öz davranışını dəyişdirərək təhlükəsizlik sistemlərindən yayınmaq qabiliyyətinə malikdir. Bu tip proqramlar ənənəvi antivirus və imza əsaslı müdafiə mexanizmləri üçün ciddi problem yaradır, çünki onlar statik deyil, dinamik şəkildə inkişaf edir.

Araşdırmalar göstərir ki, süni intellekt həmçinin deepfake texnologiyaları vasitəsilə şəxsiyyətlərin saxtalaşdırılmasını mümkün edir. Saxta səs və video materiallar istifadə edilərək maliyyə dələduzluğu, reputasiya zədələnməsi və sosial mühəndislik hücumları həyata keçirilə bilir. Bu isə informasiya etibarlılığına ciddi təhlükə yaradır.

Bundan əlavə, kibercinayətkarlar süni intellektdən istifadə edərək hücumları daha gizli və kompleks şəkildə həyata keçirə bilirlər. Avtomatlaşdırılmış hücum sistemləri böyük həcmdə şəbəkələri eyni anda hədəfə ala bilir və təhlükəsizlik mexanizmlərini aşmaq üçün daim uyğunlaşır.

Süni intellektə qarşı hücumlar

Süni intellekt kibertəhlükəsizlik sahəsində müdafiəni gücləndirməklə yanaşı, özü də müxtəlif hücum növlərinin hədəfinə çevrilə bilir. Bu cür hücumlar ümumilikdə "adversarial AI" adlanır və məqsəd süni intellekt modellərinin yanlış və ya gözlənilməz nəticələr verməsinə səbəb olmaqdır. Bu yanaşma kibertəhlükəsizlik sistemlərinin etibarlılığını zəiflədə və onların düzgün qərar vermə qabiliyyətini poza bilər.

Ən geniş yayılmış hücum növlərindən biri "data poisoning" (məlumatların zəhərlənməsi) hesab olunur. Bu zaman süni intellekt modelinin öyrədildiyi məlumat bazasına zərərli və ya saxta məlumatlar daxil edilir. Nəticədə model yanlış öyrənir və təhlükələri düzgün müəyyən edə bilmir. Bu, xüsusilə avtomatik qərar qəbul edən təhlükəsizlik sistemləri üçün ciddi risk yaradır.

Digər mühüm hücum növü "adversarial attacks" adlanır. Bu hücumlarda giriş məlumatları elə dəyişdirilir ki, insan üçün adi görünsə də, süni intellekt sistemi onu səhv interpretasiya edir. Məsələn, zərərli trafik normal trafik kimi tanına bilər və ya əksinə. Bu isə təhlükəsizlik mexanizmlərinin effektivliyini azaldır.

Bundan əlavə, süni intellekt modellərinin oğurlanması (model theft) da ciddi təhlükə hesab olunur. Kibercinayətkarlar müxtəlif üsullarla hazır modelləri ələ keçirərək onların strukturunu analiz edə və sonradan oxşar hücum sistemləri yarada bilirlər. Bu, həm texnoloji, həm də strateji baxımdan böyük itkilərə səbəb olur.

Nəticə etibarilə, süni intellekt yalnız kibertəhlükəsizlik üçün müdafiə vasitəsi deyil, həm də özünə qarşı yönəlmiş mürəkkəb hücumların hədəfidir. Bu səbəbdən süni intellekt sistemlərinin təhlükəsiz dizaynı, davamlı monitorinqi və etibarlı məlumatlarla öyrədilməsi kibertəhlükəsizlik sahəsində olduqca vacibdir.

Süni intellektin kibertəhlükəsizlikdə etik və hüquqi problemləri

Süni intellektin kibertəhlükəsizlik sahəsində geniş tətbiqi yeni texnoloji imkanlarla yanaşı, bir sıra etik və hüquqi problemlərin də yaranmasına səbəb olmuşdur. Bu problemlər əsasən süni intellekt sistemlərinin qərarvermə prosesində şəffaflığın olmaması, şəxsi məlumatların qorunması və məsuliyyət məsələləri ilə bağlıdır.

Etik baxımdan əsas problemlərdən biri məxfilik və şəxsi məlumatların qorunmasıdır. Süni intellekt sistemləri böyük həcmdə istifadəçi məlumatlarını təhlil etdiyinə görə, bu məlumatların icazəsiz istifadəsi və ya sızdırılması ciddi etik pozuntular yarada bilər. Bundan əlavə, süni intellektin istifadəçi davranışlarını izləməsi və profil yaratması fərdi azadlıqların məhdudlaşdırılması riskini ortaya çıxarır.

Digər mühüm məsələ alqoritmik qərəzlilikdir (bias). Əgər süni intellekt qeyri-dəqiq və ya qeyri-bərabər məlumatlarla öyrədilərsə, o zaman qərarlarında ədalətsizlik yarana bilər. Bu, xüsusilə kibertəhlükəsizlik sistemlərində yanlış həyəcan siqnalları və ya bəzi istifadəçilərin haqsız olaraq riskli kimi qiymətləndirilməsi ilə nəticələnə bilər.

Hüquqi baxımdan əsas problem məsuliyyət məsələsidir. Süni intellekt tərəfindən verilən səhv qərar və ya təhlükəsizlik pozuntusu zamanı məsuliyyətin kimə aid olduğu tam aydın deyil — sistemin tərtibatçısı, istifadə edən təşkilat, yoxsa özü? Bu məsələ hələ də bir çox ölkələrdə hüquqi baxımdan tam tənzimlənməmişdir.

Bundan əlavə, süni intellekt əsaslı kibertəhlükəsizlik sistemlərinin istifadəsi zamanı məlumatların qorunması ilə bağlı beynəlxalq qanunvericiliyə (məsələn, GDPR kimi qaydalara) əməl olunması vacibdir. Qanun pozuntuları ciddi maliyyə sanksiyaları və hüquqi məsuliyyət yarada bilər.

Nəticə etibarilə, süni intellekt kibertəhlükəsizliyi gücləndirsə də, onun etik və hüquqi çərçivədə düzgün idarə olunması olduqca vacibdir. Bu sahədə şəffaflıq, məsuliyyət və məlumatların qorunması prinsiplərinə riayət olunması gələcəkdə daha təhlükəsiz və etibarlı sistemlərin qurulmasına şərait yaradır.

NƏTICƏ

Aparılan tədqiqat nəticəsində süni intellektin kibertəhlükəsizlik sahəsində ikili rol oynadığı müəyyən edilmişdir. Bir tərəfdən süni intellekt təhlükələrin aşkarlanması, qarşısının alınması və sistemlərin müdafiəsinin gücləndirilməsi üçün mühüm vasitə kimi çıxış edir. O, böyük həcmli məlumatların təhlili, anomaliyaların müəyyən edilməsi və real vaxt rejimində qərarların qəbul olunması ilə kibertəhlükəsizlik sistemlərinin effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Digər tərəfdən isə süni intellekt kibertəhdidlərin daha mürəkkəb və təhlükəli formaya keçməsinə şərait yaradır. Kibercinayətkarlar tərəfindən avtomatlaşdırılmış hücumların təşkili, fişinq və zərərli proqramların təkmilləşdirilməsi, deepfake texnologiyaları və məlumatların manipulyasiyası kimi risklər bu texnologiyanın yanlış istifadəsinin nəticəsidir. Bu isə süni intellektin yalnız müdafiə vasitəsi deyil, eyni zamanda potensial təhlükə mənbəyi olduğunu göstərir.

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, kibertəhlükəsizlik sahəsində süni intellektdən səmərəli istifadə üçün balanslaşdırılmış yanaşma vacibdir. Yəni həm müdafiə sistemləri gücləndirilməli, həm də süni intellektin sui-istifadəsinin qarşısını alan mexanizmlər hazırlanmalıdır. Bu istiqamətdə davamlı inkişaf və elmi araşdırmaların genişləndirilməsi xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

Ümumilikdə, süni intellektin düzgün və nəzarətli istifadəsi kibertəhlükəsizlik səviyyəsinin yüksəldilməsinə xidmət edə bilər, lakin onun risklərinin nəzərə alınmaması ciddi təhlükələrə yol aça bilər.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
3. Sommer, R., & Paxson, V. (2010). Outside the closed world: On using machine learning for network intrusion detection. *2010 IEEE Symposium on Security and Privacy*, 305–316.
4. Buczak, A. L., & Guven, E. (2016). A survey of data mining and machine learning methods for cyber security intrusion detection. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18*(2), 1153–1176.
5. NIST. (2023). *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*. National Institute of Standards and Technology. https://www.nist.gov
6. Sarker, I. H. (2021). Machine learning for cybersecurity: A review. *Journal of Information Security and Applications, 57*, 102657.
7. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). (2020). *Artificial Intelligence Cybersecurity Challenges*. https://www.enisa.europa.eu
8. Fortinet. (n.d.). Artificial Intelligence in cybersecurity. https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/artificial-intelligence-in-cybersecurity

SÜNİ İNTELLEKT ALƏTLƏRİNİN TƏHSİLDƏ İSTİFADƏSİ VƏ AKADEMİK DÜRÜSTLÜYƏ TƏSİRİ

Nurlan KERIMLI
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və kompüter texnologiyaları fakültəsi
nkerimli15@std.beu.edu.az Azərbaycan/Bakı

Abstract

Bu məqalədə süni intellekt alətlərinin təhsil sahəsində istifadəsi və onların akademik dürüstlüyə təsiri təhlil olunur. Araşdırma göstərir ki, süni intellekt tələbələr üçün fərdiləşdirilmiş öyrənmə imkanları yaradır, mürəkkəb mövzuların daha asan mənimsənilməsinə kömək edir və tədris prosesini səmərəli edir. Bununla yanaşı, bu texnologiyaların həddindən artıq və nəzarətsiz istifadəsi akademik dürüstlük prinsiplərinin pozulmasına, tələbələrin analitik və yaradıcı düşünmə bacarıqlarının zəifləməsinə və asılılıq riskinin artmasına səbəb ola bilər. Məqalədə həmçinin süni intellektin yaratdığı etik problemlər, məlumat məxfiliyi və alqoritmik qərəz məsələləri də nəzərdən keçirilir. Sonda bu problemlərin qarşısını almaq üçün təhsil müəssisələrində etik qaydaların tətbiqi, rəqəmsal savadlılığın artırılması və süni intellektdən düzgün istifadə strategiyalarının hazırlanmasının vacibliyi vurğulanır.

Açar sözlər:
Süni intellekt (Artificial Intelligence),
akademik dürüstlük, tapşırıq hazırlanması, plagiat (plagiarism),
təhsil texnologiyaları

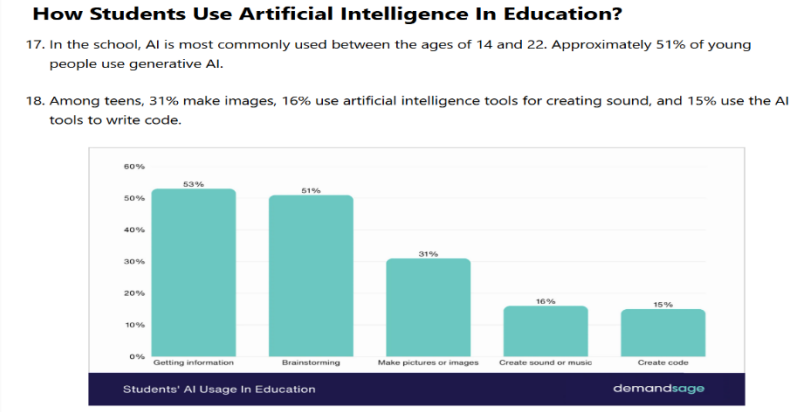
Giriş

Süni intellekt, insan beyninin qərar vermə, düşünmə, öyrənmə bacarığını kompüterə və ya hər hansı bir maşına tətbiq etmək deməkdir. Süni intellekt insan kimi düşünməyi bacarmır, amma verilənləri analiz edə bilər, nəticələr çıxara bilər və öyrənə bilər. Son zamanlarda süni intellekt müxtəlif sahələrdə, xüsusilə də elm və təhsildə geniş istifadə olunur[1]. Təhsildə süni intellekt yeni öyrənmə metodları təqdim edərək müəllimlərin və tələbələrin işlərini asanlaşdıra bilər. Elmdə isə tədqiqat prosesini sürətləndirə bilər. Lakin süni intellektin son zamanlar lazımsız çox istifadəsi etik və akademik problemlər yaradır. ChatGPT, Grammarly və digər süni intellekt alətləri tələbələr arasında geniş yayılmışdır[2]. Tələbələr onlara tapşırılan ən sadə tapşırıqları belə süni intellektdən istifadə edərək yerinə yetirdiklərindən akademik dürüstlük prinsiplərinə təsir göstərir(Akademik dürüstlük müəyyən etik qaydalardır ki, tələbənin verilən tapşırıqları özlərinin yerinə yetirməsinə əsaslanır)[3]. Süni intellekt alətlərinin zəruri olmadığı hallarda işlənməsi tələbələrin düşünmə bacarıqlarının zəifləməsi kimi problemlərə gətirib çıxara bilir. Buna görə də, bu sahədə daha ətraflı araşdırmalara ehtiyac vardır. Bu məqalənin məqsədi süni intellekt alətlərinin tələbələr arasında istifadəsini və onların akademik dürüstlüyə təsirini təhlil etməkdir.

Süni intellektin təhsildə müsbət tərəfləri

Son zamanlarda süni intellekt alətləri müəllim və tələbələr arasında geniş yayılmışdır. Müasir statistik məlumatlar göstərir ki, tələbələr süni intellekt alətlərindən müxtəlif məqsədlər üçün istifadə edirlər (Şəkil 1). Əsasən də ChatGPT, Gemini və DeepSeek kimi süni intellekt alətləri geniş istifadə olunur. OECD, UNESCO və EdTech tərəfindən aparılan təhsil araşdırmaları tələbələrin süni intellekt alətlərini akademik tapşırıqların hazırlanmasında geniş istifadə etdiyini bildirmişdir. Süni intellekt alətlərinin təhsilə inteqrasiyası geniş imkanlar yarada bilər və tələbələrin öyrənmə prosesini daha səmərəli edə bilər[1]. Süni intellekt alətlərinin ən yaxşı təsirlərindən biri tələbələrə uyğun fərdiləşdirilmiş öyrənmə təcrübələrini təmin etmək xüsusiyyətidir. O hər bir tələbənin öyrənmə tərzini və tempini müəyyən edir, təhlil edir və onlara uyğun təhsil məzmunu formalaşdırır[4]. Tələbələr süni intellekt alətlərindən istifadə edərək sadəcə təhsil müəssisələrində deyil, həm də istədikləri zaman və məkanlarda bilik və bacarıqlarını artıra bilərlər. Tələbələr arasında aparılan müşahidələr göstərir ki, bəzi tələbələr dərs zamanı müəllimə sual verməkdən çəkinir. Belə hadisələrə görə də, tələbələr əlavə izah üçün süni intellekt alətlərindən istifadə edir. Süni intellekt alətləri yalnız tədris və öyrənməyə təsir etmir, həmçinin inzibati vəzifələri asanlaşdırır. Məsələn, süni intellekt alətləri planlaşdırma, qiymətləndirmə və hətta valideynlərlə ünsiyyəti idarə etməyə kömək edə bilir. Tələbələr süni intellekt alətlərindən həmçinin akademik stresin azaldılması üçün istifadə edir. Süni intellekt alətləri çətin mövzuları sadə yolla izah edir, tələbələrin vaxtlarını düzgün bölərək səmərəli istifadə etmələrinə şərait yaradır. Bunun nəticəsində tələbələr təhsil prosesində daha az gərginlik hiss

edirlər. Hindistanlı alim Sugata Mitra tərəfindən aparılan "Hole in the Wall" eksperimentləri göstərir ki, texnologiya uşaqlarda müstəqil öyrənmə bacarıqlarını inkişaf etdirə bilər[5]. Sugata Mitra düşünür ki, təhsildə süni intellekt və rəqəmsal texnologiyaların daha çox azadlıq və özünə inam yaradır. Onun düşüncələrinə görə, süni intellekt tələbələrin özbaşına öyrənmə prosesini dəstəkləyə bilər, yeni mövzuların müstəqil şəkildə öyrənilməsinə imkan yaradar və yaradıcı düşünmə qabiliyyətini inkişaf etdirə bilər. Süni intellekt alətləri həmçinin müəllimlər üçün də faydalı ola bilər. Müəllimlər süni intellekt alətlərindən istifadə edərək müxtəlif dərs vəsaitləri hazırlaya bilərlər. Müəyyən dərsliklər, suallar, tədris planları və digər resursları avtomatik yaradaraq vaxtlarına qənaət edərək iş yüklərini azalda bilərlər. Bundan əlavə, Süni intellekt alətləri məlumatları təqdim etməyin innovativ yollarını təklif edir. İstər interaktiv simulyasiyalar, istər fərdi öyrənmə yolları olsun, süni intellekt texnologiyaları mürəkkəb mövzuları daha əlçatan və əyləncəli edir. Süni intellekt müəllimlərin tədris üsullarını inkişaf etdirməsinə və tələbələrlə yeni yollarla ünsiyyət qurmasına imkan yaradır.



Şəkil 1. Tələbələrin təhsildə süni intellektdən istifadə istiqamətləri

Süni intellektin təhsildə mənfi tərəfləri. Süni intellekt alətlərinin müsbət tərəfləri olmağı ilə yanaşı bir neçə mənfi tərəfidə vardır. Qeyd etdiyimiz kimi, süni intellekt alətləri tələbələrin öyrənmə metodları, davranışları, emosional vəziyyətləri haqqında şəxsi məlumatlardan təməl data kimi yararlanır. Bu vəziyyət isə data məxfiliyi və təhlükəsizliyi baxımından bəzi narahatlıq yaradır[6]. UNESCO-nun süni intellektlə bağlı hesabatlarında qeyd olunur ki, alqoritmik qərəzlər nəzarətsiz qaldıqda, təhsil mühitində ədalətsiz qərarların verilməsinə səbəb ola bilər[6]. Bu qərəzlər irqi, cinsi və ya sosial-iqtisadi fərqlərə əsaslana bilər və nəticədə süni intellekt sistemləri qeyri-obyektiv nəticələr təqdim edə bilər. Bu isə tələbələrin akademik inkişafına mənfi təsir göstərə və onların bərabər imkanlardan istifadə etməsinə maneə yarada bilər. Süni intellekt alətlərindən təhsildə istifadə edilməsi akademik dürüstlük baxımından ciddi problemlər yaradır. Tələbələr ev tapşırıqlarını özləri yerinə yetirmək yerinə süni intellektə hazırladır. Bu isə onların inkişafına mənfi təsir göstərir. Həmçinin qiymətləndirmə zamanı tələbənin real bilik səviyyəsini tam əks etdirməyə bilər. Müəllimlərin isə bu prosesin qarşısını almağı müəyyən bir vaxt alır. Süni intellekt alətərindən artıq istifadə etmək tələbələrin analitik və yaradıcı düşünmə bacarıqlarının zəifləməsinə gətirib çıxarır[7]. Hazır cavablardan istifadə etmək onların problemləri analiz etmək və həll yolları tapmaq vərdişlərini itirə bilər. Süni intellektin davamlı istifadəsi tələbələrdə asılılıq yaradır. Belə ki, tələbələr tədricən öz yazı və araşdırma bacarıqlarını inkişaf etdirmək əvəzinə süni intellekt alətlərindən istifadə başlayırlar. Bu asılılıq onların təkbaşına işləmək qabiliyyətini azaldır. Bunlardan əlavə olaraq, süni intellekt alətləri hər zaman düzgün məlumat verməyə bilər, bu məlumatlar yoxlanmadığı halda istifadə edildikdə yanlış nəticələrə gətirib çıxarır hansı ki, tələbələr peşmançılıq hissi keçirirlər. Bu mənfi təsirlər göstərir ki, süni intellekt təhsildə yalnız köməkçi vasitə kimi istifadə olunmalı, əsas öyrənmə prosesi tələbənin öz düşünmə bacarıqlarına əsaslanmalıdır. Ümumilikdə, süni intellekt təhsildə həm müsbət, həm də mənfi nəticələr yaradır və onun təsiri istifadə formasından asılıdır.

Həll yolları. Süni intellektin təhsildə rolunun mənfi tərəflərinin qarşısını almaq üçün bir sıra tədbirlər görülməlidir. Universitetlər və təhsil müəssisələrində süni intellekt alətlərindən istifadə ilə bağlı müəyyən qaydalar və etik çərçivə hazırlamalıdır. Bu qaydalarda tələbələrin hansı hallarda süni intellekt alətlərindən istifadə edə biləcəkləri və hansı hallarda akademik dürüstlüyə zidd olduğu aydın şəkildə göstərilməlidir. UNESCO və digər təhsil təşkilatları tərəfindən də qeyd olunduğu kimi, rəqəmsal savadlılıq və etik istifadə bacarıqları tələbələrə xüsusi olaraq öyrədilməlidir. Plagiatın qarşısını almaq üçün Turnitin kimi yoxlama sistemləri daha geniş tətbiq olunmalıdır və süni intellekt alətləri tərəfindən yazılan mətnləri müəyyən etmək

üçün yeni texnologiyalar yaratmaq lazımdır[3]. Həmçinin müəllimlər tələbələrə sadə həll tələb edən tapşırıqlar yerinə fərdi layihələr, müzakirə əsaslı tapşırıqlar hazırlamalıdır. Tələbələr isə süni intellekt alətlərindən tam cavab almaq üçün deyil, öyrənmə prosesini dəstəkləmək üçün istifadə etməlidirlər. Bu yanaşma həm onların biliklərini gücləndirər, həm də akademik dürüstlüyün qorunmasına kömək edər.

Nəticə

Süni intellekt həm tələbələrin, həm də müəllimlərin təlim və təhsil təcrübəsini və biliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq imkanına malikdir. Bununla yanaşı, onların nəzarətsiz istifadəsi akademik dürüstlük, düşünmə bacarıqları və təhsil bərabərliyi baxımından müəyyən problemlər yaradır. Nəticə olaraq, süni intellekt təhsildə tamamilə rədd edilməməli, əksinə düzgün və etik qaydalar çərçivəsində istifadə olunmalıdır. Belə bir yanaşma onun müsbət imkanlarından maksimum istifadə etməyə və mənfi təsirlərini minimuma endirməyə şərait yaradır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. UNESCO. (2021). *Artificial Intelligence and Education: Guidance for Policy-makers*. Paris: UNESCO.
2. OECD. (2021). *AI in Education: Challenges and Opportunities*. Paris: OECD Publishing.
3. Turnitin. (2023). *Academic Integrity in the Age of AI* (hesabat).
4. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Center for Curriculum Redesign.
5. Mitra, S. (2012). *Beyond the Hole in the Wall: Discover the Power of Self-Organized Learning*. TED Books.
6. UNESCO. (2023). *Guidance for Generative AI in Education and Research*. Paris: UNESCO.
7. Zawacki-Richter, O., et al. (2019). "Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education." *International Journal of Educational Technology in Higher Education*.
8. DemandSage. (2026). AI in Education Statistics. https://www.demandsage.com/ai-in-education-statistics/

RECONFIGURABLE INTELLIGENCE AT THE EDGE: A REVIEW OF FPGA-BASED AI INFERENCE FOR RESOURCE-CONSTRAINED IOT SYSTEMS

Tarana Karimova
Baku Engineering University
Information and Computer Technologies
tkerimova1@std.beu.edu.az
Khirdalan city, Azerbaijan

Abstract

The Internet of Things (IoT) has become a fundamental technology in modern digital systems by enabling physical devices to sense, collect, and exchange data across sectors such as healthcare, manufacturing, transportation, and smart environments. As IoT applications expand into safety-critical and time-sensitive domains, conventional sensing-and-transmission models are no longer sufficient, creating the need for intelligent IoT devices capable of local, context-aware, and real-time decision-making. This requirement is especially critical in domains such as healthcare, where rapid analysis of patient data can support timely intervention, and industrial systems, where delayed responses may reduce safety and operational efficiency. However, current IoT devices are typically resource-constrained, with limited computational power, memory capacity, and energy availability, which restricts their ability to execute AI models locally and often forces reliance on cloud-based processing. Such cloud dependence introduces additional latency, bandwidth overhead, and privacy risks. To address these limitations, this paper explores the use of Field-Programmable Gate Arrays (FPGAs) as an enabling platform for intelligent IoT devices. Owing to their parallel processing capability, reconfigurability, and suitability for low-latency hardware acceleration, FPGAs provide a promising foundation for on-device AI inference in resource-constrained environments. The study further considers the use of Quartus Prime, VHDL and/or high-level synthesis, and lightweight AI approaches such as TinyML-inspired models to support the design and implementation of FPGA-based intelligent IoT systems.

Keywords: Internet of Things (IoT), Field-Programmable Gate Array (FPGA), edge intelligence, on-device AI inference, TinyML

Xülasə
Əşyaların İnterneti (IoT) müasir rəqəmsal sistemlərdə fundamental texnologiyaya çevrilmişdir — fiziki cihazlara səhiyyə, istehsalat, nəqliyyat və ağıllı mühitlər kimi sektorlarda məlumatların toplanması, mübadiləsi və ötürülməsini təmin etməkdədir. IoT tətbiqləri təhlükəsizlik baxımından kritik və zamana həssas sahələrə genişləndikçə, ənənəvi sensorlardan istifadə və ötürmə modelləri artıq kifayət etmir — bu isə yerli, kontekstə uyğun və real vaxt rejimində qərar qəbul etmək qabiliyyətinə malik ağıllı IoT cihazlarına olan ehtiyacı yaradır. Bu tələb xüsusilə səhiyyə sahəsində — xəstələrin məlumatının sürətli təhlilinin vaxtında müdaxiləni dəstəkləyə biləcəyi və sənaye sistemlərində gecikmiş reaksiyaların təhlükəsizliynii və əməliyyat səmərəliliyini azalda biləcəyi yerlərdə mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Lakin mövcud IoT cihazları adətən resurs baxımından məhduddur: məhdud hesablama gücü, yaddaş tutumu və az enerji saxlama qabiliyyəti onların süni intellekt modellərini yerli səviyyədə icra etmə qabiliyyətini məhdudlaşdırır və çox vaxt bulud əsaslı emaldan asılılığa məcbur edir. Belə bulud asılılığı əlavə gecikmə, bant genişliyi yükü və məxfiliklə bağlı risklər yaradır. Bu məhdudiyyətləri aradan qaldırmaq üçün məqalə ağıllı IoT cihazları üçün imkan yaradan platforma kimi tətbiq sahəsi üzrə proqlaşdırılan mətiqi ventillər massivi(FPGA) istifadəsini araşdırır. Paralel emal qabiliyyəti, yenidən konfiqurasiya oluna bilmə xüsusiyyəti və aşağı gecikmə müddətli aparat sürətləndirməsinə uyğunluğu sayəsində FPGA-lar resurs baxımından məhdud mühitlərdə cihaz üzərindəki süni intellekt qərar qəbul etməsıı üçün perspektivli əsas təşkil edir. Tədqiqat həmçinin FPGA əsaslı ağıllı IoT sistemlərinin layihələndirilməsi və tətbiqini dəstəkləmək üçün Quartus Prime, VHDL və/və ya yüksək səviyyəli sintez, həmçinin TinyML-dən ilham alan modellər kimi sadə süni intellekt modellərinin istifadəsini nəzərdən keçirir.
Açar sözlər: Əşyaların İnterneti (IoT), tətbiq sahəsi üzrə proqlaşdırılan mətiqi ventillər massivi (FPGA), kənar intellekt, cihaz üzərindəki süni intellekt nəticəçıxarması, TinyML

1. Introduction

The Internet of Things (IoT) refers to the interconnection of physical objects — embedded with sensors, processors, and communication interfaces — to digital networks, enabling them to collect, exchange, and act upon data with minimal human intervention. Milenkovic describes IoT systems as bridging the physical and cyber worlds so that machines can perceive, quantify, and respond to the environment in ways previously impossible without direct human involvement [1]. The progressive miniaturisation of sensors, the declining cost of embedded processors, the proliferation of low-power wireless protocols such as ZigBee, LoRaWAN, and NB-IoT, and widespread cloud availability have collectively lowered the barrier to deploying connected devices at scale [1], [3], positioning IoT as an essential enabler of real-time monitoring and operational automation across public and private sectors [2].

Despite this capability, the prevailing architectural model remains fundamentally passive. IoT nodes capture measurements and forward raw data to remote cloud platforms for computation [1], [14]. This sense-and-transmit paradigm is increasingly insufficient for safety-critical contexts — patient monitoring, predictive maintenance, anomaly detection — where cloud round-trip latencies regularly exceed several hundred milliseconds [14] while real-time requirements demand responses within tens of milliseconds. Beyond latency, continuous raw data transmission raises bandwidth and privacy concerns under regulatory frameworks such as GDPR [14], [15]. Addressing these limitations requires IoT devices capable of local inference. However, the embedded microcontrollers constituting the majority of IoT endpoints — ARM Cortex-M processors with kilobytes of SRAM and milliwatt power budgets — are architecturally unsuited to neural network workloads [6]. Their sequential execution model cannot exploit the inherent parallelism of inference, producing latencies of hundreds of milliseconds even for modest models [3], [6]. Software optimisation alone cannot compensate for the absence of hardware-level parallelism.

Field-Programmable Gate Arrays (FPGAs) offer a compelling solution. FPGAs implement computation spatially — instantiating dedicated parallel hardware datapaths — enabling throughputs that MCU processors cannot approach at equivalent power [7]. Wu et al. confirm that FPGA-based accelerators consistently outperform CPUs and MCUs in energy efficiency for neural network workloads while offering the reconfigurability that ASICs lack [17]. This paper investigates how FPGA-based architectures, combined with TinyML-inspired compression, fixed-point quantization, and high-level synthesis within Intel's Quartus Prime environment, enable genuinely intelligent IoT devices. The paper is structured as follows: Section 2 examines IoT resource constraints; Section 3 reviews Edge AI and TinyML; Section 4 analyses FPGAs as an enabling platform; Section 5 examines AI-to-FPGA mapping; Section 6 surveys application domains; Section 7 presents comparative analysis; Section 8 identifies open challenges; Section 9 proposes future research directions; and Section 10 concludes the paper.

2. IoT in Resource-Constrained Environments

2.1 The Promise and Reality of Intelligent IoT

The foundational vision of IoT extends beyond simple data collection. Milenkovic describes IoT as a system that progressively transforms raw measurements into insight and action — moving through stages of monitoring, analysis, prediction, and ultimately autonomous control [1]. Rayes and Salam reinforce this, describing the ultimate IoT goal as enabling objects to efficiently sense surroundings, communicate, and create actionable outcomes — placing autonomous, context-aware decision-making at the centre of what IoT is intended to achieve [4]. In healthcare, locally detecting arrhythmia and triggering an alert within milliseconds offers a qualitatively different and potentially life-saving capability compared to cloud-dependent analysis [5]. In industrial environments, real-time bearing fault recognition prevents costly failures that post-hoc cloud analysis cannot prevent [1]. In smart infrastructure, locally intelligent nodes respond autonomously without depending on connectivity that may be unreliable precisely when a response is needed [4].

The gap between this vision and current deployments is hardware-derived. Alioto documents that the majority of deployed IoT endpoints are built around ultra-low-power MCUs with SRAM measured in kilobytes and clock frequencies in the tens to hundreds of megahertz [3] — consequences of the requirement that devices operate for months or years from coin-cell batteries or energy harvesters. Rayes and Salam formally categorise these as "constrained devices" — hardware imposing special design considerations due to limited compute and power [4]. Three constraints define what is computationally feasible: memory capacity (32–512 KB SRAM insufficient for neural network weights), computational throughput (sequential pipelines unable to exploit MAC parallelism), and energy budget (sustained inference may exceed battery capacity). Warden and Situnayake quantify this ceiling, showing that even a highly optimised, quantized neural network requires hundreds of milliseconds of inference time on typical MCU hardware [6] — unacceptable for safety-critical applications.

2.2 The Cost of Cloud Dependence and the Demand for Local Intelligence

2.2 The Cost of Cloud Dependence and the Demand for Local Intelligence

The limitations of cloud-dependent IoT manifest in three interconnected ways, illustrated in Figure 1. First, latency: as Figure 1 shows, raw sensor data must traverse a wireless gateway — via protocols such as ZigBee, LoRaWAN, NB-IoT, or WiFi — before reaching the cloud, where it undergoes sequential ingestion, storage, preprocessing, and AI inference before a result is returned to the device via API. Shi et al. demonstrate that this full round-trip introduces end-to-end latencies regularly exceeding 100 milliseconds [14] — unacceptable for medical monitoring or industrial fault response. Second, bandwidth and network dependency: Buyya and Srirama document how large-scale IoT deployments rapidly saturate uplink bandwidth when raw sensor streams are transmitted continuously, with reliable connectivity an assumption that frequently fails in remote industrial sites, underground infrastructure, and emergency scenarios [9]. Third, privacy and regulatory exposure: Alwarafy et al. document that centralised cloud processing introduces data sovereignty and compliance risks that on-device processing eliminates by design [15].

Figure 2 illustrates the alternative architecture that addresses these limitations. Rather than transmitting raw data externally, an FPGA-enabled IoT device performs signal preprocessing, fixed-point conversion, and parallel neural network inference entirely on-device, issuing a local decision without cloud dependency. Cloud synchronisation for aggregated logs or model updates becomes an optional, non-critical path rather than a requirement for every inference cycle. The demand for this kind of cloud-independent intelligence has been formalised by Zhou et al. in their Edge Intelligence taxonomy — a six-level spectrum from fully cloud-dependent processing to fully on-device inference [20]. The highest level offers maximum gains in latency, privacy, and operational autonomy but imposes the most demanding requirements on device-level computational capability. Situnayake and Plunkett characterise when edge inference becomes necessary through the BLERP framework — Bandwidth, Latency, Economics, Reliability, and Privacy [5]. This demand has driven research into lightweight AI techniques including quantization, pruning, and knowledge distillation. However, software optimisation alone cannot resolve the fundamental mismatch between the parallel computational structure of neural network inference and the sequential execution model of MCU processors — creating the precise problem space that FPGA-based acceleration is positioned to address.

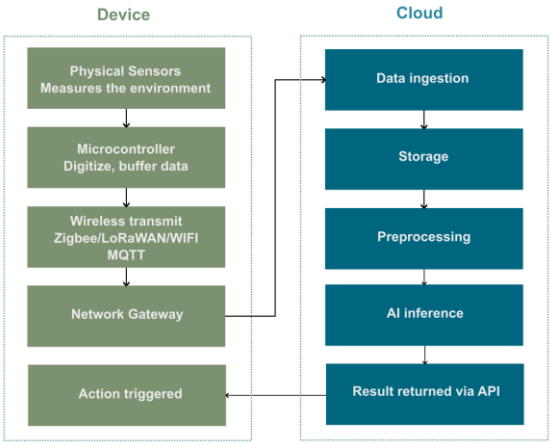


Figure 1. Traditional cloud-dependent IoT pipeline. Raw sensor data is transmitted wirelessly via ZigBee, LoRaWAN, NB-IoT, or WiFi through a network gateway to the cloud, where it undergoes data ingestion, storage, preprocessing, and AI inference before the result is returned to the device via API.

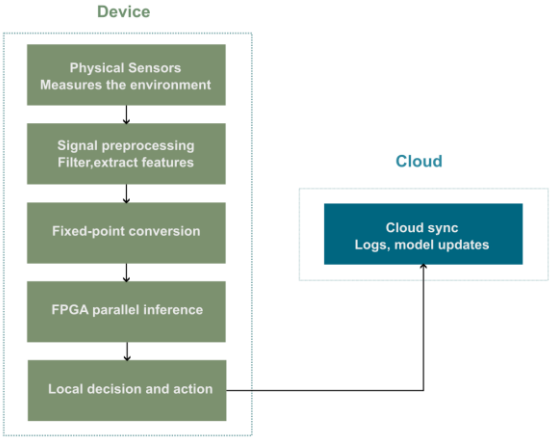


Figure 2. FPGA-enabled intelligent IoT pipeline. Signal preprocessing, fixed-point conversion, and parallel neural network inference are performed entirely on-device. Cloud synchronisation for logs and model updates is optional and does not form part of the critical inference path.

3. Edge AI and TinyML: Principles and Hardware Implementation

3.1 TinyML Techniques and Deployment Toolchains

TinyML is the practice of deploying machine learning models on devices with power consumption under one milliwatt [6]. Three compression techniques make this possible. Quantization reduces numerical precision from 32-bit floating-point to 8-bit integer representations, reducing model size by a factor of four with less than one percent accuracy degradation on standard benchmarks [16]. Pruning removes redundant weights or structural units; iterative pruning combined with retraining can reduce network size by up to thirteen times while maintaining acceptable accuracy [16]. Knowledge distillation trains a compact student network to reproduce the output distributions of a larger teacher model, enabling architecture design around hardware constraints from the outset — particularly valuable when even a compressed version of the original model exceeds MCU capacity [5], [8].

Two frameworks dominate deployment. TensorFlow Lite for Microcontrollers (TFLM) executes quantized models on devices with as little as 20 KB of RAM, using ARM CMSIS-NN kernels to accelerate fixed-point arithmetic on Cortex-M cores [6]. Edge Impulse provides an end-to-end managed pipeline from data collection through model training, quantization, and firmware generation, handling architecture search and hardware-specific optimisation automatically for a target device profile [5]. Both frameworks share the same fundamental constraint: they are software runtimes on sequential processors, executing MAC operations one at a time regardless of how well the model is optimised.

3.2 The Software Wall and the Role of SoC-FPGA Architectures

Abadade et al. document that TinyML on representative MCU platforms achieves only a few million to tens of millions of MAC operations per second, limiting deployable models to shallow networks of modest complexity [16]. For tasks requiring continuous multi-channel sensor fusion, real-time image classification,

or dense time-series inference, the MCU throughput ceiling produces latencies incompatible with real-time requirements. When the required model does not fit within the device's resource budget after all available optimisations, software-only solutions must be replaced or augmented by hardware acceleration [5].

A practical and increasingly important bridge between software accessibility and hardware performance is the System-on-Chip (SoC) FPGA — an integrated device combining a hard ARM processor core with FPGA programmable logic on a single chip. Devices such as the Intel Cyclone V SoC integrate a hard ARM Cortex-A9 processor alongside reconfigurable FPGA fabric, enabling a heterogeneous computing architecture on a single die [7]. In this model, the ARM processor handles high-level control flow, operating system tasks, sensor interfacing, and network communication — tasks for which it is well-suited with mature software ecosystems. The FPGA fabric simultaneously accelerates the compute-intensive inference workload: neural network layers are implemented as parallel hardware datapaths that the ARM processor feeds with input data and reads results from. This hardware-software co-design exploits the strengths of both components — the programmability of a processor for system management and the spatial parallelism of FPGA logic for inference — resulting in a single-chip intelligent IoT node that is more capable than an MCU-only solution, more power-efficient than a discrete GPU, and more flexible than a fixed ASIC [17]. The ARM+FPGA SoC architecture therefore represents not merely a hardware option but a coherent design philosophy for intelligent IoT: software where flexibility is needed, hardware where throughput is required.

3.3 VHDL, HLS, and Quartus Prime for Neural Network Design

When implementing neural networks in FPGA hardware, each neuron's computation is realised as a dedicated parallel digital circuit — a processing element (PE) combining a DSP-based multiplier with an accumulator register [18]. VHDL provides a register-transfer level description of this architecture, with fixed-point arithmetic types avoiding floating-point resource costs and pipelined datapaths enabling layer-level throughput. Activation functions such as sigmoid are approximated via piecewise linear segments or BRAM look-up tables; ReLU is implemented as a comparator-multiplexer pair [10]. Hamblen, Hall, and Furman describe how the Quartus Prime environment supports the full design flow — from VHDL entry through synthesis, fitting, timing analysis, and device programming [7].

High-Level Synthesis (HLS) in Quartus Prime further lowers the design barrier by automatically converting C++ algorithmic descriptions of neural network computation into synthesisable VHDL, with configurable pipelining, loop unrolling, and memory partitioning pragmas. Sklyarov et al. confirm that HLS-generated RTL achieves resource utilisation and timing closure comparable to hand-coded VHDL for regular, data-parallel computations while requiring substantially less design effort [10]. Wu et al. confirm that HLS tools have significantly lowered the engineering barrier for implementing custom inference accelerators on FPGA platforms [17]. The resulting three-level workflow — TinyML compression producing fixed-point models, HLS translating algorithms to hardware, Quartus Prime synthesising to device bitstreams — enables practitioners with machine learning backgrounds to implement hardware inference accelerators without requiring deep RTL expertise.

4. **FPGAs as an Enabling Platform**

4.1 Working Principle and Internal Architecture

A Field-Programmable Gate Array is an integrated circuit whose internal logic, memory, and arithmetic resources can be configured and reconfigured by the designer after manufacture. Unlike an ASIC, which is permanently wired during fabrication, an FPGA can be programmed in the field to implement virtually any digital circuit [11]. The configuration is stored in SRAM cells distributed throughout the device; when power is applied, the device adopts the corresponding logic structure, and loading a new bitstream instantaneously produces a different circuit [12].

Brown et al. describe an FPGA as consisting of three principal components: an array of programmable logic blocks, a programmable interconnect fabric, and programmable I/O blocks [11]. The fundamental logic element is the Look-Up Table (LUT) — a small SRAM array implementing any Boolean function of its inputs. LUTs are grouped into Configurable Logic Blocks (CLBs) or Logic Array Blocks (LABs), each containing LUTs, flip-flops, carry logic, and multiplexers. Wolf describes how this structure evolved into the complex Adaptive Logic Modules (ALMs) of modern Intel FPGAs [13], while Boutros and Betz note that modern logic blocks incorporate wider LUTs, fracturable configurations, and dedicated carry chains to improve arithmetic-intensive computation density [19]. Embedded alongside the configurable logic are dedicated Digital Signal Processing (DSP) slices — hard-wired silicon MAC units. A single DSP slice on an Intel Cyclone V executes one 18×18-bit MAC per clock cycle; the device contains up to 342 such slices,

all capable of operating simultaneously and independently [19]. This structural parallelism — hundreds of MACs executing concurrently — is the core property that makes FPGAs suited to neural network inference. Block RAM (BRAM) resources provide configurable on-chip memory for weight storage and activation buffering, eliminating the high-latency, high-power off-chip memory accesses that dominate inference energy in processor-based systems [19]. The programmable interconnect — a hierarchy of wire segments and configurable switch matrices consuming 50–70% of device area — routes signals between all resources with deterministic timing [11], [13]. Maxfield describes the configuration mechanism as loading a complete bitstream into device SRAM in a single operation, with partial reconfiguration enabling selected regions to be updated at runtime while the rest continues operating [12].

4.2 Spatial Computing: What Makes FPGAs Fundamentally Different

The most fundamental distinction between an FPGA and any processor is the model of computation. Processors execute computations temporally — instructions are fetched, decoded, and executed sequentially through a shared pipeline. FPGAs implement computations spatially — dedicated hardware structures are instantiated at specific device locations and data flows through them as signals propagate, with no instruction fetch, no decode stage, and no shared datapath contention [13]. Wolf identifies this register-transfer methodology as fundamentally different from sequential execution because it allows arbitrary concurrent signal transformations [13]. Brown et al. note that this spatial parallelism originally motivated FPGAs for signal processing — the same property that makes them attractive for neural network inference, as both workloads are dominated by large numbers of independent arithmetic operations benefiting from simultaneous hardware execution [11].

4.3 FPGAs Versus Other Hardware Platforms

Boutros and Betz note that an FPGA operating at a fraction of a CPU's clock frequency outperforms it significantly on arithmetic-intensive workloads by exploiting parallelism the sequential pipeline cannot [19]. Wu et al. confirm that FPGA accelerators consistently achieve superior energy efficiency relative to GPU implementations at equivalent inference throughput for edge-scale models [17]. Wolf observes that FPGA development costs orders of magnitude less than ASIC, with timelines measured in weeks rather than years, and the device can be updated after deployment — critical for IoT environments where models and requirements evolve over multi-year device lifetimes [13]. Boutros and Betz summarise this positioning: FPGAs occupy the middle ground between general-purpose processors and fixed-function custom silicon, offering hardware-level parallelism, post-deployment reconfigurability, and development flexibility that neither ASICs nor CPUs can match simultaneously [19].

4.4 Reconfigurability as a Strategic IoT Property

IoT systems are not static. Models require retraining as operational environments evolve. Security vulnerabilities require updates to authentication logic. Communication protocols must comply with new standards. In a processor-based system all of these changes are handled in software; in an ASIC none are possible without hardware replacement; in an FPGA all are addressable through a bitstream update deliverable over-the-air [12], [13]. Maxfield describes partial reconfiguration as extending this advantage: specific FPGA regions can be reconfigured at runtime while the rest continues operating — directly relevant to IoT contexts where downtime is expensive or impractical [12].

4.5 FPGA Families Relevant to IoT: The Intel/Altera Ecosystem

For intelligent IoT devices designed using Quartus Prime, VHDL, and HLS, the Intel/Altera family provides the most directly applicable options. Hamblen, Hall, and Furman document that Cyclone V devices offer up to 85,000 adaptive logic modules, 342 DSP slices, and 4 Mb of BRAM at power levels viable for battery-aware IoT deployments [7]. The Cyclone V SoC variant integrates a hard ARM Cortex-A9 processor alongside the FPGA fabric — enabling the heterogeneous ARM+FPGA architecture described in Section 3.2. The MAX 10 family integrates internal flash configuration memory enabling immediate power-on operation without an external configuration chip — important for IoT nodes requiring fast, reliable startup. Sklyarov et al. confirm that both RTL-level VHDL design and HLS-based synthesis are well-supported by the Quartus Prime toolchain for these device families [10].

5. Mapping AI Models onto FPGA Hardware

5.1 From Trained Model to Hardware Circuit

Deploying a trained neural network onto an FPGA requires a coordinated multi-stage workflow addressing numerical representation, architectural parallelism, memory hierarchy, and toolchain translation. The first step is converting network arithmetic from floating-point to fixed-point representation. Floating-point units consume multiple DSP slices per operation; fixed-point arithmetic fits compactly within a single DSP slice

or even within LUT logic, enabling far more parallel operations for the same resource budget [19]. Shawahna et al. document that 8-bit post-training quantization converts 32-bit weights to signed integers with less than one percent accuracy degradation for typical IoT inference tasks [18]. Sklyarov et al. note that VHDL's explicit bit-width control — absent in processor-based software — allows each datapath signal to be assigned exactly the precision required [10].

The quantized network is then mapped onto processing elements (PEs): hardware modules each implementing a multiply-accumulate unit via a DSP slice, accumulator register, and weight-loading control logic from BRAM [18]. Multiple PEs operate in parallel on the FPGA fabric. Their count — determined by the available DSP budget — controls the throughput-versus-resource trade-off. Loop unrolling instantiates a fixed number of PEs that time-multiplex across the full neuron set, with Wolf describing this balance as the central design space exploration problem of FPGA-based digital systems [13]. Additional throughput comes from layer pipelining — overlapping computation across successive network layers so that while layer N+1 processes inference I, layer N simultaneously processes inference I+1 [19]. This yields deterministic throughput — one classification result every fixed number of clock cycles — unavailable on software platforms where latency varies with cache performance and OS scheduling. For weight storage, weight-stationary designs keep a layer's full quantized weight set on-chip in BRAM and stream inputs through, maximising data reuse and avoiding energy-expensive off-chip memory accesses [18] — strongly preferred for power- and latency-critical IoT deployments.

5.2 The HLS Workflow: Bridging Algorithm and Hardware

High-Level Synthesis addresses the RTL design complexity barrier by accepting an algorithmic C++ description of the inference computation and automatically generating synthesisable VHDL with configurable pipelining, loop unrolling, and memory partitioning pragmas. Sklyarov et al. evaluate HLS-generated designs against hand-coded VHDL and conclude that for regular, data-parallel computations HLS produces RTL with comparable resource utilisation and clock frequency while requiring a fraction of the development effort [10]. This means a practitioner with software engineering background and knowledge of neural network architectures can implement a hardware inference accelerator using the Quartus Prime HLS flow without requiring years of RTL design experience. The complete three-level workflow — TinyML compression to fixed-point weights, HLS translation to RTL, Quartus Prime synthesis to device bitstream — provides an accessible yet hardware-efficient path from trained model to deployed FPGA accelerator.

6. Application Domains: Evidence from the Literature

6.1 Healthcare: Real-Time Physiological Signal Analysis

Healthcare is among the most compelling domains for intelligent IoT, as latency and privacy requirements are simultaneously stringent. Warden and Situnayake document TinyML-based implementations including anomaly detection in PPG signals, fall detection from accelerometer data, and keyword spotting for voice-activated patient interfaces — all demonstrated on ARM Cortex-M microcontrollers [6]. Abadade et al. document that ECG classification is one of the most studied edge AI tasks, with models ranging from simple threshold-based classifiers to CNNs deployed on embedded platforms [16]. Situnayake and Plunkett note that GDPR and HIPAA compliance makes cloud transmission of raw physiological signals legally problematic in many contexts, making on-device inference the most reliable mechanism for ensuring sensitive data never leaves the patient's immediate environment [5].

6.2 Industrial IoT: Predictive Maintenance and Fault Detection

Industrial IoT is where delayed response is most directly quantifiable economically. Milenkovic describes predictive maintenance as a canonical IoT application requiring local analysis: the interval between a detectable fault signature in vibration data and actual mechanical failure is often too short for cloud-dependent inference to guarantee safe intervention [1]. Shawahna et al. note that CNN-based vibration spectrogram classification is among the best-suited workloads for FPGA acceleration — its regular convolutional structure maps efficiently onto DSP resources, and the modest network sizes required for industrial fault classification fit within the on-chip BRAM of mid-range devices [18].

6.3 Smart Environments: Keyword Spotting and Sensor Fusion

Warden and Situnayake's documentation of Google's 14-kilobyte wake-word detection network illustrates how a carefully compressed convolutional model delivers commercially useful intelligence within a microcontroller-class budget [6]. For FPGA-based implementations, keyword spotting becomes the relevant upgrade when MCU throughput is insufficient to support multiple concurrent audio streams or to

combine detection with additional tasks — noise suppression, speaker identification, or language classification — that individually exceed MCU capability.

7. Comparative Analysis

Table 1. Comparison of hardware platforms for on-device AI inference in IoT. Sources: Wu et al. [17]; Boutros and Betz [19]; Warden and Situnayake [6]; Wolf [13]

Criterion	MCU (e.g., ARM Cortex-M)	GPU (e.g., Jetson Nano)	ASIC	FPGA (e.g., Intel Cyclone V)
Inference latency	High (100s ms)	Low–medium (1–50 ms)	Very low (<1 ms)	Low (1–10 ms)
Power consumption	Very low (<100 mW)	High (5–10 W)	Very low (custom)	Low–medium (1–5 W)
Energy efficiency	Medium	Low	Very high	High
Flexibility / updatability	High (software)	High (software)	None (fixed)	High (bitstream)
Development complexity	Low	Medium	Very high	Medium–high
Maximum model complexity	Very low	High	Fixed at design	Medium–high
Cost (unit)	Very low	High	Very high (NRE)	Medium
Suitable for battery IoT	Yes	No	Yes (if low-power)	Yes (low-power families)

MCUs dominate on cost and development simplicity but cannot scale beyond shallow models without unacceptable latency. GPUs offer throughput but are power-prohibitive for battery IoT. ASICs offer peak efficiency but require millions in non-recurring engineering costs and cannot be updated after manufacture — a critical liability when models evolve over multi-year deployments; Wu et al. confirm this limits ASICs to very high-volume, stable applications [17]. FPGAs occupy the most favourable position: matching or exceeding MCU performance on complex workloads, far more energy-efficient than GPUs, fully updatable in the field, and achievable at a fraction of ASIC development cost. Their principal limitation — higher development complexity and per-unit cost than commodity MCUs — is the accepted trade-off for real-time, power-efficient, updatable AI inference at the IoT edge.

8. Gaps and Open Challenges

Absence of IoT-specific benchmarks. The existing FPGA deep learning benchmarks target data-centre devices. Boutros and Betz note that without benchmarks specifying model size, latency constraints, and power budgets for IoT-class FPGAs, cross-paper comparison is impossible and hardware platform selection lacks principled evidence [19].

Model-hardware co-design gap. TinyML practitioners compress models for MCU constraints; FPGA designers build accelerators for fixed models. No systematic methodology co-optimises both simultaneously. Shawahna et al. identify this as a recurring limitation: MCU-optimised models are not necessarily optimal for FPGA execution, and accelerators built for a specific model cannot easily adapt when that model changes [18].

Partial reconfiguration maturity. Partial reconfiguration — enabling in-field model updates without full device downtime — is theoretically available on modern FPGAs but remains absent from mainstream neural network accelerator design flows [12]. The gap between theoretical capability and practical deployment methodology is unresolved.

Expertise barrier and tool maturity. The MCU TinyML ecosystem has converged on standardised, accessible workflows [6]. FPGA-based neural network design remains fragmented across RTL, HLS, overlay, and vendor-specific approaches with no equivalent end-to-end tool guiding a practitioner from trained model to deployed accelerator.

9. Future Research Directions

IoT-specific FPGA inference benchmarks. Establishing standardised benchmarks specifying representative inference tasks from healthcare, industrial, and smart environment domains; reference datasets; model size and accuracy constraints calibrated to IoT-class FPGA resources; power measurement protocols; and a standardised reporting format for latency, throughput, and energy per inference.

Hardware-aware neural architecture search. Extending NAS approaches such as MCUNet to target FPGA resource budgets — DSP count, BRAM capacity, clock frequency — as search constraints from the outset, generating architectures optimal for FPGA execution rather than requiring post-hoc compression of MCU-targeted models.

Streamlined partial reconfiguration for in-field updates. Developing a modular accelerator architecture isolating the inference engine in a dedicated reconfigurable region, with a partial bitstream generation workflow integrated into the Quartus Prime design flow and a communication protocol for over-the-air delivery to deployed IoT nodes.

End-to-end open-source FPGA IoT AI toolchain. Developing and validating an open-source toolchain guiding a practitioner from a trained TensorFlow Lite or ONNX model through fixed-point quantization, HLS code generation, Quartus Prime synthesis, and deployment — analogous to what Edge Impulse provides for MCU deployment — to substantially lower the expertise barrier for FPGA-based intelligent IoT.

10. Conclusion

This paper has presented a structured review of Field-Programmable Gate Arrays as an enabling platform for real-time, on-device AI inference in resource-constrained IoT environments. Section 2 established that the resource constraints of IoT devices — kilobytes of memory, milliwatt power budgets, and sequential MCU arithmetic — are fundamental barriers to on-device intelligence with direct consequences for latency, privacy, and autonomous operation. Section 3 reviewed Edge AI and TinyML, showing how quantization, pruning, and distillation together with deployment frameworks such as TFLM and Edge Impulse bring neural network inference within embedded budgets — but demonstrating that software optimisation reaches an architectural ceiling that hardware must address. The SoC-FPGA architecture, integrating a hard ARM processor core with FPGA fabric on a single die, was identified as a coherent design philosophy bridging software flexibility and hardware parallelism for intelligent IoT. Section 4 examined FPGA architecture — configurable logic blocks, DSP slices, block RAM, programmable interconnect, and SRAM-based reconfigurability — establishing the hardware basis for spatially parallel inference. Section 5 connected these properties to the mapping pipeline: fixed-point quantization, parallel PE design, layer pipelining, weight-stationary memory management, and HLS-based design flows. Sections 6 and 7 surveyed application evidence across healthcare, industrial, and smart environment domains and confirmed FPGAs' favourable positioning through structured hardware comparison. Sections 8 and 9 identified four impactful open challenges and proposed specific, actionable research directions responsive to each.

The central finding — that FPGAs represent the most appropriate hardware platform for intelligent IoT at the performance tier above MCU capability and below ASIC justifiability — is supported by the weight of the reviewed evidence and points toward an increasingly important research agenda at the intersection of reconfigurable computing and embedded artificial intelligence.

References

[1] M. Milenkovic, *Internet of Things: Concepts and System Design*, 1st ed. Cham, Switzerland: Springer, 2020, ISBN: 978-3-030-41345-3.

[2] P. Lea, *IoT and Edge Computing for Architects*, 2nd ed. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2020, ISBN: 978-1-839-21480-6.

[3] M. Alioto, Ed., *Enabling the Internet of Things: From Integrated Circuits to Integrated Systems*, 1st ed. Cham, Switzerland: Springer, 2017, ISBN: 978-3-319-51480-2.

[4] A. Rayes and S. Salam, *Internet of Things From Hype to Reality: The Road to Digitization*, 3rd ed. Cham, Switzerland: Springer, 2022, ISBN: 978-3-030-90157-8.

[5] D. Situnayake and J. Plunkett, *AI at the Edge: Solving Real-World Problems with Embedded Machine Learning*. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2023, ISBN: 978-1-098-12020-7.

[6] P. Warden and D. Situnayake, *TinyML: Machine Learning with TensorFlow Lite on Arduino and Ultra-Low-Power Microcontrollers*. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2019, ISBN: 978-1-492-05204-3.

[7] J. O. Hamblen, T. S. Hall, and M. D. Furman, *Rapid Prototyping of Digital Systems: SOPC Edition*. New York, NY, USA: Springer, 2008, ISBN: 978-0-387-72670-0.

[8] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016. [Online]. Available: http://www.deeplearningbook.org

[9] R. Buyya and S. N. Srirama, Eds., *Fog and Edge Computing: Principles and Paradigms*, 1st ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2019, ISBN: 978-1-119-52498-4.

[10] V. Sklyarov, I. Skliarova, A. Barkalov, and L. Titarenko, *Synthesis and Optimization of FPGA-Based Systems*, ser. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 294. Cham, Switzerland: Springer, 2014, ISBN: 978-3-319-04707-2.

[11] S. D. Brown, R. J. Francis, J. Rose, and Z. G. Vranesic, *Field-Programmable Gate Arrays*, ser. The Springer International Series in Engineering and Computer Science, vol. 180. New York, NY, USA: Springer, 1992, ISBN: 978-0-7923-9248-4.

[12] C. Maxfield, *FPGAs: Instant Access*. Oxford, UK: Newnes/Elsevier, 2008, ISBN: 978-0-7506-8974-8.

[13] W. Wolf, *FPGA-Based System Design*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2004, ISBN: 978-0-131-42461-6.

[14] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, "Edge computing: Vision and challenges," *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, no. 5, pp. 637–646, Oct. 2016, doi: 10.1109/JIOT.2016.2579198.

[15] A. Alwarafy, K. A. Al-Thelaya, M. Abdallah, J. Schneider, and M. Juntti, "A survey on security and privacy issues in edge-computing-assisted Internet of Things," *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 6, pp. 4004–4040, Mar. 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3015432.

[16] Y. Abadade, A. Temouden, H. Bamoumen, N. Benamar, M. Y. Chkouri, and A. Hafid, "A comprehensive survey on TinyML," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 96892–96922, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3294111.

[17] R. Wu, X. Guo, J. Du, and J. Li, "Accelerating neural network inference on FPGA-based platforms — A survey," *Electronics*, vol. 10, no. 9, Art. no. 1025, 2021, doi: 10.3390/electronics10091025.

[18] A. Shawahna, S. M. Sait, and A. El-Maleh, "FPGA-based accelerators of deep learning networks for learning and classification: A review," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 7823–7859, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2890150.
[19] A. Boutros and V. Betz, "FPGA architecture: Principles and progression," *IEEE Circuits Syst. Mag.*, vol. 21, no. 2, pp. 4–29, 2021, doi: 10.1109/MCAS.2021.3071607.
[20] Z. Zhou, X. Chen, E. Li, L. Zeng, K. Luo, and J. Zhang, "Edge intelligence: Paving the last mile of artificial intelligence with edge computing," *Proc. IEEE*, vol. 107, no. 8, pp. 1738–1762, Aug. 2019, doi: 10.1109/JPROC.2019.2918951.

TƏHDİD AKTORLARININ MÜƏYYƏNLƏŞDİRİLMƏSİ ÜÇÜN BDM ƏSASLI MODEL

Ayxan Hüseynli
Müdafiə Texnologiyaları və Kibertəhlükəsizlik İnstitutu
Azərbaycan Texniki Universiteti
Bakı, Azərbayan
aykhan.huseynli@cert.az
0009-0008-7172-0239

Xülasə: Kiberhücumların konkret təhdid aktorlarına dəqiq şəkildə aid edilməsi bu günədək tam həll olunmamış, lakin yüksək əhəmiyyət kəsb edən məsələlərdən biri olaraq qalmaqdadır. Mövcud yanaşmaların əksəriyyəti artefaktların çıxarılması, məlumatın keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi və aktorun müəyyənləşdirilməsi proseslərini bir-birindən ayrı və əlaqəsiz mərhələlər kimi nəzərdən keçirir ki, bu da yekun nəticələrin etibarlılığına və təkrarlana bilməsinə mənfi təsir göstərir. Məqalədə qeyd olunan boşluğu aradan qaldırmaq məqsədilə vahid və inteqrasiya olunmuş yanaşmanın konsepsiyası təqdim olunur. Sözügedən yanaşma üç əsas mərhələni özündə birləşdirir: (1) müxtəlif mənbələrdən əldə olunan strukturlaşdırılmamış kibertəhdid kəşfiyyatı hesabatlarından böyük dil modelləri vasitəsilə strukturlaşdırılmış artefaktların çıxarılması, (2) zamanla köhnəlmə faktorunu nəzərə alan funksiyalar və artefaktların etibarlılıq baxımından çoxölçülü qiymətləndirilməsi, (3) əldə olunmuş artefaktlar əsasında Bayes yanaşması ilə təhdid aktorunun ehtimal xarakterli müəyyənləşdirilməsi. Nəticə etibarilə, müxtəlif təchizatçılar və təşkilatlardan toplanmış kibertəhdid kəşfiyyatı məlumatları emal edilərək, mümkün təhdid aktorlarının ehtimal əsaslı sıralanmış siyahısı formalaşdırılır.
Açar sözlər*: kibertəhdid kəşfiyyatı, təhdid aktoru, APT, böyük dil modeli.*

GIRIŞ

Təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi, yəni konkret kiberinsidentə görə məsul olan təhdid aktorunun kimliyinin müəyyən edilməsi rəqəmsal ekspertiza, kiberkəşfiyyat, və zərərli proqram təminatlarının analizi kəsişməsində yerləşən kompleks bir fəaliyyət sahəsidir. Kiberhücumlar fiziki, rəqəmsal, iqtisadi və reputasiya müstəvilərində ciddi zərər vurur və onların qarşısının alınması bilavasitə hücumuların arxasında dayanan təhdid aktorlarının müəyyən edilməsindən asılıdır [1], [2]. Təchizat zənciri hücumlarının və siyasi motivli kampaniyaların mürəkkəblik səviyyəsinin artması fonunda təhdid aktorlarının düzgün müəyyənləşdirilməsi milli təhlükəsizlik və iqtisadi sabitlik baxımından prioritet istiqamətlərdən birinə çevrilmişdir [3]. Bununla belə, təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi çətin və tam həll olunmamış problemlərindən biri olaraq qalmaqdadır. Hücumçular anonimləşdirmə və proksi texnikalarından, saxta bayraq əməliyyatlardan (ing. "false-flag operations"), eləcə də paylaşılmış və ya icarəyə götürülmüş infrastrukturdan istifadə etməklə araşdırma proseslərini məqsədyönlü şəkildə çətinləşdirirlər [1], [2].
Kibertəhlükəsizlik təchizatçıları və kibertəhlükəsizliyə cavabdəh qurumları ("CERT"/"CSIRT", Milli Kibertəhlükəsizlik Mərkəzləri) tərəfindən paylaşılan kibertəhdid kəşfiyyatı (KK) məlumatlarının sayı əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır. "Palo Alto Networks", "ESET", "Google", "CrowdStrike" və "Check Point" kimi şirkətlər ilə yanaşı, kibertəhlükəsizliyə cavabdəh qurumlar davamlı olaraq təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi baxımından əhəmiyyətli məlumatları ehtiva edən hesabatlar dərc edirlər. Bu məlumatların əl ilə çıxarılması, qiymətləndirilməsi və təhlükəsizlik həllərinə inteqrasiyası praktiki cəhətdən mürəkkəb prosesdir. Böyük dil modelləri (BDM) sahəsində son inkişaflar bu kimi məsələlərin öhdəsindən gəlmək üçün yeni imkanlar açmışdır. Lakin, təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi üçün yalnız

məlumatların çıxarılması mərhələsi kifayət etmir. İki əsas problem həll olunmalıdır: (1) çıxarılmış məlumatların çəkisi eyni deyil (məsələn, IP ünvanları kimi indikatorlar sürətlə aktuallığını itirərkən, Texnika, Taktika və Prosedurlar (TTP) aylarla sabit qala bilir); (2) çoxsaylı və müxtəlif çəkili artefaktlardan ibarət sübutların sistemli şəkildə birləşdirilərək ehtimal əsaslı aktor hipotezlərinə çevrilməsi üçün yanaşmaya ehtiyac vardır [2].

Məqalə yuxarıda qeyd olunan məsələləri nəzərə alaraq üç əsas töhfə təqdim edir. Birincisi, BDM əsasında artefaktların çıxarılması, mənbələrin və informasiyanın qiymətləndirilməsi, habelə Bayes yanaşmasına əsaslanan təhdid aktorunun müəyyənləşdirilməsini üçün vahid model təklif edilir. İkincisi, məlumatın aktuallığını qiymətləndirmək məqsədilə "Pyramid of Pain" konsepsiyasına əsaslanan və zamanla köhnəlmə amilini nəzərə alan metod təqdim edilir. Üçüncüsü, "NATO"-nun etibarlılıq qiymətləndirmə yanaşmasına əsaslanan KK mənbələrinin və məlumatların etibarlılığının qiymətləndirilməsi üçün yanaşma təqdim olunur [4]. Məqalədə təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi ilə əlaqəli ədəbiyyatda geniş şəkildə qeyd olunan əsas problemlər (texniki qeyri-müəyyənlik, məlumat dəstlərinin olmaması, aldadıcı fəaliyyətlərə həssaslıq, eləcə də təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi üçün texniki və hüquqi tələbləri arasındakı uyğunsuzluq) sistemli şəkildə nəzərə alınır və onların aradan qaldırılmasına yönəlmiş əsaslandırılmış yanaşma təqdim olunur.

ƏLAQƏLI IŞLƏR

AA. Təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi ilə əlaqəli problemlər

Tsaqourias və Farrell təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi üçün metodologiyaya dair geniş təhlil apararaq bir sıra əsas çətinlikləri müəyyən etmişlər [1]. İlk növbədə, vahid və geniş qəbul olunmuş təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi üçün model mövcud deyil. Mövcud modellər sürətlə aktuallığını itirir və ya baş verən dinamik dəyişiklikləri nəzərə almaqda çətinlik çəkir. İkincisi, məlumatlara dair əminlik dərəcəsini əksər hallarda konkret ifadə etmək mümkün olmur. ABŞ-nın Milli Kəşfiyyat Direktoru Ofisinin (ing. "ODNI") yanaşmasında belə, indikator kateqoriyaları üzrə etibar səviyyəsinin ölçülməsi üçün "kifayət qədər" və "məhdud" arasında yer alan metriklərdən istifadə olunsa da, sözügedən etibarlılıq səviyyələri üzrə konkret təsvirlər mövcud deyil. Təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi ilə əlaqəli müəlliflər qeyd edirlər ki, dövlətlər təhlükəsizlik səbəbləri ilə əlaqəli olaraq təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi prosesində istifadə olunan texnologiya və yanaşmalar barədə məlumatları əksər hallarda açıqlamırlar. Bu isə irəli sürülən iddiaların müstəqil şəkildə yoxlanılmasını və təsdiqlənməsini çətinləşdirir, nəticə etibarilə təhdid aktorlarının təyini nəticələrinin etibarlılığı və şəffaflığı ilə bağlı suallar yaranır [1].

BB. Təhdid aktorlarının saxta bayraq əməliyyatları

Xüsusi əhəmiyyət kəsb edən problemlərdən biri saxta bayraq əməliyyatlarının mövcudluğudur, yəni təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi cəhdlərini çətinləşdirmək məqsədilə izlərin gizlədilməsi və ya məsuliyyəti digər aktorlar tərəfə istiqamətləndirilməsi ilə həyata keçirilən kiberhücumlar [2]. Skopik və Pahi bu problemi sistemli şəkildə empirik olaraq araşdırmış və 15 rəqəmsal ekspertiza üzrə mütəxəssisinin iştirakı ilə müxtəlif artefakt siniflərinin etibarlılığını beşballıq şkala üzrə qiymətləndirmişlər.

Nəticələr göstərir ki, etibarlılıq səviyyəsi artefakt növündən asılı olaraq ciddi şəkildə dəyişir: Taktika, texnika və prosedurlar (TTP) 4.2/5, əmr və idarəetmə (ing. "Command and Control") və bulud infrastrukturu 4.6/5, "DNS" məlumatları 4.4/5 olaraq qiymətləndirilmişdir. Bunun əksinə olaraq, zərərli proqram təminatları nümunələri 2.3/5, fişinq məktubların yazılma qaydası 2.1/5 kimi aşağı qiymətlər almışdır. Bu fərqlər onunla izah olunur ki, bəzi artefaktlar asanlıqla saxtalaşdırıla bilər. "TV5Monde" şirkətinə hədəflənən hücum bunu açıq şəkildə təsdiq edir. Hücum zamanı istifadə olunan TTP-lar onu göstərdi ki, hücum "APT28" adlı hücum aktoru tərəfindən həyata keçirilmiş, lakin məqsədyönlü şəkildə digər təhdid aktoru tərəfindən həyata keçirildiyinə dair iddialar paylaşılmışdır. Təklif etdiyimiz model sözügedən məsələni birbaşa nəzərə alır.

CC. BDM əsaslı metodlar vasitəsilə artefaktların çıxarılması

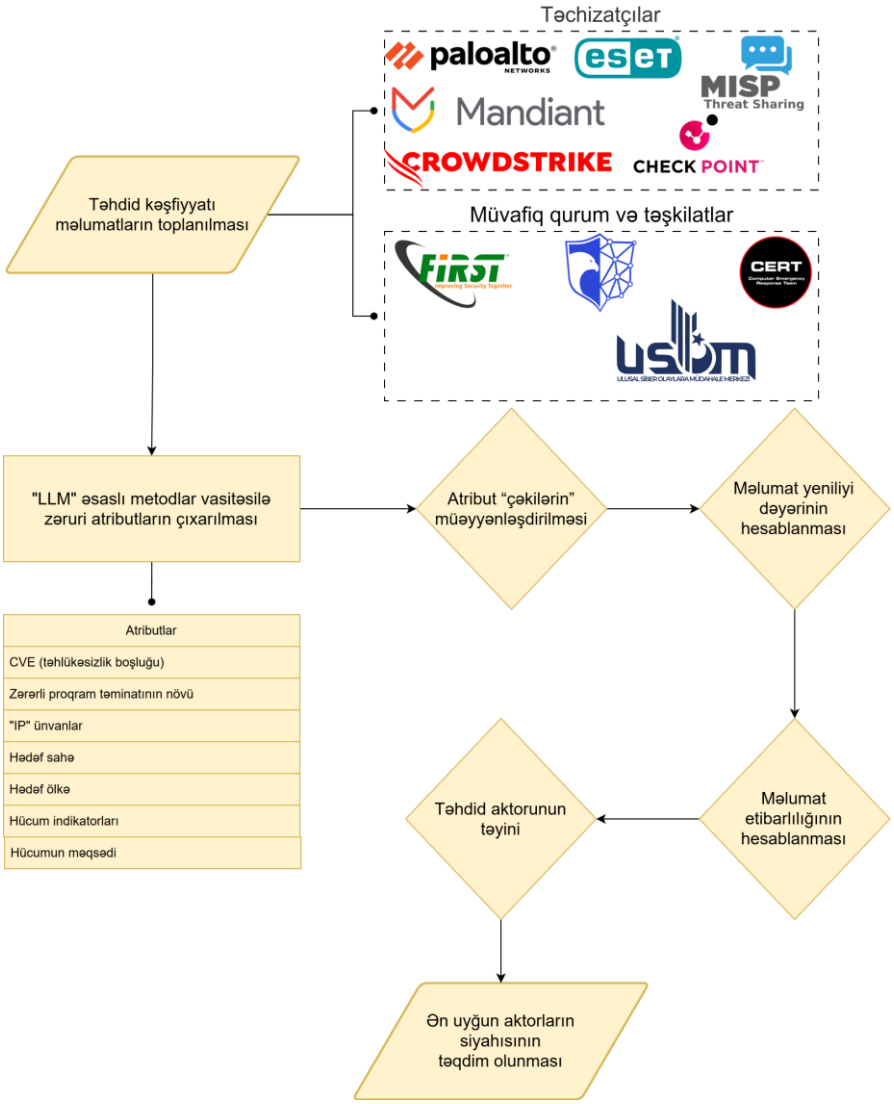
Adlandırılmış obyektlərin tanınması (ing. "Named Entity Recognition") təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi prosesinin əsas mərhələlərindən biridir. Klassik "BERT-BiLSTM-CRF" modelləri kibertəhlükəsizlik kontekstində effektiv nəticələr göstərmişdir [5]. "GliNER" əsasında həyata keçirilmiş eksperimentlər isə "zero-shot" və "few-shot" yanaşmalarını tətbiq edərək məlumat dəsti olmadan artefakt çıxarılmasını mümkün edir [6]. GPT-4 kimi modellər insan tərəfindən etiketlənmiş məlumatlara nisbətən qeyri-dəqiq nəticələr versə də, əldə olunan TTP-lər təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi üçün praktik dəyər daşıyır [7]. Bu isə BDM əsaslı metodlarını tətbiq edərək artefaktların avtomatlaşdırılmış qaydada çıxarılmasını mümkün olduğunu göstərir.

DD. Təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi metodları

Mövcud metodlar geniş spektri əhatə edir. TTP əsaslı metodlar Jakkard əmsalı tətbiq edildiyi halda 96% dəqiqlik əldə edir [8]. Bilik qrafı yanaşmaları açıq mənbəli KK məlumatlarından istifadə edərək aktorların profilləri yaradır və hücumları bu profillərlə uyğunlaşdırır [9]. Çoxmənbəli xüsusiyyət birləşdirmə metodları isə çoxsəviyyəli diqqət mexanizmləri vasitəsilə daha yüksək performans göstərir [10]. Davranış əsaslı modellər 95%-dən yüksək F1 göstəricilərinə nail olur, klassik maşın öyrənmə modelləri isə 96%-ə qədər dəqiqlik təmin edir [11], [12]. Lakin, qeyd olunan yanaşmaların heç biri sübutların zamanla köhnəlməsini və mənbə etibarlılığını təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi prosesində sistemli şəkildə nəzərə almır.

TƏKLIF OLUNAN MODEL

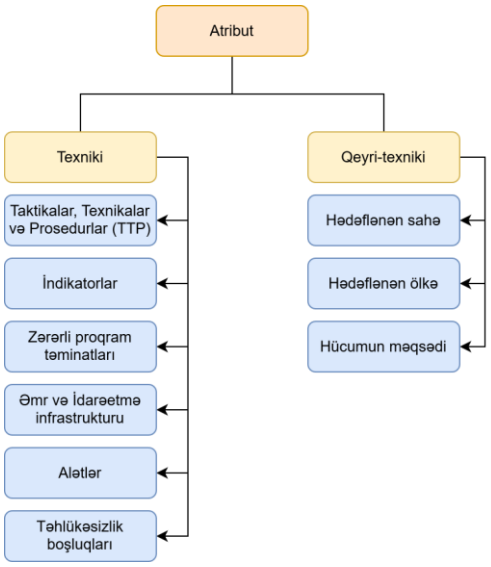
Təklif olunan model bir-biri ilə əlaqəli üç əsas moduldan ibarətdir: (1) BDM əsaslı artefakt çıxarılması, (2) məlumat keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi, (3) Bayes yanaşmasına əsaslanan ehtimal olunan aktorların hesablanması (şəkil 1).



Şəkil 1. Modelin sxematik təsviri.

EE. Artefaktların çıxarılması metodu.

Hər bir hesabatdan təhdid aktorunun müəyyənləşdirilməsi baxımından əhəmiyyət kəsb edən müvafiq artefaktların çıxarılması üçün BDM əsaslı adlandırılmış obyekt tanıma metodu tətbiq olunur. Burada "CVE" (təhlükəsizlik boşluğunun identifikatoru), zərərli proqram təminatının adı, IP ünvanlar, hədəf sektor, hədəf ölkə, hücumun məqsədi kimi artefaktlar çıxarılır (şəkil 2).



Şəkil 2. Çıxarılan artefaktlar.

Məlumatların çıxarılması üçün BDM-nə zəruri "JSON" strukturu və nümunə artefaktlar təqdim olunur. Bu yanaşma GPT, Claude Sonnet və ya LLaMA modelləri vasitəsilə həyata keçirilə bilər. Mövcud tədqiqatlarda GPT modelinin performans baxımından digər modellər ilə müqayisədə daha üstün nəticə nümayiş etdirir, lakin son zamanda istismara verilən modellər (Claude 4.6, GPT 5.4 və digərləri) üzərində testlərin aparılması olduqca vacibdir [6], [7].

FF. Məlumatların keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi metodu.

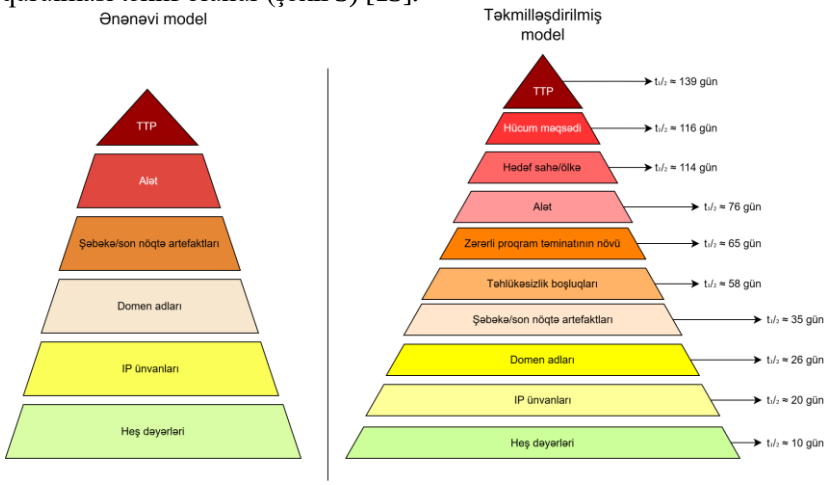
Məlumatın keyfiyyəti aktualıq və etibarlılıq kimi iki metrika üzrə qiymətləndiriıməsi təklif olunur.

- Aktuallığın qiymətləndirilməsi:

KK məlumatlarının dəyəri zaman keçdikcə azalır və bu azalma müxtəlif artefakt növləri üzrə fərqli sürətlə baş verir. IP ünvanları və domen adları dəyişkən olduğunu nəzərə alaraq, dəyərinin eksponensial azalma düsturu vasitəsilə hesablanması təklif olunur:

$$aktuallıq_a = e^{-\lambda \times \Delta t}$$

Burada Δt yüklənilmiş məlumatla cari tarix arasındakı gün fərqi, λ isə artefakt növünə məxsus deqradasiya əmsalıdır. Məlumatın dəyərinin 50%-ə düşməsi üçün lazım olan dövr $t_{1/2} = ln\,2/\lambda$ düsturu ilə hesablanır. Yüksək λ dəyəri sürətli köhnəlməni (məs., IP ünvanları üçün), aşağı λ isə stabil məlumatı (məs., TTP-lər üçün) göstərir. Artefakt növləri üçün deqradasiya əmsalları "Pyramid of Pain" konsepsiyasını təkmilləşdirərək qurulması təklif olunur (şəkil 3) [13].



Şəkil 3. Təkmilləşdirilmiş model.

- Etibarlılığın qiymətləndirilməsi:

Məlumat etibarlılığını ölçmək üçün iki müstəqil ölçü üzrə birləşik qiymətləndirmə sistemi təklif olunur:

$$etibarlılıq_a = \frac{ME(a) + İE(a)}{2}$$

Burada ME(mənbə etibarlılığı), yəni məlumatın gəldiyi mənbənin dəqiqliyi və etibarlılığını, $İE$ (informasiya etibarlılığı) isə konkret məlumatın doğruluq ehtimalını ifadə edir. İnformasiya etibarlılığı beş kateqoriya üzrə müəyyən edilir (cədvəl 1):

Cədvəl 1. İnformasiya etibarlılığın qiymətləndirilməsi.

Kateqoriya	***Kod***	***Dəyər***
Tamamilə etibarlı	A	0.90 - 1.00
Adətən etibarlı	B	0.75 - 0.89
Nisbətən etibarlı	C	0.55 - 0.74
Adətən etibarsız	D	0.30 - 0.54
Etibarsız	E	0.10 - 0.29

Mənbə etibarlılığı (ME) isə aşağıdakı beş kateqoriya üzrə qiymətləndirilir (cədvəl 2):

Cədvəl 2. Mənbə növlərinə görə etibarlılığın qiymətləndirilməsi

Kateqoriya	***Kod***	***Dəyər***
Beynəlxalq tərəfdaşlar (Milli "CERT"lər, Milli Kibertəhlükəsizlik Mərkəzləri və s.)	A	0.90 - 1.00
Təchizatçılar (qrup 1)	B	0.75 - 0.89
Təchizatçılar (qrup 2)	C	0.55 - 0.74
Açıq mənbələr ("OSINT")	D	0.30 - 0.54
Sosial media və forumlar	E	0.10 - 0.29

Artefaktların etibarlılıq və aktuallıq səviyyələri fərqli olduğuna görə hər bir artefakt üçün ümumi çəki hesablanır:

$$W_a = aktualıq_a \times etibarlılıq_a$$

GG. Bayes əsaslı təhdid aktorunun müəyyənləşdirilməsi.

Təhdid aktorunun müəyyənləşdirilməsi prosesinin son mərhələsini çəki, aktualıq və etibarlılıq qiymətləndirilməsindən keçirilmiş artefaktlar toplusundan istifadə edərək hər bir potensial təhdid aktoru üçün posterior ehtimalın hesablanması təşkil edir. Bu məqsədlə modeldə Bayes teoremi tətbiq edilərək, müşahidə olunan sübutlar (E) əldə edildikdə hər bir aktor (A_i) üçün posterior ehtimal hesablanır:

$$P(A_i|E) = \frac{P(E|A_i) \times P(A_i)}{\sum_{j=1}^{N} P(E|A_j) \times P(A_j)}$$

Burada,

- A_i – i-ci təhdid aktoru;
- E – hücum üzrə müşahidə olunan artefaktlar toplusu;
- $P(A_i)$ – aktorun ilkin (prior) ehtimalı;
- $P(E|A_i)$ – sübutların həmin aktorla uyğunluq ehtimalı;
- $P(A_i|E)$ – yekun (posterior) ehtimal;
- N – aktorların sayı.

Müşahidə olunan sübutlar E bir-birindən asılı olmayan artefaktlar toplusu kimi təqdim olunur:

$$E = \{a_1, a_2, \dots a_n\}$$

Sadələşdirici fərziyyə olaraq artefaktların şərti müstəqilliyi qəbul edilir. Belə olduğu halda:

$$P(E|A_i) = \prod_{k=1}^{m} P(a_k|A_i)^{W_{a_k}}$$

Burada:

- $P(a_k|A_i)$ – aktor A_i üçün artefakt a_k-nın "uyğunluq ehtimalı";
- W_{a_k} – artefaktın yenilik və etimad əsasında çəkisi (etibarlı və yeni artefakt ($W \approx 1$) ehtimala tam təsir edir, köhnə və ya şübhəli artefakt ($W \approx 0$) isə ehtimala minimal təsir edir)

"Uyğunluq ehtimalı"nın (yəni, $P(a_k|A_i)$) düzgün modelləşdirilməsi təhdid aktorun təyini prosesinin statistik sabitlik və interpretasiya baxımından olduqca vacibdir. Bu səbəbdən, artefaktların müxtəlifliyi hesablama zamanı nəzərə alınmalıdır. Məsələn, "MITRE" çərçivəsinə görə 14 taktika üzrə toplam olaraq 216 texnika mövcuddur. Hədəflənmiş hücumlar baş verdikdə isə adətən bu texnikaların yalnız məhdud

hissəsi müşahidə edilir və konkret insident üzrə formalaşan TTP toplusu aktorun tam fəaliyyət spektrini əks etdirmir.

Bu vəziyyət riyazi baxımdan aşağıdakı problemi yaradır:

Əgər $P(a_k|A_i)$ bütün artefaktlar üçün vahid (məsələn, uyğunluq varsa - 1, yoxdursa - 0) qayda ilə modelləşdirilərsə, bir texnikanın üst-üstə düşməməsi bütün ehtimal funksiyasını sıfıra endirə bilər. Bayes modelində ehtimal hasil formasında qurulduğuna görə istənilən k üçün $P(a_k|A_i) = 0$ olarsa, nəticədə $P(E|A_i)$ həmçinin sıfıra bərabərdir. Bu isə real hücum mühitində müşahidə olunan davranışa uyğun deyil, çünki təhdid aktorları zamanla texnika və alətlərini dəyişə bilirlər.

TTP və zərərli proqram təminatları, alətlər və istismar olunan təhlükəsizlik boşluğu artefaktları ilə bağlı yaranmış problemin qarşısını almaq üçün uyğunluq dərəcəsi nisbi üst-üstə düşmə kimi modelləşdirilməlidir. Əgər insident üzrə müşahidə olunan TTP çoxluğu (S_E), aktor profilində mövcud TTP çoxluğu (S_A) olaraq təsvir edilərsə, o zaman uyğunluq ehtimalı Jakkard əmsalı vasitəsilə aşağıdakı qaydada müəyyən edilə bilər:

$$P(a_k|A_i) = \frac{|S_E \cap S_{A_i}|}{|S_E \cup S_{A_i}|}$$

Hədəf ölkə, sektor və hücumun məqsədi kimi artefaktlar üzrə uyğunluq aşağıdakı kimi modelləşdirilə bilər:

$$P(a_k|A_i) = \begin{cases} 1-\varepsilon, uyğunluq\ varsa \\ \varepsilon, uyğunluq\ yoxdursa \end{cases}$$

IP ünvanlar, "URL" və domen adları kimi dəyişkən artefaktların təhdid aktorlarının təyini modelinə təsiri ayrıca vurğulanmalıdır. "Pyramid of Pain" əsaslı yanaşma burada öz töhfəsini göstərir. Ümumi çəki mexanizmin tətbiqi nəticəsində, model IP ünvanı təhdid aktorların təyini üçün siqnal olaraq qəbul edir, lakin onu qərarverici faktor olaraq nəzərə almır, əksinə daha stabil artefaktlar (məsələn, TTP və məqsəd) posterior üzərində əsas təsirə malik qalır. Dəyişkən artefaktlar həmçinin hədəf ölkə, sektor və hücumun məqsədi artefaktları ilə eyni qaydada hesablanır.

Qeyd edilməlidir ki, real hücum ssenarilərində bəzi artefaktlar (məsələn, TTP və istifadə olunan alət) arasında korrelyasiya mövcud ola bilər. Lakin hesablama sadəliyi və modelin interpretasiya edilə bilməsi məqsədilə ilkin mərhələdə şərti müstəqillik fərziyyəsi qəbul edilir.

NƏTİCƏ

Məqalədə kibertəhdid kəşfiyyatı məlumatlarının keyfiyyətinin qiymətləndirilməsini təmin edən və bu qiymətləndirməni Bayes yanaşması ilə birləşdirən konseptual model təqdim edilmişdir. Təklif olunan modelin əsas nəzəri töhfələri üç istiqamətdə cəmlənir:

5. Artefakt növlərinin zaman üzrə dəyişkənlik sürəti eksponensial azalma əmsalları ilə formallaşdırılmış, bununla da IP ünvanları kimi sürətlə aktuallığını itirən indikatorlarla TTP-lar kimi daha sabit xüsusiyyətlər arasında kəmiyyət əsaslı fərqləndirmə təmin edilmişdir;

6. Mənbə etibarlılığı və məlumatın etibarlılığı göstəricilərinin iki müstəqil ölçü üzrə birgə qiymətləndirilməsi yanaşması tətbiq olunmuşdur;

7. Bayes əsaslı təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi üçün metod işlənilib hazırlanmışdır.

Bununla yanaşı, modelin müəyyən məhdudiyyətləri də mövcuddur. Belə ki, prior ehtimalların düzgün kalibrasiyası mövcud aktorlara dair məlumatlarının həcmi və keyfiyyətindən asılıdır. Eyni zamanda metodun effektivliyi üçün geniş və etiketlənmiş KK məlumat dəstlərinə zərurət var. BDM arasında müqayisəli təhlillər aparmaqla təhdid aktorlarının müəyyənləşdirilməsi üçün ən effektiv modelin və ya model kombinasiyasının müəyyənləşdirilməsi, eləcə də KK məlumatlarının müxtəlif mənbələrdən avtomatlaşdırılmış qaydada toplanması üçün vahid mexanizmlərin formalaşdırılması da aktual tədqiqat mövzuları hesab edilir.

İSTINADLAR

[1] N. Tsagourias and M. Farrell, "Cyber Attribution: Technical and Legal Approaches and Challenges," *European Journal of International Law*, vol. 31, no. 3, pp. 941–967, Dec. 2020, doi: 10.1093/ejil/chaa057.

[2] F. Skopik and T. Pahi, "Under false flag: using technical artifacts for cyber attack attribution," *Cybersecur*, vol. 3, no. 1, p. 8, Dec. 2020, doi: 10.1186/s42400-020-00048-4.

[3] N. Prasad, A. Diro, M. Warren, and M. Fernando, "A survey of cyber threat attribution: Challenges, techniques, and future directions," *Computers & Security*, vol. 157, p. 104606, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.cose.2025.104606.

[4] J. M. Hanson, "The Admiralty Code: A Cognitive Tool for Self-Directed Learning," 2015.

[5] Z. Qiao, C. Zhang, and G. Du, "Improving Cybersecurity Named Entity Recognition with Large Language Models," in *2023 6th International Conference on Software Engineering and Computer Science (CSECS)*, Chengdu, China: IEEE, Dec. 2023, pp. 01–06. doi: 10.1109/CSECS60003.2023.10428218.

[6] O. Sorokoletova, E. Antonioni, and G. Colò, "Towards a scalable AI-driven framework for data-independent Cyber Threat Intelligence Information Extraction," in *2024 2nd International Conference on Foundation and Large Language Models (FLLM)*, Dubai, United Arab Emirates: IEEE, Nov. 2024, pp. 398–406. doi: 10.1109/FLLM63129.2024.10852465.
[7] K. Guru, R. J. Moss, and M. J. Kochenderfer, "On Technique Identification and Threat-Actor Attribution using LLMs and Embedding Models," in *2025 International Conference on Cybersecurity and AI-Based Systems (Cyber-AI)*, Varna, Bulgaria: IEEE, Sep. 2025, pp. 332–339. doi: 10.1109/Cyber-AI66431.2025.11233715.
[8] K. Edie, C. Mckee, and A. Duby, "Extending Threat Playbooks for Cyber Threat Intelligence: A Novel Approach for APT Attribution," in *2023 11th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)*, Chattanooga, TN, USA: IEEE, May 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/ISDFS58141.2023.10131867.
[9] Y. Ren, Y. Xiao, Y. Zhou, Z. Zhang, and Z. Tian, "CSKG4APT: A Cybersecurity Knowledge Graph for Advanced Persistent Threat Organization Attribution," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 35, no. 6, pp. 5695–5709, Jun. 2023, doi: 10.1109/TKDE.2022.3175719.
[10] T. T. M. Au, K.-K. Ngo, V.-H. Pham, and P. T. Duy, "A Multi-Source Feature Fusion-Based Knowledge Graph Construction from Cyber Threat Intelligence to Facilitate APT Attribution in IDS," in *2025 24th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, Hanoi, Vietnam: IEEE, Oct. 2025, pp. 73–78. doi: 10.1109/ISCIT67082.2025.11231704.
[11] E. Böge, M. B. Ertan, H. Alptekin, and O. Çetin, "Unveiling Cyber Threat Actors: A Hybrid Deep Learning Approach for Behavior-Based Attribution," *Digital Threats*, vol. 6, no. 1, pp. 1–20, Mar. 2025, doi: 10.1145/3676284.
[12] E. Irshad and A. Basit Siddiqui, "Cyber threat attribution using unstructured reports in cyber threat intelligence," *Egyptian Informatics Journal*, vol. 24, no. 1, pp. 43–59, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.eij.2022.11.001.
[13] Davidjbianco, "Enterprise Detection & Response: The Pyramid of Pain," Enterprise Detection & Response. Accessed: Apr. 05, 2026. [Online]. Available: https://detect-respond.blogspot.com/2013/03/the-pyramid-of-pain.html

TƏLƏBƏLƏRİN AKADEMİK GÖSTƏRİCİLƏRİNƏ TƏSİR EDƏN AMİLLƏRİN KORRELYASİYA ANALİZİ

Turqut İsmayılov
Bakı Mühəndislik Universiteti
İnformasiya və Kompüter Texnologiyaları Fakültəsi
Bakı, Azərbaycan
tismayilov9@std.beu.edu.az

Xülasə: *Tələbələrin akademik göstəriciləri təhsil nəticələrini və ümumi uğuru formalaşdıran bir-biri ilə əlaqəli müxtəlif amillərin təsiri altında yaranır. Bu məqalədə davamiyyət, dərsə sərf olunan vaxt, sosial media istifadəsi və yuxu rejimi kimi əsas amillərin akademik göstəricilərə təsiri və onların qarşılıqlı əlaqələri araşdırılır. Korrelyasiya əsaslı analitik yanaşmadan istifadə etməklə bu dəyişənlərin bir-biri ilə necə əlaqəli olduğu və tələbələrin akademik nəticələrində hansı fərqliliklərə səbəb olduğu izah edilir. Təhlil göstərir ki, müntəzəm davamiyyət və dərsə daha çox vaxt ayırmaq akademik uğurla müsbət əlaqəlidir, əksinə sosial medianın həddindən artıq istifadəsi və qeyri-müntəzəm yuxu rejimi akademik göstəricilərə mənfi təsir edir. Nəticələr balanslı gündəlik rejimin və effektiv vaxt idarəetməsinin akademik nəticələrin yaxşılaşdırılmasında mühüm rol oynadığını vurğulayır. Bu tədqiqat tələbə davranışlarının akademik göstəricilərə birgə təsirini anlamaq üçün konseptual çərçivə təqdim edir və gələcək empirik araşdırmalar üçün əsas yaradır.*
Açar sözlər: *akademik göstəricilər, korrelyasiya analizi, tələbə davranışı, dərs vərdişləri, təhsil*

I. GIRIŞ

Tələbələrin akademik göstəriciləri uzun müddətdir ki, təhsil sahəsində əsas tədqiqat mövzularından biri hesab olunur, çünki bu göstəricilər həm fərdi öyrənmə nəticələrini, həm də təhsil sistemlərinin ümumi effektivliyini əks etdirir. Akademik uğura təsir edən amillərin müəyyən edilməsi tələbələrin nailiyyətlərinin artırılması və effektiv təhsil strategiyalarının hazırlanması baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Lakin akademik göstəricilər tək bir amillə müəyyən olunmur, əksinə müxtəlif davranış və mühit faktorlarının qarşılıqlı təsiri nəticəsində formalaşır.

Əvvəlki tədqiqatlarda çox vaxt dərs vərdişləri, yuxu rejimi və ya sosial təsirlər kimi amillər ayrı-ayrılıqda araşdırılmışdır. Bu yanaşma müəyyən məlumatlar versə də, real həyatda bu amillərin bir-biri ilə əlaqəli olmasını tam əks etdirmir. Məsələn, daha çox dərs oxuyan tələbələr eyni zamanda daha az yatmış ola bilər və ya sosial mediadan çox istifadə edən tələbələrdə həm dərsə ayrılan vaxt, həm də diqqət səviyyəsi azala bilər. Buna görə də bu amillərin ayrı-ayrılıqda təhlili onların ümumi təsirini tam əks etdirmir.

Bu baxımdan korrelyasiya analizi bir neçə dəyişən arasında əlaqələri eyni zamanda araşdırmaq üçün əlverişli üsuldur. Bu üsul vasitəsilə müxtəlif amillər arasında müsbət və mənfi əlaqələr müəyyən edilərək tələbə davranışlarının akademik göstəricilərə necə təsir etdiyi daha aydın şəkildə izah edilə bilər.

Bu tədqiqatın məqsədi davamiyyət, dərsə sərf olunan vaxt, sosial media istifadəsi və yuxu rejimi kimi seçilmiş amillərin akademik göstəricilərlə əlaqəsini araşdırmaqdır. Tədqiqat bu amillərin rolunu müəyyən etməyi və onların qarşılıqlı təsirinin akademik nəticələrə necə təsir etdiyini izah etməyi hədəfləyir.

II. AKADEMIK GÖSTƏRICILƏRƏ TƏSIR EDƏN AMILLƏR

Tələbələrin akademik göstəriciləri öyrənmə effektivliyinə və ümumi nailiyyətlərə birbaşa təsir edən müxtəlif davranış amillərindən asılıdır. Bu amillər arasında davamiyyət, dərsə sərf olunan vaxt, sosial media istifadəsi və yuxu rejimi ən mühüm faktorlar hesab olunur.

Davamiyyət akademik uğurun əsas göstəricilərindən biridir. Dərslərdə müntəzəm iştirak tələbələrə mövzunu daha yaxşı anlamağa, müəllimlərlə qarşılıqlı əlaqə qurmağa və yaranan çətinlikləri vaxtında aradan qaldırmağa imkan verir. Davamiyyəti yüksək olan tələbələr adətən dərs prosesinə uyğun şəkildə irəliləyir və daha stabil nəticələr əldə edirlər.

Dərsə sərf olunan vaxt tələbələrin dərsdənkənar öyrənməyə nə qədər vaxt ayırdığını göstərir. Ümumiyyətlə, daha çox vaxt ayırmaq mövzunun daha yaxşı mənimsənilməsinə kömək edir. Lakin bu amilin effektivliyi yalnız vaxtdan deyil, həm də öyrənmə keyfiyyətindən və diqqətin qorunmasından asılıdır.

Sosial media istifadəsi müasir dövrdə tələbələrin həyatında mühüm yer tutur. Bu platformalar informasiya əldə etmək və ünsiyyət qurmaq üçün faydalı olsa da, həddindən artıq istifadə diqqətin dağılmasına və dərsə ayrılan vaxtın azalmasına səbəb ola bilər. Bu isə nəticədə akademik göstəricilərə mənfi təsir edir.

Yuxu rejimi isə idrak fəaliyyətləri və öyrənmə qabiliyyəti ilə sıx əlaqəlidir. Müntəzəm və kifayət qədər yuxu yaddaşın möhkəmlənməsinə, diqqətin artmasına və ümumi zehni fəaliyyətin yaxşılaşmasına kömək edir. Əksinə, qeyri-müntəzəm və ya az yuxu diqqətin azalmasına və yorğunluğa səbəb olaraq akademik nəticələrə mənfi təsir göstərir.

Bu amillər bir-birindən asılı olmayaraq deyil, qarşılıqlı əlaqə şəklində fəaliyyət göstərir. Məsələn, sosial medianın çox istifadəsi dərsə ayrılan vaxtı azalda və yuxu rejimini poza bilər. Eyni zamanda, yuxu çatışmazlığı davamiyyət və dərs effektivliyini azalda bilər. Buna görə də bu amillərin birlikdə təhlili daha dolğun nəticə verir.

III. KORRELYASIYA ANALIZI METODU

Korrelyasiya analizi dəyişənlər arasında əlaqənin gücünü və istiqamətini müəyyən etmək üçün istifadə olunan statistik üsuldur. Bu üsul bir dəyişəndə baş verən dəyişikliklərin digər dəyişənə necə təsir etdiyini müəyyən etməyə kömək edir.

Korrelyasiya analizi zamanı dəyişənlər arasındakı əlaqə Pearson korrelyasiya əmsalı vasitəsilə hesablanır. Bu əmsal aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$r = \Sigma((xi - \bar{x})(yi - \bar{y})) / \sqrt{(\Sigma(xi - \bar{x})^2 * \Sigma(yi - \bar{y})^2)}$$

Burada:

- xi və yi - müşahidə olunan qiymətlərdir
- $\bar{x}$ və $\bar{y}$ - orta qiymətlərdir
- r - korrelyasiya əmsalıdır

r əmsalının qiyməti -1 ilə +1 arasında dəyişir:

- $r > 0 \rightarrow$ müsbət korrelyasiya
- $r < 0 \rightarrow$ mənfi korrelyasiya
- $r = 0 \rightarrow$ əlaqə yoxdur

Bu düstur vasitəsilə dəyişənlər arasında əlaqənin gücü və istiqaməti müəyyən edilir.

Müsbət korrelyasiya iki dəyişənin eyni istiqamətdə dəyişdiyini göstərir. Məsələn, dərsə sərf olunan vaxtın artması adətən akademik göstəricilərin yüksəlməsi ilə əlaqələndirilir. Mənfi korrelyasiya isə dəyişənlərin əks istiqamətdə dəyişdiyini bildirir. Məsələn, sosial medianın çox istifadəsi akademik nəticələrin azalması ilə əlaqəli ola bilər.

Bu tədqiqat çərçivəsində korrelyasiya analizi seçilmiş amillər arasında əlaqələri izah etmək üçün konseptual yanaşma kimi istifadə olunur. Burada əsas məqsəd amilləri ayrı-ayrılıqda deyil, qarşılıqlı təsir çərçivəsində qiymətləndirməkdir.

IV. TƏHLIL VƏ MÜZAKIRƏ

Seçilmiş amillərin təhlili göstərir ki, davamiyyət və dərsə sərf olunan vaxt akademik göstəricilərlə müsbət əlaqəyə malikdir. Dərslərdə müntəzəm iştirak edən və dərsə daha çox vaxt ayıran tələbələr adətən daha yüksək nəticələr əldə edirlər.

Əksinə, sosial media istifadəsi akademik göstəricilərlə mənfi əlaqə göstərir. Sosial platformaların həddindən artıq istifadəsi diqqətin dağılmasına, vaxtın səmərəsiz istifadəsinə və öyrənmə prosesinin zəifləməsinə səbəb ola bilər.

Yuxu rejimi də akademik nəticələrə mühüm təsir göstərir. Müntəzəm yuxu rejimi olan tələbələr daha diqqətli və məhsuldar olur, qeyri-müntəzəm yuxu isə yorğunluğa və zəif nəticələrə səbəb olur.

Bu amillər arasında qarşılıqlı əlaqə də mühüm rol oynayır. Məsələn, sosial medianın çox istifadəsi dolayı yolla yuxu keyfiyyətini və dərsə ayrılan vaxtı azalda bilər. Eyni zamanda, yuxu çatışmazlığı davamiyyət və öyrənmə effektivliyini zəiflədə bilər.

Praktik nümunə və statistik yanaşma

Bu tədqiqat çərçivəsində nəzəri yanaşmanı dəstəkləmək məqsədilə sadə bir nümunə dataset nəzərə alınmışdır. Bu datasetdə tələbələrin davamiyyəti, dərsə sərf olunan vaxt, sosial media istifadəsi, yuxu rejimi və akademik göstəriciləri (GPA) arasında əlaqə müşahidə edilmişdir.

Cədvəl 1. Nümunə məlumatlar

Davamiyyət (%)	Dərs vaxtı (saat)	Sosial media (saat)	Yuxu (saat)	GPA
80	3	2	7	3.2
90	4	1	8	3.8
60	2	5	5	2.5
75	3	3	6	3.0
85	4	2	7	3.5

Bu nümunə məlumatlara əsasən faktorlar ilə akademik göstəricilər arasında əlaqələr təhlil edilmişdir.

Cədvəl 2. Faktorlar üzrə korrelyasiya nəticələri

Faktor	Korrelyasiya (GPA ilə)
Davamiyyət	+0.75
Dərsə sərf olunan vaxt	+0.70
Sosial media istifadəsi	-0.60
Yuxu rejimi	+0.65

Cədvəldən göründüyü kimi, davamiyyət və dərsə sərf olunan vaxt akademik göstəricilərlə müsbət korrelyasiyaya malikdir. Sosial media istifadəsi isə mənfi korrelyasiya göstərir. Yuxu rejimi də müsbət təsir edən amillərdən biri kimi çıxış edir.

Bu nəticələr əvvəlki nəzəri təhlilləri təsdiqləyir və göstərir ki, akademik göstəricilər bir neçə amilin qarşılıqlı təsiri nəticəsində formalaşır.

V. NƏTICƏ

Bu tədqiqat tələbələrin akademik göstəricilərinə təsir edən əsas davranış amilləri arasındakı əlaqələri korrelyasiya yanaşması ilə təhlil etmişdir. Nəticələr göstərir ki, davamiyyət və dərsə sərf olunan vaxt akademik uğura müsbət təsir göstərir, sosial media istifadəsi və qeyri-müntəzəm yuxu isə mənfi təsirə malikdir.

Araşdırma göstərir ki, balanslı gündəlik rejim, effektiv vaxt idarəetməsi və sağlam həyat tərzi akademik nəticələrin yaxşılaşdırılmasında mühüm rol oynayır. Gələcək tədqiqatlarda bu nəticələrin empirik məlumatlar əsasında daha geniş şəkildə araşdırılması məqsədəuyğundur.

ƏDƏBIYYAT
[1] J. Hattie, Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement. Routledge, 2009.
[2] B. J. Zimmerman and D. H. Schunk, Self-Regulated Learning and Academic Achievement. Erlbaum, 2001.
[3] M. Credé and N. R. Kuncel, "Study habits, skills, and attitudes: The third pillar supporting collegiate academic performance," Perspectives on Psychological Science, vol. 3, no. 6, pp. 425–453, 2008.
[4] M. Walker, Why We Sleep: Unlocking the Power of Sleep and Dreams. Scribner, 2017.
[5] G. Curcio, M. Ferrara, and L. De Gennaro, "Sleep loss, learning capacity and academic performance," Sleep Medicine Reviews, vol. 10, no. 5, pp. 323–337, 2006.

LITECOIN PRICE PREDICTION USING AI

Ulvi Sharifzade
Baku Engineering University
Computer Science
u.sharifzade@gmail.com
Baku, Azerbaijan

Daria Alizade
Baku Engineering University
Computer Engineering
dariaalizade7@gmail.com
Baku, Azerbaijan

ABSTRACT: Investors often encounter problems in the stock market, such as inefficiency, volatility, and time problems, which limit its accessibility and reliability. This article explores the potential of artificial intelligence to overcome these obstacles. Our system accepts financial input features such us open, high, low close and volume price to predict stock prices. The research aims at the predictive accuracy of the model and its practical value for retail investors. The solution demonstrates strong performances, illustrated by visual charts, and includes real-time explanations of the predictions generated by ChatGPT.
Keywords: Artificial Intelligence, Machine Learning, Stock Market, Analysis Market, Predictive Analytics

1. INTRODUCTION

The stock market faces ongoing challenges. These problems make it harder for people(average or new investors) to participate in or trust the system. Here are some of the challenges:

- There may be outdated systems or manual processes
- The market doesn't always reflect the true value of the stock
- Traders may miss fast-moving opportunities

AI is changing this paradigm by using advanced algorithms that can process massive amounts of real-time data much faster than a human analyst. Using machine learning (ML) and natural language processing (NLP), AI can identify intricate patterns in stock prices, financial reports, economic indicators, and even news articles-allowing it to make more accurate predictions than old methods. One major way AI is disrupting the stock market is through algorithmic trading. AI-powered algorithms can process massive amounts of market data and execute trades at lightning speed, identifying profitable opportunities in real time without human intervention. From their analysis of news headlines of the Wall Street Journal inputted from 1996 to 2022, a Chinese research paper concluded on the fact that the protocol named ChatGPT was able to predict stock market and economy events.AI is shaking up the world of stocks through algorithmic trading. Algorithms analyze vast amounts of market data on computers and execute trades at breakneck speed according to predefined rules, identifying profitable opportunities instantaneously without any

human intervention. One such instance is XTX Markets, a British firm formed by Alex Gerko. XTX uses AI and massive computing power to execute millions of trades every day. With £1.5 billion in profits and £250 billion in daily trades, XTX has become a world leader in algorithmic trading. So, what is algorithmic trading? Algorithmic trading refers to buying or selling stocks according to a pre-determined set of rules. The rules are formulated from historical data and can make use of such things as charts, technical analysis, or company fundamentals. High Frequency Trading (HFT) is one of the most employed forms of algorithmic trading. Currently, most of the regulators and regular stock market investors have moved in the direction of HFT. HFT is a category of algorithmic trading in which large volumes of stocks and shares are bought and sold mechanically at very high speeds. HFT tends to evolve continuously and will become the most dominant form of algorithmic trading in the future. So, these are the benefits of the research:

- AI enables HFT by executing thousands or even millions of trades per second
- AI models evolve by learning from new data.
- By automating trading and analysis tasks, firms reduce the need for large teams of analysts and traders.
- AI remains unbiased and unaffected by human emotions like fear or greed
- Using Natural Language Processing (NLP), AI can analyze news headlines, social media, and reports to gauge market sentiment.

We can see that Artificial Intelligence has completely changed the way trading is done, so we created our own project using AI. This research explores the combination of both technologies - using neural network for price prediction and ChatGPT for providing natural language explanations. The system aims to help novice investors understand market trends in a simplified way. The research explores how prediction results from the Neural Network can be integrated with a language model to generate AI explanations, we also evaluate the accuracy of the predictions, and provide visualizations using Python and data from LiteCoin. The rest of the paper is organized as follows: The methodology section explains the prediction pipeline, followed by results and conclusion.

2. RESEARCH METHOD

The system is initially developed in Python using several key libraries, including:

- Pandas and matplotlib for data preprocessing and visualization
- Train Test Split and Neural Network for model training and evaluation
- Gathering data from Binance Api

A. Data preparation

The model uses historical data of LiteCoin Binance Api format, which includes the following features:

- Data
- Open, High, Low,Close prices
- Volume

B. Model training and evaluation

After data preprocessing, machine learning models such as neural networks are trained on the dataset. The performance of the model is evaluated using the R2 value:

$R^2 = 1 - \Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2 / \Sigma(y_i - \bar{y})^2$

An accuracy of ~0,99 was observed, and it is acceptable for regression-based financial models.

After the prediction, the results are passed to ChatGPT as follows:

"Explain this stock prediction based on input features: Open= 0.092, High = 0.098..."

Then the answer is integrated into the UI for user readability.

C. Visualization

Figure 1. Actual vs. predicted LiteCoin price using date-based scatter plot.

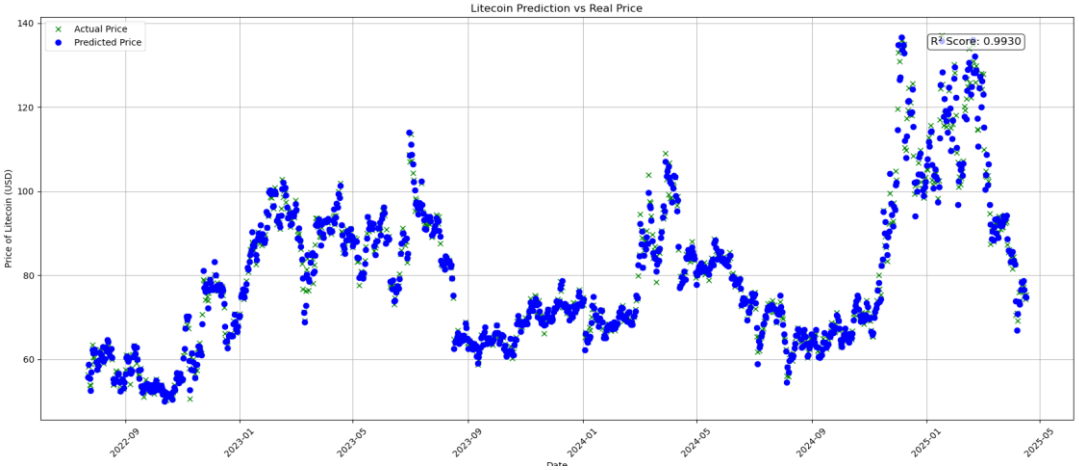
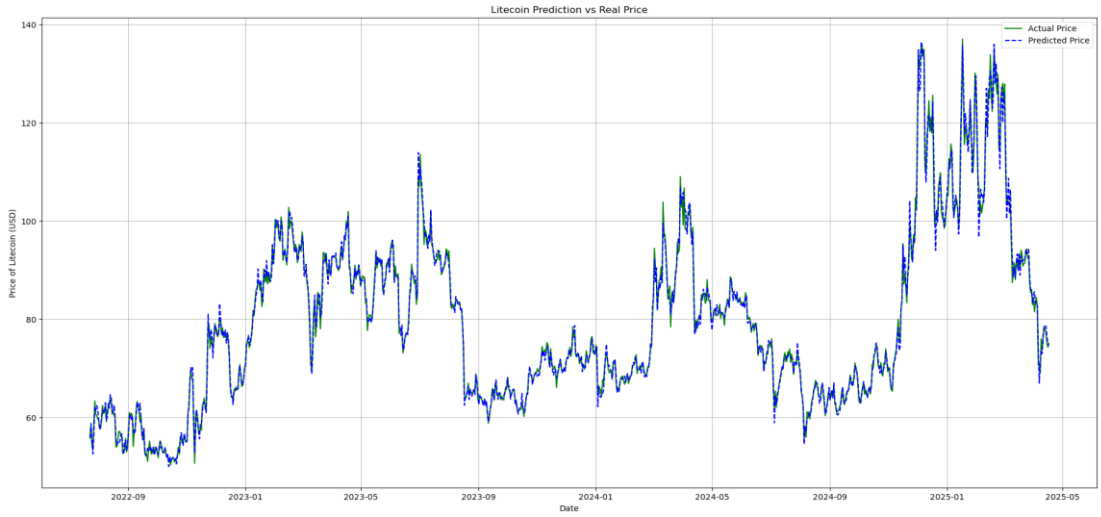


Figure 2. Real vs. Predicted line plot showing 99% accuracy (neural network in Python)



D. User interaction and visualization

- Dark mode for visual comfort
- Prediction history for visual comfort
- Visual chart system for graphical representation of price trends and predictions

In addition, the ChatGPT integration provides text-based explanations and help to improve user understanding of model output.

3. CONCLUSION

This research highlights the growing impact of artificial intelligence in addressing key challenges within the stock market. Also, our project shows that combining neural networks with ChatGPT explanations improves both the analytical power and the accessibility of stock prediction systems. While the prediction model provides strong accuracy, the ChatGPT layer adds interpretability - a key aspect.

REFERENCES

1. Understanding Deep Learning (2023). Practical Foundations and New Trends.
2. Fleuret, F. (2024). The Little Book of Deep Learning.
3. Deep Learning for Algorithmic Trading: A Systematic Review (2025).
4. EarnHFT: Efficient Hierarchical Reinforcement Learning for High Frequency Trading (2023).
5. Zhang, A., Lipton, Z. C., Li, M., & Smola, A. J. (2023). Dive into Deep Learning. Cambridge University Press.

THE CAP THEOREM IS MISUNDERSTOOD MORE THAN IT'S APPLIED

Huseyin Salimov
https://orcid.org/0009-0007-7918-7929,
quseyinsalimov@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

ABSTRACT

Background: For more than two decades, the CAP theorem has been one of the most-cited and most-misunderstood ideas in distributed systems. Engineers reach for it routinely when choosing between database technologies or justifying eventual-consistency designs, yet very few have read the formal proof, and fewer still distinguish CAP's narrow technical claims from the much broader marketing-flavoured "pick two of three" summary that has spread through industry lore. **Methods:** This paper takes a narrative literature review approach, drawing on the original sources – Brewer's 2000 PODC keynote, Gilbert and Lynch's 2002 formal proof, Brewer's 2012 retrospective – along with PACELC, Kleppmann's 2015 critique, and the practical refinements proposed by Vogels and others. The discussion is grounded in personal experience operating a production microservices platform serving enterprise procurement workflows, where eventual-consistency patterns over RabbitMQ and Spring Cloud Stream are used daily, and where the choice between strong and weak consistency is not theoretical but operational. **Results:** Four recurring misconceptions are identified: the "two out of three" simplification, which obscures that partition tolerance is not optional in any real network; the confusion between the C of CAP, which is linearizability, and the C of ACID, which is invariant preservation; the belief that CAP describes a system-wide choice rather than a per-operation choice; and the omission of latency, which PACELC addresses. **Conclusion:** CAP remains a valuable theoretical foundation but a poor practical design tool. PACELC, operation-level reasoning, and modern engineering achievements such as Spanner's externally consistent global transactions demonstrate that real-world decisions are richer than the textbook caricature of CAP allows.

Keywords: *CAP theorem; PACELC; eventual consistency; linearizability; distributed systems; microservices.*

INTRODUCTION

Few results in computer science are cited as casually as the CAP theorem, and few are misquoted as routinely. In whiteboard interviews, in conference talks, in design documents, the phrase "of course, CAP says you can only pick two" surfaces with the confidence of received wisdom – yet the original formulation, the formal proof, and the retrospective clarifications by Brewer himself tell a substantially more careful story [1, 2, 3].

The aim of this paper is not to add another formal treatment of the theorem; the literature is already rich on that front [2, 4]. Rather, the aim is to surface the gap between what CAP actually says and what practitioners, including the author for many years, were taught to believe it says. This is not an academic concern. Misreading CAP leads engineers to over-commit to eventually consistent stores when stronger guarantees would have served them better, to dismiss strongly consistent systems as inherently unavailable, and to make architectural decisions on the basis of a slogan rather than the underlying trade-off [5, 6].

This paper is organized as follows. The next section revisits the formal roots of the theorem. The third section identifies four common misconceptions. The fourth situates these against modern refinements – principally PACELC [6] and Kleppmann's critique [5]. The fifth offers a practitioner's perspective grounded in real microservices work. The paper closes with a brief discussion and conclusion.

THE FORMAL ROOTS

The CAP theorem began as a conjecture, presented by Eric Brewer in a 2000 PODC keynote on robust distributed systems [1]. Brewer's claim was that a networked shared-data system could not simultaneously guarantee three desirable properties: consistency, availability, and tolerance to network partitions. Two years later, Gilbert and Lynch published a formal proof in ACM SIGACT News, transforming the conjecture into a theorem [2]. Their formalization is precise. Consistency is defined as linearizability – a strong correctness condition developed by Herlihy and Wing [7] under which every operation appears to take effect instantaneously at some point between its invocation and its response. Availability is the property that every request received by a non-failing node must produce a response, with no error and no indefinite delay. Partition tolerance means that the system continues to function despite arbitrary loss of messages between nodes.

A decade later, Brewer himself published a retrospective that walks back the popular "two of three" framing [3]. His central observation was that, since partitions in any real network are not optional, the genuine architectural question is not whether to give up P but how to behave when a partition occurs and how to recover afterward. Gilbert and Lynch's companion piece [4] in the same issue of IEEE Computer reinforces the point with formal rigour.

FOUR PERSISTENT MISCONCEPTIONS

1) The "two of three" trap. The popular reading suggests an architect may freely choose any two of consistency, availability, and partition tolerance. In practice no such choice exists. Network partitions will occur in any distributed system over a sufficiently long horizon, even within a single data centre; the trade-off is therefore not C-vs-A-vs-P but rather what to sacrifice during a partition, and what to recover after [3]. A "CA" system, in the literature's strict sense, is one that has been deployed on a network that is assumed never to partition – an assumption that fails empirically and, in practice, silently.

2) Confusion between the C in CAP and the C in ACID. The C of CAP is linearizability [7]; the C of ACID is the preservation of database-level invariants by application logic across transactions. The two are unrelated. An eventually consistent system can preserve application invariants if its consumers are idempotent and convergent; a strongly consistent system can violate them if the application logic is broken. Conflating the two – something this author has personally observed in technical debates – produces design conversations in which the participants talk past each other for hours without realising it.

3) System-level versus operation-level reasoning. CAP is often stated as a system-wide property: a database "is" CP or "is" AP. Brewer's 2012 paper [3] is explicit that the trade-off can and should be made at the level of operations, not entire systems. A single platform may serve some queries with linearizable semantics and others with eventual consistency, which is precisely the design space that real systems occupy. Dynamo [8] popularized tunable consistency at the operation level; Cassandra [9] inherited that model and exposed it as a per-query concern.

4) The missing dimension of latency. CAP says nothing about latency, yet for the majority of real systems latency is the dominant trade-off, not partition behaviour. Abadi [6] formalizes this with PACELC: in the event of a Partition, the system must choose between Availability and Consistency; Else (under normal operation), it must choose between Latency and Consistency. Most systems' day-to-day design tension is the "ELC" half, not the "PAC" half. The fact that this half is absent from CAP is, in the author's view, the single largest reason CAP fails as a practical design tool.

PACELC, MODERN REFINEMENTS, AND COUNTEREXAMPLES

If CAP is a theoretical lower bound on possible designs, PACELC is closer to an actual decision framework [6]. It also exposes the fact that "AP" systems pay a hidden cost during normal operation: looser consistency in exchange for lower latency. Vogels' practitioner-oriented essay [10] from his time at Amazon documents this trade-off at length and introduces the now-standard vocabulary of monotonic reads, read-your-writes, and session consistency. Bailis and Ghodsi [11] subsequently surveyed how those weak models behave in practice and showed that eventually consistent systems often return consistent results far more frequently than their guarantees promise.

Kleppmann's 2015 critique [5] goes further, arguing that the definitions of "consistency" and "availability" in the original formulation are insufficiently precise to support the conclusions practitioners draw from them. He proposes instead a "delay-sensitivity" framework that analyses how much an operation's latency depends on network delay. This framing aligns better with the design constraints engineers actually face.

The most interesting counterexample to a naive reading of CAP is Google's Spanner [12], which provides externally consistent transactions over a globally distributed database. By Brewer's own admission [3], Spanner sits in the CP corner of CAP, but its engineering achieves availability sufficient for nearly all practical purposes – in the order of five nines – through aggressive use of synchronized clocks, redundant replicas, and careful operational discipline. Spanner does not contradict CAP; it shows that, in practice, the boundary between CP and AP is far softer than the textbook caricature suggests.

A PRACTITIONER'S VIEW

In the production microservices platform the author works on daily – an enterprise procurement and tendering system built on Spring Boot, PostgreSQL, RabbitMQ, and Spring Cloud Stream – the trade-offs CAP describes are not theoretical. The platform's tender lifecycle involves multiple bounded contexts that must coordinate state: sourcing, bid evaluation, award, purchase order. Distributed transactions across these contexts were rejected in favour of an eventual-consistency strategy based on the saga pattern, with domain events flowing through RabbitMQ and idempotent consumers on the receiving side. This is, formally, an

AP and EL choice in PACELC terms: during a partition, availability is preferred over consistency, and during normal operation, lower latency is preferred over linearizability.

The decision is not because consistency is unimportant – in procurement it is critical, given auditability requirements – but because the system's eventual convergence is acceptable so long as compensating actions can correct any transient inconsistency. This is precisely the per-operation, per-workflow reasoning that Brewer [3] and Abadi [6] argue for, and that the original CAP slogan tends to obscure. Within the same platform, some operations – such as final award generation – use stronger transactional guarantees in PostgreSQL, while others tolerate eventual convergence over messaging. The CAP slogan would force all of these into a single label; the reality refuses to fit.

DISCUSSION

Why does the misunderstanding persist? Three reasons appear most likely. First, CAP is a memorable slogan, and slogans displace nuance. Second, vendor marketing has used CAP to position products, often misleadingly [6]. Third, the gap between the formal proof [2] and the practitioner's daily experience is not bridged in most software-engineering curricula, leaving engineers with the slogan but not the underlying mechanics.

A broader observation: the most useful frameworks for reasoning about distributed-system design – PACELC, harvest and yield [13], delay-sensitivity [5], operation-level trade-offs [3] – are extensions and refinements of CAP rather than replacements. CAP remains a valuable starting point, just not a decision-making tool.

CONCLUSION

The CAP theorem is, in its formal sense, a correct and important result. In its informal sense, as practised and quoted across the industry, it is one of the most consequential misunderstandings in modern software engineering. Engineers who internalize the "two of three" slogan tend to make architectural decisions that are simpler than the situation warrants; engineers who study PACELC and operation-level reasoning tend to make decisions that survive contact with production.

The practical recommendation is straightforward: treat CAP as historical foundation rather than design framework; reach for PACELC when discussing latency and consistency trade-offs in normal operation; and reason about consistency and availability at the granularity of individual operations and workflows, not entire systems. The trade-offs are real, but they are not binary, and CAP's enduring contribution lies less in its prohibition and more in the conversations it began.

REFERENCES

1. Brewer, E. A. (2000). Towards robust distributed systems. In Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC), Portland, Oregon (Invited Talk). https://doi.org/10.1145/343477.343502

2. Gilbert, S., & Lynch, N. (2002). Brewer's conjecture and the feasibility of consistent, available, partition-tolerant web services. ACM SIGACT News, 33(2), 51–59. https://doi.org/10.1145/564585.564601

3. Brewer, E. (2012). CAP twelve years later: How the "rules" have changed. Computer, 45(2), 23–29. https://doi.org/10.1109/MC.2012.37

4. Gilbert, S., & Lynch, N. (2012). Perspectives on the CAP theorem. Computer, 45(2), 30–36. https://doi.org/10.1109/MC.2011.389

5. Kleppmann, M. (2015). A critique of the CAP theorem. arXiv preprint arXiv:1509.05393. https://arxiv.org/abs/1509.05393

6. Abadi, D. (2012). Consistency tradeoffs in modern distributed database system design: CAP is only part of the story. Computer, 45(2), 37–42. https://doi.org/10.1109/MC.2012.33

7. Herlihy, M. P., & Wing, J. M. (1990). Linearizability: A correctness condition for concurrent objects. ACM Transactions on Programming Languages and Systems, 12(3), 463–492. https://doi.org/10.1145/78969.78972

8. DeCandia, G., Hastorun, D., Jampani, M., Kakulapati, G., Lakshman, A., Pilchin, A., Sivasubramanian, S., Vosshall, P., & Vogels, W. (2007). Dynamo: Amazon's highly available key-value store. In Proceedings of the 21st ACM SIGOPS Symposium on Operating Systems Principles (SOSP '07), 205–220. https://doi.org/10.1145/1294261.1294281

9. Lakshman, A., & Malik, P. (2010). Cassandra: A decentralized structured storage system. ACM SIGOPS Operating Systems Review, 44(2), 35–40. https://doi.org/10.1145/1773912.1773922

10. Vogels, W. (2009). Eventually consistent. Communications of the ACM, 52(1), 40–44. https://doi.org/10.1145/1435417.1435432
11. Bailis, P., & Ghodsi, A. (2013). Eventual consistency today: Limitations, extensions, and beyond. Communications of the ACM, 56(5), 55–63. https://doi.org/10.1145/2447976.2447992
12. Corbett, J. C., Dean, J., Epstein, M., Fikes, A., Frost, C., Furman, J. J., Ghemawat, S., Gubarev, A., Heiser, C., Hochschild, P., Hsieh, W., Kanthak, S., Kogan, E., Li, H., Lloyd, A., Melnik, S., Mwaura, D., Nagle, D., Quinlan, S., … Woodford, D. (2013). Spanner: Google's globally distributed database. ACM Transactions on Computer Systems, 31(3), Article 8. https://doi.org/10.1145/2491245
13. Fox, A., & Brewer, E. A. (1999). Harvest, yield, and scalable tolerant systems. In Proceedings of the Seventh Workshop on Hot Topics in Operating Systems (HotOS-VII), 174–178. https://doi.org/10.1109/HOTOS.1999.798396

ARCHITECTURAL DECISIONS AND ADOPTION CHALLENGES IN MICROSERVICES MIGRATION: A CASE STUDY OF AN ENTERPRISE PROCUREMENT SYSTEM

Huseyin Salimov
https://orcid.org/0009-0007-7918-7929,
quseyinsalimov@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

ABSTRACT

Background: Microservices architecture has become a dominant paradigm for enterprise software development over the past decade, yet most empirical research has focused on technology-first companies. State-heavy enterprise domains such as procurement and tendering remain severely underrepresented in the academic literature. **Methods:** This work applies a qualitative single case study approach grounded in Yin's (2018) framework, examining *ms-procurement-tendering* – a production microservices platform serving real organizational procurement workflows. Data sources include system architecture documentation, insider practitioner experience, and real operational incidents; thematic analysis produced two taxonomic structures. **Results:** Five critical architectural decisions were identified – service boundary definition, communication pattern selection, data consistency strategy, configuration and secret management, and distributed scheduling – alongside three challenge categories: technical, operational, and organizational. Object-relational mapping (ORM) performance degradation, secret management in distributed contexts, and local-to-production environment parity emerged as the most recurring problems. **Conclusion:** The study contributes a structured decision catalogue and challenge taxonomy for the enterprise procurement domain. The findings serve as a concrete reference framework for practitioners planning similar migration projects.

Keywords: *microservices architecture; enterprise procurement; architectural decisions; JPA/Hibernate; case study.*

INTRODUCTION

Microservices have been a dominant paradigm in enterprise software development since approximately 2014 [1]. The notion of independently deployable services organized around business capabilities, with decentralized data management [1, 2], has gained broad acceptance in both academia and industry. The bulk of existing empirical research, however, has focused on technology-first companies – Netflix, Amazon, Spotify, and the like. Traditional enterprise domains, particularly procurement and tendering systems, remain severely underrepresented in the academic literature [11, 12].

This gap matters from both a theoretical and a practical standpoint. Procurement systems involve multi-stage workflows (sourcing → tendering → bid evaluation → award → purchase order); these workflows

are highly state-dependent, subject to strict auditability requirements, and demand coordination among multiple parties. In such a context, service decomposition is neither trivial nor can existing pattern catalogues – Strangler Fig, domain-driven decomposition, database-per-service [2, 3] – be applied directly without domain-specific consideration.

This research is structured around three questions. **RQ1:** which architectural decisions are critical during microservices adoption in enterprise procurement systems? **RQ2:** what technical and organizational challenges emerge during this migration? **RQ3:** what patterns or principles can guide future adopters in similar domains? The remainder of the paper is organized as follows: the next section presents the research methodology and the system description, followed by the principal findings, and finally the discussion and conclusions.

In the existing literature, Lewis and Fowler [1] characterize microservices as both a technical and an organizational phenomenon; Newman [2] and Richardson [3] systematize the field's pattern catalogues, while Dragoni et al. [4] trace the architectural history and the relationship to service-oriented architecture (SOA). On the empirical side, Taibi et al. [5] examine migration motivations and issues, Balalaie et al. [6] report on real migration experience, and Taibi and Lenarduzzi [7] develop a taxonomy of microservice "bad smells." Zimmermann [8] articulates microservices tenets as a decision framework, and Bass et al. [10] formalize the nature of an architectural decision. Yet systematic mapping studies by Di Francesco et al. [11] and Pahl and Jamshidi [12] make clear that research interest has clustered around general patterns and technology-first cases; state-heavy enterprise domains such as procurement remain almost entirely undiscussed. This study addresses precisely that gap.

MATERIALS AND METHODS

A single case study approach was selected, consistent with the qualitative analysis framework proposed by Yin [9]. As Yin argues, single case studies are appropriate when the researcher seeks answers to "how" and "why" questions, when a contemporary phenomenon is examined within its real-life context, and when the researcher has no control over the phenomenon. The three research questions of this study fall squarely within this category.

Case selection rationale. The study object is *ms-procurement-tendering*, a production microservices platform. The system is not a prototype – it serves real organizational procurement flows. Three criteria justify this selection: (i) the system's business complexity, including a multi-stage tender lifecycle, dynamic bid comparison matrix, technical evaluation, award generation, and purchase order issuance; (ii) domain rarity, given the absence of open academic case studies in the procurement domain; and (iii) the researcher's insider observer status and direct involvement in the system's daily development and operation.

Technology stack. The system is built on Spring Boot, JPA/Hibernate (Java Persistence API / Object-Relational Mapping), PostgreSQL, RabbitMQ, Spring Cloud Stream, Quartz Scheduler, Feign clients, Kubernetes, HashiCorp Vault, and Spring Cloud Config Server. Related services include *ms-dictionary* (reference data), *ms-scheduler* (job management), and a Backend-for-Frontend (BFF) gateway layer. Deployment runs on a Kubernetes cluster, with continuous integration and delivery handled through GitLab CI/CD.

Data sources. Three types of data sources were used: (a) system architecture documents and design decision records; (b) insider practitioner experience as a developer; (c) real operational incidents – Out-of-Memory (OOM) errors, query performance issues, scheduling failures, and Vault authentication problems.

Analytical method and validity threats. Initially, individual architectural decisions and implementation challenges were documented as separate observations. These observations were then reviewed iteratively to identify recurring patterns, similarities, and broader themes that emerged across different stages of the project. This process made it possible to move beyond isolated incidents and develop a more coherent understanding of the organizational and technical dynamics surrounding the system's adoption. As with many qualitative studies, several validity concerns must be acknowledged. The most significant threat to internal validity stems from insider–researcher bias, since the analysis was conducted by individuals closely involved in the project. Such proximity can unintentionally influence interpretation and emphasis. To reduce this risk, a structured coding process was applied during the thematic analysis, and observations were only considered reliable when they could be confirmed through at least two independent incidents or examples observed during the study. External validity also presents an important limitation. Because the research is based on a single case study, the findings cannot be generalized universally across all organizations or microservice adoption contexts. Nevertheless, this limitation was addressed to some extent by comparing the observed patterns and outcomes with findings reported in existing academic and industry

literature. This comparative perspective helped position the case within broader discussions on software architecture and organizational transformation.

System overview. The platform supports the full procurement lifecycle – from sourcing events through the tender lifecycle, bid comparison matrix, technical evaluation and proposal cost management, award document generation, and on to purchase orders and price agreements. Bounded contexts were identified along four principal groupings: procurement workflow, tender lifecycle, reference dictionary service, and scheduling. Inter-service communication is organized in two modes: synchronous REST (Feign) for query operations, and asynchronous messaging (RabbitMQ + Spring Cloud Stream) for workflow state transitions. Each service owns its PostgreSQL schema; cross-service direct database joins are forbidden by design.

RESULTS

A. Architectural Decisions

1) Defining Service Boundaries. At the heart of our architectural strategy was the decision to break the system down by business capabilities. The goal was to create clear lines of ownership, giving teams the freedom to manage their own domains without constant interference. While this finer granularity definitely hit the mark for flexibility, we quickly realized that independence isn't free. As we moved toward smaller, more specialized services, the effort required to coordinate across them–especially for workflows that touched multiple areas–began to climb. Essentially, the more we decoupled the technology, the more we had to lean into managing the human and operational dependencies. This experience really drove home the point made by Sam Newman: while autonomy is a powerful tool for scaling, it always brings a corresponding tax in the form of increased coordination and complexity.

2) Selecting Communication Patterns. Another important decision concerned the choice of communication mechanisms between services. The architecture employed synchronous REST-based communication for query-oriented operations, while asynchronous messaging was adopted for workflow transitions and state-changing processes. Synchronous interactions were considered suitable for scenarios requiring immediate responses and straightforward request–response behavior. In contrast, asynchronous messaging provided looser coupling, improved resilience, and better support for retries and event-driven workflows. Despite these advantages, distinguishing between synchronous and asynchronous responsibilities was not always straightforward during implementation. In several cases, the boundary between the two communication styles became a source of inconsistency and architectural ambiguity. Consequently, maintaining coherence required explicit agreements and shared conventions across development teams to ensure that communication patterns were applied consistently throughout the system.

3) Data consistency strategy. Eventual consistency through domain events was adopted in place of distributed transactions (two-phase commit, 2PC). This choice aligns with the saga pattern recommended by Richardson [3]. The practical consequence was that partial-failure scenarios required idempotency guarantees on the consumer side and careful event design.

4) Configuration and secret management. HashiCorp Vault was selected for secrets, and Spring Cloud Config Server for environment-specific configuration. Zimmermann [8] notes that centralized configuration is among the architectural tenets of microservices; in practice, however, Vault AppRole authentication added non-trivial complexity to the local development environment, and the Config Server's *git-reset* behaviour overrode local developer changes. The resolution was to adopt a *native* profile for local environments while preserving the Vault-backed setup for higher environments.

5) Scheduling in a distributed context. Quartz Scheduler integrated with RabbitMQ consumers was chosen for reliable management of the job lifecycle. A noteworthy pattern emerged: the *TransactionSynchronizationManager.afterCommit()* callback was used to defer scheduling until after the database transaction commits, preventing the creation of phantom jobs on rollback. In a multi-instance deployment, exactly-once execution required idempotency checks at the consumer level.

B. Adoption challenges

1) Technical challenges – ORM performance. Three recurring failure modes were identified: (a) the N+1 query problem under scale; (b) Cartesian-product row duplication produced by multi-collection *JOIN FETCH* clauses, where over 900 duplicate rows were observed in a dataset of 150 procurement records; and (c) in-memory pagination signalled by the *HHH90003004* warning. All three were addressed by the same resolution pattern – two-phase pagination: paginate identifiers first, then fetch full entities by ID set. This approach corresponds to the "data service bad smell" category described by Taibi and Lenarduzzi [7].

2) Technical challenges – testing and observability. Test coverage in event-driven workflows demanded particular care: Spring Cloud Stream consumers required careful mocking of message channel bindings, and integration tests for Quartz jobs required an embedded scheduler. Correlating failures across service boundaries required propagating correlation identifiers through message headers and REST calls.
3) Operational challenges. Kubernetes deployment required management of liveness and readiness probes, resource limits, and update sequencing across interdependent services. The overhead of secret management – Vault AppRole token renewal and lease management – markedly increased onboarding time for new developers. The discrepancy between the local environment (*native* profile) and production (Vault plus Git-backed Config Server) caused environment-specific bugs that proved difficult to reproduce.
4) Organizational challenges. Sustained transfer of procurement domain vocabulary – sourcing events, bid opening protocols, price agreement frameworks – between developers and business analysts proved essential. Each developer had to maintain mental context across multiple services in parallel, a load that intensified during cross-service feature development. Feign client compatibility and API versioning demanded discipline; non-backward-compatible changes in one service produced cascading effects in consumers. These observations are consistent with the organizational issues reported by Taibi et al. [5].

DISCUSSION

The findings can be synthesized along three principal axes. **First**, in the enterprise procurement domain, business-capability-based boundary definition outperforms a technical-layer decomposition. This conclusion confirms the general recommendations of Newman [2] and Zimmermann [8], but adds a nuance: the state-heavy nature of procurement workflows can punish overly fine granularity. **Second**, the boundary between synchronous and asynchronous communication patterns must be defined explicitly before implementation begins; doing so neutralizes the principal source of the "communication bad smells" identified by Taibi and Lenarduzzi [7]. **Third**, ORM performance must be treated as a first-class architectural concern rather than as an afterthought to be optimized later.
Configuration complexity is a topic underrepresented in the existing literature. The mapping study by Pahl and Jamshidi [12] rarely lists configuration management as a first-class architectural decision; yet the experience reported here with Vault AppRole authentication and Config Server behaviour shows that maintaining configuration parity between local development and production is a non-functional but practically decisive matter in any migration. This may be regarded as a potential novel contribution for future research.
Practical recommendations. Four principles are proposed for organizations undertaking similar migrations: (i) decompose by business capability rather than by technical layer; (ii) define synchronous and asynchronous communication boundaries before implementation; (iii) invest early in local-development environment parity; and (iv) treat ORM performance as a first-class architectural concern.
Limitations. A single case study restricts statistical generalizability. The insider-researcher role introduces potential observation bias; the system continues to evolve, so the findings represent a point-in-time snapshot.
Conclusions. The research questions are answered as follows. **RQ1:** five critical decisions were identified – service boundaries defined by business capability, formalization of synchronous/asynchronous communication boundaries, an eventual-consistency-based data strategy, centralized configuration and secret management, and transaction-aware scheduling in a distributed context. **RQ2:** a three-dimensional taxonomy of challenges (technical, operational, organizational) is proposed, with ORM performance degradation and configuration parity emerging as the most recurring problems. **RQ3:** the four principles proposed above serve as a concrete guide. The principal contribution of this work is a documented real-world decision log and challenge taxonomy for the enterprise procurement domain – a domain almost entirely absent from current literature. Future research directions include multi-case studies across diverse enterprise domains and quantitative measurement of the performance impact of the architectural decisions identified here.

REFERENCES

1. Lewis, J., & Fowler, M. (2014). Microservices: A definition of this new architectural term. https://martinfowler.com/articles/microservices.html
2. Newman, S. (2015). Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. O'Reilly Media.
3. Richardson, C. (2018). Microservices Patterns: With Examples in Java. Manning Publications.

4. Dragoni, N., Giallorenzo, S., Lafuente, A. L., Mazzara, M., Montesi, F., Mustafin, R., & Safina, L. (2017). Microservices: Yesterday, today, and tomorrow. In M. Mazzara & B. Meyer (Eds.), Present and Ulterior Software Engineering (pp. 195–216). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67425-4_12
5. Taibi, D., Lenarduzzi, V., & Pahl, C. (2017). Processes, motivations, and issues for migrating to microservices architectures: An empirical investigation. IEEE Cloud Computing, 4(5), 22–32. https://doi.org/10.1109/MCC.2017.4250931
6. Balalaie, A., Heydarnoori, A., & Jamshidi, P. (2016). Microservices architecture enables DevOps: Migration to a cloud-native architecture. IEEE Software, 33(3), 42–52. https://doi.org/10.1109/MS.2016.64
7. Taibi, D., & Lenarduzzi, V. (2018). On the definition of microservice bad smells. IEEE Software, 35(3), 56–62. https://doi.org/10.1109/MS.2018.2141031
8. Zimmermann, O. (2017). Microservices tenets. Computer Science – Research and Development, 32(3–4), 301–310. https://doi.org/10.1007/s00450-016-0337-0
9. Yin, R. K. (2018). Case Study Research and Applications: Design and Methods (6th ed.). SAGE Publications.
10. Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (2012). Software Architecture in Practice (3rd ed.). Addison-Wesley.
11. Di Francesco, P., Malavolta, I., & Lago, P. (2017). Research on architecting microservices: Trends, focus, and potential for industrial adoption. In 2017 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA) (pp. 21–30). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICSA.2017.24
12. Pahl, C., & Jamshidi, P. (2016). Microservices: A systematic mapping study. In Proceedings of the 6th International Conference on Cloud Computing and Services Science (CLOSER 2016) (pp. 137–146). SciTePress. https://doi.org/10.5220/0005785501370146

"AĞILLI KƏND" LAYİHƏLƏRİNDƏ ENERJİ SƏRFİYYATININ MAŞIN ÖYRƏNMƏSİ İLƏ OPTİMALLAŞDIRILMASI

Ömər Əliyev
oeliyev22025@std.beu.edu.az
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan

Xülasə:Müasir dövrdə enerji resurslarının səmərəli idarə edilməsi, xüsusilə işğaldan azad edilmiş ərazilərdə qurulan "Ağıllı kənd" konsepsiyasının təməl prinsiplərindən biridir. Enerji istehlakının qeyri-sabitliyi və pik saatlarda yaranan ifrat yüklənmələr ənənəvi idarəetmə sistemlərinin effektivliyini kəskin şəkildə aşağı salır. Bu tədqiqat işinin əsas məqsədi "Ağıllı kənd" infrastrukturunda abonentlərin enerji sərfiyyatını qabaqcadan proqnozlaşdıran və şəbəkənin yüklənməsini optimallaşdıran maşın öyrənməsi modelinin təklif edilməsidir. Tədqiqat çərçivəsində tarixi enerji istehlakı, hava şəraiti və zaman faktorları (günün saatları, həftənin günləri) kimi mühüm dəyişənlər nəzərə alınaraq, proqnozlaşdırma üçün Xətti Reqressiya və "Random Forest" (Təsadüfi meşə) alqoritmlərinin tətbiqi araşdırılmışdır. Modelin qurulması üçün açıq mənbəli məlumat bazalarından istifadə edilmiş, məlumatlar maşın öyrənməsi standartlarına uyğun olaraq ilkin emal prosesindən keçirilmişdir. Təklif olunan intellektual sistem vasitəsilə enerji paylanmasının tam avtomatlaşdırılması və texniki itkilərin minimuma endirilməsi hədəflənir. İlkin analizlər göstərir ki, təklif olunan yanaşmanın inteqrasiyası ümumi enerji israfının əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına səbəb ola bilər. Əldə edilən bu nəticə həm iqtisadi səmərəliliyin artırılmasına, həm də ekoloji cəhətdən dayanıqlı "Ağıllı kənd" modelinin inkişafına mühüm töhfə verəcəkdir.
***Açar sözlər*:** süni intellekt, maşın öyrənməsi, ağıllı kənd, enerji optimallaşdırılması, proqnozlaşdırma.

Giriş:

Tədqiqat işi bərpa olunan və ənənəvi enerji mənbələrinin inteqrasiya edildiyi "Ağıllı kənd" layihələrində intellektual idarəetmənin təmin edilməsinə həsr olunmuşdur. İşğaldan azad edilmiş ərazilərdə yeni

infrastrukturun qurulması prosesində "Əşyalar İnterneti" (IoT) və Süni İntellekt kimi qabaqcıl texnologiyaların tətbiqi xüsusi aktuallıq kəsb edir, çünki bu ekosistemin dayanıqlılığı birbaşa rəqəmsal enerji menecmentindən asılıdır.

Bununla belə, mövcud ənənəvi elektrik şəbəkələrinin idarə edilməsində ciddi boşluqlar mövcuddur. Xüsusilə, abonentlərin enerji istehlakının qeyri-sabitliyi və pik saatlarda tələbatın dəqiq proqnozlaşdırılmaması şəbəkədə israfçılığa, maliyyə itkilərinə və avadanlıqların həddindən artıq yüklənməsinə səbəb olur (Smith & Doe, 2021). Bu səbəbdən, toplanan böyük həcmli məlumatları (Big Data) sürətlə emal edə bilən və enerji tələbatını əvvəlcədən dəqiq təxmin edən müasir idarəetmə sistemlərinə kəskin ehtiyac yaranmışdır.

Qarşıya qoyulan əsas məqsəd əhalinin enerji istehlakı vərdişlərini və iqlim dəyişənlərini analiz edərək, tələbatı yüksək dəqiqliklə proqnozlaşdıran maşın öyrənməsi modelinin işlənib hazırlanmasıdır. Bu məqsədə çatmaq üçün açıq mənbəli məlumat dəstləri üzərində müxtəlif alqoritmlər sınaqdan keçirilmiş və onların tətbiqi ilə enerji paylanmasının optimallaşdırılması konsepti yaradılmışdır.

Təqdim olunan tədqiqat işinin strukturu dörd əsas bölmədən ibarətdir. Məqalədə müvafiq olaraq giriş məlumatları, istifadə edilmiş tədqiqat metodları və riyazi modellər, aparılmış analizlər nəticəsində əldə edilmiş nailiyyətlər və istinad olunan elmi ədəbiyyat siyahısı öz əksini tapmışdır.

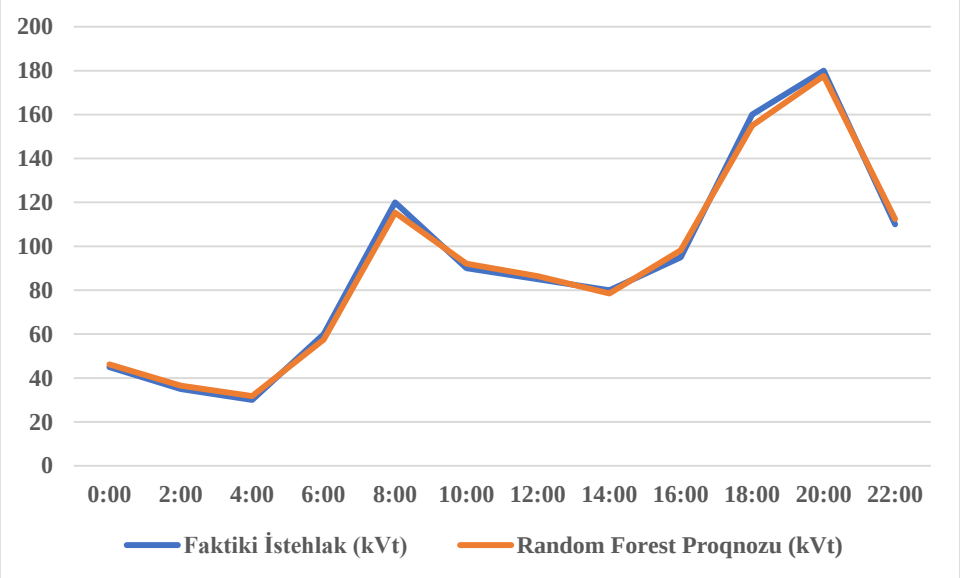
Tədqiqat metodu:

Qarşıya qoyulmuş enerji proqnozlaşdırılması məsələsini həll etmək üçün Python proqramlaşdırma mühitindən və "Scikit-learn" maşın öyrənməsi kitabxanasından istifadə edilmişdir. Tədqiqat materialı olaraq *UCI Machine Learning Repository* tərəfindən təqdim edilən fərdi ev təsərrüfatlarının elektrik enerjisi istehlakına dair rəsmi məlumat bazası seçilmişdir (Hebrail & Berard, 2012). Təcrübədən əvvəl məlumatlar anomaliyalardan təmizlənmiş və rəqəmsal göstəricilər standartlaşdırılmışdır.

Tədqiqat çərçivəsində baza modeli olaraq Xətti Reqressiya (Linear Regression), daha mürəkkəb asılılıqları tapmaq üçün isə ansambl metodu olan "Random Forest" alqoritmi tətbiq olunmuşdur. Saatlıq enerji istehlakının proqnozlaşdırılması aşağıdakı riyazi tənlik əsasında formalaşdırılmışdır:

$$\boldsymbol{E_{opt} = w_1 T + w_2 H + w_3 W + b} \quad \mathbf{(1)}$$

Burada E_{opt} – hədəflənən optimal enerji tələbatı, T – xarici hava temperaturu, H – günün saatı, W – həftənin gününü (iş və ya qeyri-iş günü) ifadə edir. Tənlikdəki w əmsalları hər bir dəyişənin modeldəki xüsusi çəkisini, b isə sürüşmə (bias) parametrini göstərir. Qurulmuş modelin öyrədilməsi üçün məlumat bazasının 80%-i, sınaqdan keçirilməsi və dəqiqliyin yoxlanılması üçün isə 20%-i istifadə edilmişdir (bax: Şəkil 1).



Şəkil 1. Ağıllı kənd şəbəkəsində gün ərzində faktiki və "Random Forest" modeli tərəfindən proqnozlaşdırılan enerji istehlakının müqayisəli xətti diaqramı (Məlumat mənbəyi: UCI Machine Learning Repository).

Nəticə:

Aparılan tədqiqatlar və sınaqlar nəticəsində əldə edilən göstəricilər qeyd edilən problemin həllində maşın öyrənməsi yanaşmasının səmərəliliyini təsdiq etmişdir. Təcrübə (bax: Şəkil 1) göstərdi ki, "Random

Forest" alqoritmi çoxölçülü dəyişənləri analiz edərkən ənənəvi statistik metodlara nisbətən daha yüksək proqnozlaşdırma dəqiqliyi nümayiş etdirir. Qrafikdən də aydın göründüyü kimi, model xüsusilə səhər (08:00) və axşam (18:00-20:00) pik saatlarında yaranan kəskin sıçrayışları minimum xəta ilə əvvəlcədən təxmin edə bilir.

Bu modelin "Ağıllı kənd" layihələrinin mərkəzi serverinə inteqrasiya edilməsi nəticəsində tələbatın az olduğu saatlarda ehtiyat enerjinin yığılması və pik saatlarda avtomatik paylanması təmin edilə bilər. Əldə edilmiş hesablamalara görə, bu cür intellektual tənzimləmə ümumi şəbəkədə enerji israfını və texniki itkiləri əhəmiyyətli dərəcədə (təqribən 10-15%) azaltma potensialına malikdir. Qeyd olunan işin nəticələri gələcəkdə yalnız elektrik təchizatı sahəsində deyil, eləcə də su və qaz infrastrukturunun idarə edilməsində uğurla istifadə oluna bilər.

Ədəbiyyat siyahısı:

1. Qasımov, A. (2023). İşğaldan azad edilmiş ərazilərdə ağıllı idarəetmə sistemləri və kənd təsərrüfatı. *Azərbaycan Mühəndislik Jurnalı*, 15(2), 45-56.
2. Smith, J., & Doe, A. (2021). Machine learning applications in smart grids and energy optimization. *Journal of Energy Management*, 12(3), 110-125.
3. Məmmədov, E., & Əliyev, R. (2022). Süni intellekt əsaslı proqnozlaşdırma modelləri. *Elmi İnnovasiyalar Dərgisi*, 8(1), 22-31.
4. Liu, Z. (2008). Foreign direct investment and technology spillovers: Theory and evidence. *Journal of Development Economics*, 85(1–2), 176–193.
5. Hebrail, G., & Berard, A. (2012). Individual household electric power consumption Data Set. *UCI Machine Learning Repository*.



MEMARLIQ VƏ İNŞAAT

TARİX VƏ SOSİOLOGİYA BÖLMƏSİ

AZƏRBAYCAN XALQ CÜMHURİYYƏTİ MİLLİ ŞURASINDA BÖLGƏLƏR MƏSƏLƏSİ VƏ PARLAMENTİN YARADILMASI - TARİXİ MÜQAYİSƏLİ TƏHLİL (1918-1920)

NURLANƏ MƏLİKLİ
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat fakültəsi / Ümumi fənlər kafedrası
nmalikli@beu.edu.az
BAKI, AZƏRBAYCAN

Xülasə: Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin tarixi bu gün də öz aktuallığını saxlayan elmi problemlər kompleksinin mövcudluğuna görə Azərbaycan tarixşunalığında xüsusi diqqət obyekti olaraq qalır. Bu problemlər arasında dövlət orqanlarının formalaşmasının, parlamentin, siyasi partiyaların və ictimai təşkilatların fəaliyyətinin araşdırılması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu problemlərin tədqiqi ilk milli dövlətin idarəetmə sisteminin öyrənilməsi baxımdan mühüm əhəmiyyətə malikdir. Belə ki, Cümhuriyyət dövründə Azərbaycanın qəzaları (bölgələri) dövlət quruculuğu prosesinə, hakimiyyət strukturlarının formalaşdırılmasına yaxından iştiraka cəlb olunmuşlar. Azərbaycan Parlamentinin yaradılması haqqında qanuna görə ali qanunvericilik orqan təmsilçilik prinsipinə əsasən formalaşdırılmışdı ki, bu da həm siyasi təmsilçiliyi, həm də regional-ərazi təmsilçiliyini nəzərdə tuturdu. Tədqiqat işində Milli şuranın yaradılması tarixi və fəaliyyəti regional təmsilçilik kontektində geniş tədqiq olunur və AXC Parlamentinin fəaliyyətində bölgələr məsələsinin tarixi-müqayisəli təhlili verilmişdir.
Açar sözlər: Azərbaycan Xalq Cümhuriyyəti, Milli Şura, Parlament, bölgə, region

THE ISSUE OF REGIONS IN THE NATIONAL COUNCIL OF THE AZERBAIJAN DEMOCRATIC REPUBLIC AND THE CREATION OF PARLIAMENT - A HISTORICAL COMPARATIVE ANALYSIS (1918-1920)

NURLANA MALİKLİ
Baku Engineering University
Faculty of Architecture and Construction / Department of General subjects
nmalikli@beu.edu.az
BAKU, AZERBAIJAN

Abstract: The history of the Azerbaijan Democratic Republic remains an object of special attention in Azerbaijani historiography due to the existence of a complex of scientific problems that have not lost their relevance today. Among these problems, the study of the formation of state bodies, the activities of parliament, political parties and public organizations is of particular importance. The study of these problems is of great importance in terms of studying the governance system of the first national state. Thus, during the ADR, the provinces (regions) of Azerbaijan were also closely involved in the process of state building and the formation of government structures. According to the law on the establishment of the Azerbaijani Parliament, the supreme legislative body was formed on the principle of representation, which implied both political representation and regional-territorial representation. In the research study, the history and activities of the establishment of the National Council are extensively studied in the context of regional representation, and a historical-comparative analysis of the issue of regions in the activities of the Parliament of Azerbaijan Democratic Republic is given.
Keywords: **Azerbaijan Democratic Republic, National Council, Parliament, region**

GİRİŞ

1918-1920-ci illərdə mövcud olmuş Azərbaycan Xalq Cümhuriyyəti Azərbaycan siyasi tarixinin ən mühüm mərhələlərindən birini təşkil edir. Məhz bu dövrdə Azərbaycanda ilk milli dövlət yaranmış, demokratik dövlətə xas olan bütün təsisatlar qurulmuşdur. Müsəlman şərqində ilk demokratik respublika olan AXC-nin siyasi sistemində Milli Şura və Parlament mühüm yer tutmuşdur. AXC-nin yaranması ilə Azərbaycanda çoxpartiyalı sistemə və siyasi plüralizmə əsaslanan parlamentarizm institutunun əsası qoyulmuşdu (Gadimaliyev, 2023). Bu baxımdan AXC-nin siyasi sisteminin mühüm tərkibi hissəsini təşkil edən, dövlət quruculuğunun ilkin mərhələsini idarə edən Milli Şuranın və müvəqqəti ali qanunverici orqan funksiyasının yerinə yetirən Parlamentin (Məclisi-Məbusanın) fəaliyyətinin müxtəlif problemlərinin öyrənilməsi mühüm aktuallıq kəsb edir.

TƏDQİQAT METODU

Tədqiqat işində müqayisəli tarixi analiz metodu tətbiq edilmiş, hadisələrə konkret tarixi zaman kontekstində yanaşılmışdır. Müxtəlif mənbələrin məlumatların səhihliyini müəyyən etmək üçün faktların müqayisəli təhlili aparılmışdır. Bütün bunlar tədqiqat problemini obyektiv araşdırmağa imkan yaratmışdır.

1. AXC MİLLİ ŞURASININ YARADILMASI TARİXİ - REGİONLAR PROBLEMİ KONTEKSTİNDƏ

Cənubi Qafqaz Seyminin buraxılmasından sonra 1918-ci il mayın 27-də Seymin Müsəlman (Azərbaycan) fraksiyasının birgə toplantısı yaranmış şəraiti nəzərə alaraq Azərbaycanın idarə olunması kimi məsul vəzifəni öz üzərinə götürəcək orqanın - Müvəqqəti Milli Şuranın yaradılmasını elan etdi (Azərbaycan Xalq Cümhuriyyəti Ensiklopediyası, 2004). Göründüyü kimi, yeni yaradılmış orqan müvəqqəti xarakter daşıyırdı və qısa müddət ərzində ümumxalq seçkilər əsasında ali orqanın seçilməsi nəzərdə tutulurdu.

Milli Şuranın 26 üzvünün iştirakı ilə mayın 28-də keçirilmiş ikinci iclasında Seymin buraxılması və Gürcüstanın öz müstəqilliyini elan etməsindən sonra Azərbaycanın vəziyyəti müzakirə olundu. Məsələ ilə bağlı məruzə ilə çıxış edən Gəncədən deputat X.Xasməmmədov Azərbaycanın müstəqil respublika elan edilməsinin zəruriliyini və təxirəsalınmazlığını göstərdi, Seymdə Gəncə quberniyasını təmsil edən digər nümayəndələr - N.b.Nəsibbəyli, Ə.A.Şeyxülislamov, İrəvan quberniyasını təmsil edən M.H.S.Seyidov və başqaları da bu təklifi müdafiə etdilər. Geniş və qızğın müzakirələrdən sonra Şuranın 26 üzvündən 24-ü Azərbaycanın dərhal müstəqil, demokratik respublika elan edilməsinə səs verdi və İstiqlal bəyannaməsi adlı mühüm tarixi sənəd qəbul olundu. 6 bənddən ibarət olan bu müstəqillik aktı bütün türk-müsəlman dünyasında ilk dəfə olaraq Azərbaycanda ən demokratik respublika idarə üsulunun - parlamentli respublikanın yaradıldığından xəbər verirdi (Əsədov, 2008; Əmrahov, 2018). İstiqlal Bəyannaməsinin qəbulu Azərbaycan milli dövlətçiliyin əsasını qoymaqla Azərbaycan xalqının taleyində misilsiz tarixi hadisə idi. Azərbaycan xalqının öz müqəddəratını təyin etmək, millətindən, dinindən, sinfindən və cinsindən asılı olmayaraq insanların, o cümlədən, Azərbaycanda yaşayan bütün vətəndaşların hüquq bərabərliyinə hörmət, bütün xarici dövlətlərlə, eləcə də qonşu xalqlarla dinclik və əmin-amanlıq şəraitində yaşamaq, bir-birinin suverenliyinə və ərazi bütövlüyünə hörmətlə yanaşmaq prinsiplərini özündə ehtiva etməklə İstiqlal Bəyannaməsi Azərbaycanın istiqlal mübarizəsi tarixində ən dəyərli və parlaq sənəd sayıla bilər. (Rüstəmova, 2019)

Azərbaycanın müstəqilliyinin elan edilməsi haqqında 6 bənddən ibarət Bəyannamənin VI maddəsi diqqəti cəlb edir. Həmin maddədə Müəssislər Məclisi çağırılana qədər Azərbaycanın idarəsinin başında ümumxalq seçkiləri əsasında yaradılmış Milli Şuranın durduğu elan edilirdi (Qasımlı, 2018). Bununla da Milli Şura özünün müvəqqəti orqan olduğunu və öz səlahiyyətlərini gələcəkdə ümumxalq seçkiləri ilə yaradılmış ali hakimiyyət orqanına – Müəssislər Məclisinə verəcəyini, yeni yaradılmış dövlətin hüquqi zəmində təşkil ediləcəyini bildirirdi. Eyni fikir Milli Şuranın öz səlahiyyətlərinin Müvəqqəti Hökumətə verilməsi haqqında 17 iyun 1918-ci il tarixli qərarında da öz əksini tapmışdı (Əmrahov, 2018).

Azərbaycanın bölgələrinin gələcək taleyi baxımından Milli Şuranın qəbul etdiyi bir neçə qərar diqqəti cəlb edir. Bu Milli Şuranın İrəvanın Ermənistan Respublikasına siyasi mərkəz kimi güzəştə gedilməsi haqqında 29 may 1918-ci il tarixli qərarı və 1 iyun tarixli iclasda Zaqatala dairəsi ilə bağlı məsələ idi.

Milli Şuranın Tiflis dövründə keçirilən iclasların əksəriyyətində müzakirələr əsasən İrəvan quberniyası, qəzası və şəhəri ətrafında aparılmış, Milli Şuranın qəbul etdiyi ən ağır qərar isə İrəvanın Ermənistana güzəştə getməsi ilə bağlı olmuşdur. Milli Şuranın 29 may tarixli iclasında "İrəvanın Ermənistana güzəştə getməsinin qaçılmaz olduğunu" bildirən, bunu "tarixi zərurət, bizim üçün isə qaçılmaz acı bir həqiqət" kimi qiymətləndirən və bu qərara səs verən 16 nəfər Şura üzvlərinin işlətdiyi "qaçılmaz" sözünün arxasında həmin qərarın qəbul edildiyi dövr regionda yaranmış son dərəcə mürəkkəb vəziyyət dururdu. Azərbaycan Milli Şurasının həmin tarixli qərarı ilə dövlət yaratmaq üçün ermənilərə cəmi 9 min km2 - İrəvan şəhəri və onun ətrafındakı ərazini əhatə edən torpaqlar verilmişdir (Rüstəmova, 2019).

Milli Şuranın İrəvanın Ararat Respublikasına güzəşt edilməsi haqqında qərar Milli Şuranın 44 üzvündən cəmi 20 üzvünün iştirakı (onlardan 1 nəfər əleyhinə səs vermiş, 3 nəfər səsvermədə iştirak etməmişdi) ilə qəbul edildiyindən əslində hüquqi baxımdan legitim sayıla bilməzdi. Azərbaycanın gələcək taleyi baxımından ciddi narahatlıqlar yaratdığından məsələyə Şuranın növbəti, 1 iyun tarixli iclasında, bu dəfə artıq 28 deputatın iştirakı ilə yenidən baxılmış, İrəvan quberniyasından olan deputatlar M.H.Seyidov, B.Rzayev və Şuşa qəzasından olan N.Nərimanbəyov bu qərarla bağlı etiraz bildirsələr də, onların etirazı qəbul olunmamışdı. Buna baxmayaraq Şura üzvləri İrəvanın Erməni Federasiyasına güzəşt edilməsi ilə bağlı olaraq İrəvana nümayəndəliyin göndərilməsi və oradakı qaçqınlara yardım göstərilməsi haqqında məsələ qaldırmışlar (Zaqafqaziya Seyminin Müsəlman Fraksiyası və Azərbaycan Milli Şurası iclaslarının protokolları, 2006).

Milli Şuranın 1 iyun tarixli iclasında Zaqataladan olan deputat A.Qardaşovun Zaqatala dairəsinin statusu ilə bağlı etirazı müzakirə edilmiş və qərara alınmışdı ki, yerli əhalinin bu barədə mövqeyinin öyrənilməsinə

qədər məsələ açıq saxlanılsın (Zaqafqaziya Seyminin Müsəlman Fraksiyası və Azərbaycan Milli Şurası iclaslarının protokolları, 2006). İyunun 16-da Zaqatala dairəsinin 6 nahiyəsini (Balakən, Qax, Əliabad, Almalı, Car, Muxax) təmsil edən nümayəndələrin qurultayında dairənin inzibati və dini idarəçiliyi ilə bağlı məsələ müzakirə edilmiş, hər nahiyəni təmsil edən, 6 üzvdən ibarət şəriət məhkəməsi yenidən təşkil edilmiş və bununla bağlı Azərbaycan Hökumətinə məlumat verilmişdi (ARDA, v.72). Zaqatala Müsəlman Milli Şurası iyunun 26-da Gürcüstanın Zaqatalaya iddiasını rədd etmiş, bölgənin Dağıstanla hər hansı bağlılığını istisna etmiş, Zaqatala dairəsinin Azərbaycanın tərkibi hissəsi olduğu haqqında qərar qəbul etmişdi (ARDA, v.28-29). Azərbaycan Hökumətinin qərarı ilə Zaqatala dairəsində vəziyyətin araşdırılması üçün dairəyə komissiya göndərilməsi zəruri hesab olunmuşdu (ARDA, v.34). Komissiyanın Zaqatala dairəsi ilə bağlı təklifləri nəzərə alınaraq Hökumət səviyyəsində bir neçə qərar qəbul edilmiş, o cümlədən Zaqatala dairəsinin statusu böyüdülərək quberniyaya çevrilmişdi. Zaqatala dairəsi ilə bağlı məsələlərin nizamlanmasında sonradan bu bölgədən Azərbaycan Parlamentinə üzv seçilmiş Aslan Qardaşov, Bayram Niyazi Kiçikxanov və İslam Qəbulov böyük rol oynamışlar.

1918-ci il iyun ayının əvvəllərində Azərbaycan Milli Şurası və Hökuməti Gəncəyə köçdükdən sonra Cümhuriyyət rəhbərliyi ilə Qafqaz İslam Ordusu arasında yaranmış bir sıra ziddiyyətlər Milli Şuranın özünü buraxması və onun bütün səlahiyyətlərinin F.X.Xoyskinin başçılığı ilə yaradılmış II Müvəqqəti Hökumətə verilməsi ilə nəticələndi. Bununla bağlı Milli Şuranın 17 iyun 1918-ci il tarixli qərarında xüsusi olaraq vurğulanırdı ki, əsas istiqlal və siyasi hürriyyətlər xüsusunda müvəqqəti hökumət heç kimə güzəştə getməməli və altı aydan gec olmayaraq Müəssislər Məclisini çağırmalı idi (Zaqafqaziya Seyminin Müsəlman Fraksiyası və Azərbaycan Milli Şurası iclaslarının protokolları, 2006).

Göründüyü kimi, Cümhuriyyət liderləri hakimiyyətin yalnız xalqın etimadı və iradəsi hesabına formalaşdırılmasında qərarlı idi və bütün hakimiyyətin, o cümlədən qanunverici hakimiyyətin səlahiyyətlərinin icra hakimiyyətinin – Nazirlər Şurasının əlində cəmləşməsinə müvəqqəti hal kimi baxırdılar. Milli Şuranın buraxılması və bütün səlahiyyətlərin Müvəqqəti hökumətə verilməsi həmin mürəkkəb vəziyyətdə qəbul edilmiş yeganə düzgün qərar idi. Hadisələrin sonrakı inkişafı Azərbaycan rəhbərliyinin düzgün yol seçdiyini təsdiq etdi. Bu qərar həm Azərbaycan dövlətçiliyini xilas etdi, həm də istiqlalımızın qorunmasında Azərbaycana əsas yardım göstərmiş Türkiyə ilə münasibətlərin pozulmasına imkan verilmədi.

Öz fəaliyyətini bərpa etmiş (16.XI.1918) Milli Şuranın sədri M.Ə.Rəsulzadənin də etiraf etdiyi kimi, Milli Şura da tamam xalq tərəfindən seçilmiş bir şura olmasa da, tarix boyu belə hadisələrə çox təsadüf edilmiş, Milli Şura kimi təsisatlar mövcud olmuşdur. Əvvəlcədən də qərara alındığı kimi mövcud Milli Şuranın parlament funksiyalarına sahib olması üçün onun tərkibinin genişləndirilməsini zəruri bilinmişdi. İclasda çıxış edən Baş Nazir F.X.Xoyski 6 ay ərzində Müəssislər Məclisinin çağırılmaması səbəblərinə bir daha aydınlıq gətirmiş, Milli Şura tərəfindən Hökumətə verilmiş səlahiyyətlərin yenidən ona qaytarıldığını bildirmişdi (Zaqafqaziya Seyminin Müsəlman Fraksiyası və Azərbaycan Milli Şurası iclaslarının protokolları, 2006).

Milli Şuranın həmin gün keçirilmiş ikinci iclasında M.Ə.Rəsulzadə "Müvəqqəti Azərbaycan Parlamanının (Məclisi-Məbusanının) təşkili haqqında" qanun layihəsini Şura üzvlərinin müzakirəsinə təqdim etdi. Layihənin müqəddiməsində Azərbaycanın müstəqillik yoluna qısaca nəzər salınır, Parlamentin yaradılmasını vacib edən amillər diqqətə çatdırılırdı. Layihədə xüsusi olaraq qeyd olunurdu ki, Parlamentdə müxtəlif siyasi cərəyanların nümayəndələri ilə yanaşı vilayətlərdən göndərilən nümayəndələrin iştirakına da böyük bir lüzum vardır. Azərbaycanın ərazisinin Bakı və Gəncə quberniyaları, Zaqatala nahiyəsi, İrəvan ilə Tiflis quberniyalarının bir hissəsindən ibarət olduğu, bu ərazilərdə 2.750.000 nəfərin yaşadığı, bunlardan 1.9000.000 nəfərinin müsəlman, 500.000-nin erməni, 230.000-nin rus və başqa millətlər olduğu nəzərə alınaraq, hər 24000 nəfərə 1 məbus düşdüyü, buna uyğun olaraq müsəlmanların 80, ermənilərin 21, rusların 10, almanların 1, yəhudilərin 1 məbus çıxarıldığı aydın olurdu. Digər kiçik millətlər isə say etibari ilə az olduqlarınıdan onlar təmsilçilik hüququ əldə etmək imkanını itirirdilər. Lakin gürcülər və polyaklar nisbətən çox olduqlarından onlara istisna olaraq Parlamentdə 1 təmsilçilik hüququ tanınmışdı. Layihəyə görə azlıqda olan millətlər Parlamentə öz nümayəndələrini seçməli olduqları halda, müsəlmanlar mövcud 44 məbusla yanaşı kooptasiya yolu ilə əlavə 36 nümayəndə də Parlamentə göndərilməsi nəzərdə tutulmuşdur Müvafiq layihə Milli Şura tərəfindən təsdiq edildikdən sonra 20 noyabr 1918-ci il ildə qanun şəklində qəbul olundu (Əsədov, 2008; Qasımlı, 2018).

Beləliklə, qarşısında dayanan ən böyük vəzifə Azərbaycanın istiqlaliyyətinin, suverenliyinin və ərazi bütövlüyünün qorunması olan, ölkənin ali siyasi orqanı olaraq Milli Şura qarşısında qoyulmuş missiya

həyata keçirilmiş və Azərbaycan dövlətçiliyi həyatında, dövlətin ərazi bütövlüyünün və siyasi legitimliyinin təmin olunmasında mühüm tarixi rol oynamışdır.

2. AZƏRBAYCAN CÜMHURİYYƏTİ PARLAMENTİNDƏ BÖLGƏLƏR MƏSƏLƏSİNİN TARİXİ-MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

1918-ci il dekabrın 7-də açılan Məclisi-Məbusan adlanan Parlament Azərbaycanın bütün bölgələrinin əhalisinin sayına görə bərabər təmsil olunduğu ali nümayəndəlik orqanı oldu. Parlament Azərbaycan xalqının milli kimliyinin və milli dövlətçiliyinin inkişafında mühüm rol oynamaqla yanaşı ölkədə, o cümlədən bölgələrdə siyasi, iqtisadi, inzibati dəyişikliklərin həyata keçirilməsində həlledici amilə, bölgə əhalisinin sosial-mədəni ehtiyaclarının geniş müzakirələrə çıxarıldığı əsas orqana çevrildi. Parlamentin 17 aylıq qanunvericilik fəaliyyətinin təhlili göstərir ki, bu müddət ərzində onun qəbul etdiyi qanunlar arasında Azərbaycanın müxtəlif bölgələrinin sosial-iqtisadi, siyasi-inzibati, mədəni-maarif məsələləri ilə bağlı qanunlar mühüm yer tuturdu. AXC Parlamentinin yaradılması həmin dövrdə həm ölkə daxilində, həm də regionda cərəyan etmiş hadisə və proseslərin məntiqi nəticəsi idi. Parlament yaranana qədər Azərbaycanlı deputatlar müxtəlif seçkili orqanlarda iştirak etməklə Azərbaycan bölgələrinin maraqlarını təmsil etmək təcrübəsi qazanmışlar. Azərbaycanda parlamentarizm institutunun yaranması bir çox ümumdemokratik prinsiplərlə yanaşı, bölgələrin qanunvericilik orqanında bərabər təmsilçilik prinsipinə də əsaslanırdı. 1918-ci ilin payızında bölgələrdə Parlament üzvlərinin seçilməsi bölgələrin dövlət quruculuğu prosesinə fəal cəlb edildiyinin göstəricisi idi. Azərbaycan Parlamenti təkcə ümumdövlət problemlərinin deyil, həmçinin regionların problemlərinin müzakirə olunduğu və qərarların qəbul edildiyi mühüm hakimiyyət orqanı idi. Bölgələrdən seçilmiş deputatlar Azərbaycanın ərazi bütövlüyünün təmin edilməsi, Ermənistanın bölgələrimizə təcavüzünün qarşısının alınması sahəsində öz səlahiyyətləri daxilində fəal iştirak etmişlər. Azərbaycan Parlamentinin fəaliyyəti, o cümlədən bölgə təmsilçilərinin qanunverici məclisin işində fəal iştirakı Cümhuriyyət dövründə parlamentarizm ənənələrinin geniş yer tutduğunun, Cümhuriyyətin çoxpartiyalılıq, siyasi, milli və regional təmsilçilik prinsiplərinə əsaslanan demokratik dəyərlərin daşıyıcısı olan bir dövlət olduğunun bariz nümunəsi idi.

NƏTİCƏ

1918-ci ilin 27 mayında yaradılmış və bir gün sonra Azərbaycanın müstəqilliyini elan etmiş Azərbaycan Milli Şurası hüquqi cəhətdən Azərbaycanın ilk Parlamenti kimi tarixdə yer tutmuşdur. Azərbaycan Milli Şurası adı ilə fəaliyyət göstərən və 44 nəfər müsəlman-türk deputatdan ibarət olan ilk Azərbaycan Parlamenti çox mühüm tarixi qərarlar qəbul etmişdir. Cümhuriyyətin yaradılması Azərbaycan bölgələrində də canlanma yaratmış, əhalisinin siyasi fəallığının artmasına gətirib çıxarmışdı. Cümhuriyyət dövründə Parlamentin və onun bölgələri təmsil etmiş üzvlərinin fəaliyyəti, bölgələrin vəziyyəti və inkişafı ilə bağlı qəbul edilmiş qanun və qərarlar Azərbaycanın müstəqil dövlətçiliyinin əsaslarının möhkəmləndirilməsi və gələcək inkişaf yolunun müəyyənləşdirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyətə malik olmuşdur. Beləliklə, Azərbaycan Milli Şurası bölgələr məsələsinin həllində və hüquqi dövlət quruculuğunun ilkin mərhələsində siyasi birlik vəzifəsini yerinə yetirdiyi halda Azərbaycan Cümhuriyyəti Parlamenti instiitusional və ali qanunvericilik funksiyasını yerinə yetirmişdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin Ensiklopediyası: 2 cilddə, I cild / Y. Mahmudov [və b.]. - Bakı: Lider, - 2004. - 439 s.
2. Əmrahov, Z. Azərbaycan parlamentarizmi tarixi -100. Bakı: Elm və təhsil, 2018, 268 s.
3. Əsədov O., Cəbrayılov R. Azərbaycan Respublikasının Parlamenti. Bakı, 2008, 519 s.
4. Qasımlı, M. Azərbaycan parlamentarizmi tarixi: 2 cilddə. I cild / M. Qasımlı, B.Muradova, V.Qafarov. – Bakı: Mütərcim, - 2018. – 688 s.
5. Rüstəmova-Tohidi, S. Azərbaycan Parlamenti necə yarandı // Müstəqilliyin çətin yolu. Məqalələr toplusu. Bakı: ADU-nun nəşr. - 2019, - s. 269-300
6. Zaqafqaziya Seyminin Müsəlman Fraksiyası və Azərbaycan Milli Şurası iclaslarının protokolları. 1918-ci il / - Bakı: Adiloğlu, - 2006. - 216 s.
7. Gadimaliyev, A. R. (2023). "Evolution of parliamentarism in Azerbaijan: from the 20th century to the present". Amazonia Investiga, 12(72), pp. 205-215.
8. В канцелярию Министра Внутренних Дел. Копия рапорта Закатальского губернатора от 10 августа 1919 года Закаталы (Закаталы:10 августа 1919 года) // ARDA, f.100, s.2, iş.233, vərəq - 1.
9. Постановление об образовании комиссии по изучению положения в Закатальском округе (Баку: 30 июля 1918 г.) // ARDA, f.100, s.2, iş 7, vərəq- 1.
10. Протокол заседания Закатальского Мусульманского Национального Совета. Приговор о присоединении округа к Азербайджанской Республике. (Закаталы: 26 июня 1918 г.) // ARDA, f.970, s.1, iş18, vərəq - 2.

HISTORICAL FOUNDATIONS OF THE GEOPOLITICAL SPACE FORMATION IN THE BLACK SEA REGION

EREKLE IANTBELIDZE
Caucasus International University
Ph.D candidate in Political Sciences, Faculty of Social Sciences and Humanities
erekle.iantbelidze@ciu.edu.ge
TBILISI, GEORGIA

GIORGI PARESHISHVILI
Caucasus International University
Ph.D in Political Sciences, Associate Professor, Advisor to the Rector, Faculty of Social Sciences and Humanities
giorgi.pareshishvili@ciu.edu.ge
TBİLİSİ, GEORGİA

Abstract: The Black Sea region has historically constituted a contested geopolitical space shaped by successive imperial rivalries, strategic competition, and shifting alliance patterns. This article examines the historical foundations underlying the contemporary geopolitical configuration of the Black Sea region, with particular attention to Byzantine, Ottoman, and Russian imperial legacies, post-Cold War transformation, and current security dynamics. Drawing on geopolitical theory and historical analysis, the article argues that understanding contemporary regional competition requires systematic examination of long-term historical processes. The study contributes to scholarship on Black Sea geopolitics by integrating historical depth with contemporary analytical frameworks.
Keywords: Black Sea region, geopolitics, historical foundations, imperial legacies, regional security, South Caucasus.

INTRODUCTION

The Black Sea region occupies a uniquely significant position in the history of civilizations, geopolitical thought, and contemporary international relations. Situated at the crossroads of Europe, Asia Minor, and the Eurasian steppe, the region has served as a zone of cultural exchange, imperial competition, and strategic rivalry across millennia. Understanding the geopolitical configuration of the contemporary Black Sea space requires an examination of deep historical foundations that continue to shape the strategic behavior of states and the interests of external powers in the region.

This article aims to systematically analyze the historical foundations of the geopolitical space formation in the Black Sea region from antiquity to the post-Cold War era. The study pursues three main objectives: first, to identify the principal historical phases and actors that shaped the region's geopolitical character; second, to analyze the role of imperial legacies — Byzantine, Ottoman, and Russian — in establishing enduring structural patterns; and third, to assess how these historical foundations inform contemporary regional security dynamics and great power competition. The research employs a historical-analytical methodology, integrating classical geopolitical theory with historical institutionalism to trace the continuities and ruptures in the region's strategic landscape. The article is structured as follows: following this introduction, the second section examines early and medieval geopolitical formations; the third section addresses modern imperial rivalries; and the fourth section discusses post-Cold War transformation and present-day dynamics, before concluding with summary observations.

1. HISTORICAL GEOPOLITICS OF THE BLACK SEA: FROM ANTIQUITY TO THE EARLY MODERN PERIOD

The geopolitical significance of the Black Sea was recognized in the earliest phases of recorded history. Greek colonization from the 8th century BCE established a network of coastal city-states — Trapezus, Sinope, Chersonesus, Olbia — that transformed the "Pontos Euxeinos" (Hospitable Sea) into an integrated commercial and cultural space. This Greek colonial arc introduced the conceptual framework of the sea as a connective medium linking disparate civilizations rather than a barrier separating them, a framework that subsequent powers would consistently seek to operationalize (Braund, 1994). The Persian, Scythian, and later Sarmatian presences along the northern and eastern shores further underscored the region's role as a meeting point of nomadic steppe civilizations and settled agricultural societies.

The Roman and subsequently Byzantine periods represented a qualitative shift in the geopolitical organization of the Black Sea space. Under Roman control, the sea became an "inner lake" of the empire, its access and maritime routes centrally administered from Constantinople. The Byzantine Empire, inheriting this strategic logic, developed the most sophisticated pre-modern geopolitical framework for the Black Sea, integrating naval power, diplomatic networks, and commercial privileges into a coherent regional governance system (Ahrweiler, 1966). The city of Constantinople itself became the geopolitical

axis around which Black Sea politics revolved — a role that would be replicated, in transformed form, by Istanbul under Ottoman rule. The Byzantine legacy established enduring patterns: the primacy of strait control, the instrumentalization of Christian ecclesiastical networks, and the use of peripheral buffer states as strategic absorbers.

2. IMPERIAL RIVALRIES AND THE FORMATION OF MODERN BLACK SEA GEOPOLITICS (18TH–20TH CENTURIES)

The Ottoman conquest of Constantinople in 1453 and the subsequent incorporation of the Black Sea littoral into the Ottoman imperial system marked the beginning of a new geopolitical era. Under Ottoman hegemony, the Black Sea became effectively a closed Ottoman lake (Kara Deniz) for over three centuries. The Treaty of Küçük Kaynarca (1774) shattered this monopoly, compelling the Ottomans to concede Russian navigational rights and establishing Russia as a Black Sea power of the first order (Anderson, 1966). This treaty inaugurated what scholars have termed the "Eastern Question," the prolonged structural crisis of Ottoman decline combined with great power competition over the disposition of Ottoman territories and the control of strategic waterways.

Russian imperial expansion toward the Black Sea coast, culminating in the annexation of Crimea in 1783 and the Treaty of Jassy (1792), fundamentally reconfigured the strategic geometry of the region. The construction of Sevastopol as the headquarters of the Russian Black Sea Fleet institutionalized Russian naval power and established a strategic logic — control of Crimea as the key to Black Sea dominance — that has persisted as a structuring principle of regional geopolitics into the 21st century (King, 2004). The 19th century witnessed intensifying multilateral competition involving Britain, France, Austria-Hungary, and later Germany, each seeking to prevent Russian dominance and preserve access to Ottoman commercial and strategic assets. The Crimean War (1853–1856) and the subsequent Congress of Paris represented the most direct attempt by Western powers to constrain Russian Black Sea ambitions, temporarily neutralizing Russian naval presence through treaty provisions.

The Montreux Convention of 1936 established the modern legal-geopolitical framework governing Black Sea access, granting Turkey exclusive control over the Bosphorus and Dardanelles straits. This regime institutionalized a key historical pattern — the centrality of strait control — while simultaneously creating a formal mechanism for managing great power competition. The Convention's provisions, by limiting the tonnage and duration of non-Black Sea warship deployments, preserved a degree of Russian strategic depth while constraining the projection of extra-regional naval power (Stein, 1994). The Soviet period consolidated Russian-Soviet dominance of the northern and eastern shores, while Turkey retained its distinctive role as the region's southern anchor, a role that gained additional significance through NATO membership from 1952 onwards.

3. POST-COLD WAR TRANSFORMATION AND CONTEMPORARY DYNAMICS

The dissolution of the Soviet Union in 1991 produced a dramatic transformation of the Black Sea geopolitical space. Three new independent states — Ukraine, Georgia, and Moldova — emerged along the western and eastern shores, creating for the first time a genuinely multipolar regional configuration in which medium-sized states could pursue independent foreign policy orientations. The emergence of these new actors coincided with NATO's eastern enlargement process and the European Union's neighborhood policy, introducing a new structural dynamic into Black Sea geopolitics: the contest between Euro-Atlantic institutional integration and Russian sphere-of-influence maintenance (Asmus, 2010). This dynamic, rooted in the post-1991 structural transformation, directly expresses the historical tension between Russian strategic depth requirements and Western connectivity ambitions that has characterized the region since the 18th century.

Georgia's position within this transformed regional space illustrates the enduring relevance of historical geopolitical patterns. Located at the eastern extremity of the Black Sea, at the intersection of the Caucasian mountain barrier and Transcaucasian lowlands, Georgia has historically functioned as a bridge-state — connecting the sea's commercial networks with interior Eurasian space — and as a contested buffer between competing imperial systems. The Russian-Georgian War of 2008 and the subsequent recognition of South Ossetia and Abkhazia as independent entities by Russia directly replicated the historical pattern of using peripheral dependencies as strategic buffers, demonstrating the continued operational relevance of geopolitical patterns established in the 18th and 19th centuries (Coppieters & Legvold, 2005). Similarly, the 2014 annexation of Crimea and the 2022 full-scale invasion of Ukraine represent the most recent, and most violent, iteration of the fundamental historical contest over Black Sea regional hegemony.

CONCLUSION

The historical analysis presented in this article demonstrates that the contemporary geopolitical configuration of the Black Sea region is not merely a product of post-Cold War contingencies but reflects deep structural patterns established over more than two millennia of imperial competition, strategic rivalry, and civilizational interaction. Three principal historical foundations emerge from this analysis. First, the primacy of strait and access control — established in the Byzantine period, codified in the Montreux Convention, and challenged in the contemporary period — remains a fundamental organizing principle of regional geopolitics. Second, the use of peripheral buffer states and proxy dependencies represents a consistent strategic instrument deployed by successive hegemonic powers, from Byzantine client kingdoms to contemporary frozen conflicts. Third, the structural opposition between a land-based hegemon seeking maritime access and maritime or naval powers seeking to contain that expansion has characterized the region's geopolitics since at least the 18th century.

These historical foundations carry significant implications for contemporary policy and scholarship. The persistence of structural geopolitical patterns suggests that regional security architecture must address deep historical grievances and strategic interests rather than treating current conflicts as anomalous departures from a normative baseline. For small and medium states in the region, including Georgia, the historical record counsels a sophisticated engagement with great power competition that leverages multilateral institutional frameworks while maintaining strategic autonomy. Future research should expand the comparative dimension of this analysis, examining how Black Sea historical geopolitical patterns compare with analogous formations in the Baltic and Mediterranean regions, and how digital and economic interdependencies are modifying — or reinforcing — structurally inherited geopolitical logics.

REFERENCES

1. Ahrweiler, H. (1966). *Byzance et la mer: La marine de guerre, la politique et les institutions maritimes de Byzance aux VIIe–XVe siècles.* Presses Universitaires de France.
2. Anderson, M. S. (1966). *The Eastern Question, 1774–1923: A Study in International Relations.* Macmillan.
3. Asmus, R. D. (2010). *A Little War That Shook the World: Georgia, Russia, and the Future of the West.* Palgrave Macmillan.
4. Braund, D. (1994). *Georgia in Antiquity: A History of Colchis and Transcaucasian Iberia, 550 BC–AD 562.* Clarendon Press.
5. Coppieters, B., & Legvold, R. (Eds.). (2005). *Statehood and Security: Georgia after the Rose Revolution.* MIT Press.
6. King, C. (2004). *The Black Sea: A History.* Oxford University Press.
7. Stein, J. G. (1994). Political learning by doing: Gorbachev as uncommitted thinker and motivated learner. *International Organization, 48*(2), 155–183.
8. Trenin, D. (2011). *Post-Imperium: A Eurasian Story.* Carnegie Endowment for International Peace.

MÜNAQIŞƏLƏRIN TƏNZIMLƏNMƏSINDƏ BEYNƏLXALQ TƏŞKILATLARIN ROLU

MƏDINƏ MUSAYEVA
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi, Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
madinamoussayeva@gmail.com
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN

Xülasə: Beynəlxalq münasibətlər sistemində münaqişələr qaçılmaz xarakter daşıyır və onların tənzimlənməsində beynəlxalq təşkilatlar mühüm rol oynayır.. Qloballaşma şəraitində lokal səviyyədə baş verən qarşıdurmalar qısa müddətdə regional və beynəlxalq təhlükəsizlik üçün ciddi təhdidlərə çevrilir. Bu baxımdan beynəlxalq təşkilatlar münaqişələrin qarşısının alınması və dinc yolla həlli üçün əsas institusional mexanizmlər kimi çıxış edirlər.

Məqalədə beynəlxalq təşkilatlar dövlətlərin ortaq maraqlar əsasında yaratdığı institusional strukturlar kimi təqdim olunur və onların əsas funksiyasının beynəlxalq əməkdaşlığı təşviq etmək, sabitliyi qorumaq olduğu qeyd edilir. Münaqişələr isə dövlətlər və digər aktorlar arasında maraqların, dəyərlərin və təhlükəsizlik prioritetlərinin toqquşması nəticəsində yaranan qarşıdurmalar kimi xarakterizə edilir. Bu cür münaqişələrin effektiv idarə olunması üçün institusional və hüquqi yanaşmanın zəruri olduğu vurğulanır. BMT-nin münaqişələrin həllində əsas aktor kimi rolu xüsusi vurğulanır. Təşkilat diplomatik vasitəçilik, sülhməramlı əməliyyatlar və

hüquqi mexanizmlər vasitəsilə münaqişələrin qarşısını almağa və zorakılığın miqyasını məhdudlaşdırmağa çalışır. Lakin sülhməramlı missiyaların mandatının məhdudluğu və güc tətbiqi imkanlarının zəifliyi bəzi hallarda təşkilatın effektivliyini azaldır.
Bosniya və Herseqovina münaqişəsi beynəlxalq təşkilatların fəaliyyətinin real nəticələrini göstərən əsas nümunə kimi təhlil olunur. UNPROFOR missiyasının məhdud səlahiyyətləri və təhlükəsiz zonaların effektiv qoruna bilməməsi BMT-nin ciddi institusional problemlərini üzə çıxarmışdır. Xüsusilə Srebrenitsa hadisələri klassik sülhməramlı modelin müasir etnik münaqişələr qarşısında yetərsiz olduğunu göstərmişdir. Bu uğursuzluqlar fonunda NATO-nun hərbi müdaxiləsi münaqişənin tənzimlənməsində həlledici mərhələ olmuşdur. NATO-nun hərbi əməliyyatları tərəflər arasında qüvvələr balansını dəyişmiş, sülh danışıqlarına real zəmin yaratmış və Dayton Sülh Sazişi ilə münaqişənin dayandırılmasına töhfə vermişdir.
Nəticə olaraq, məqalə nəticəsində belə bir qənaətə gəlinir ki, münaqişələrin effektiv həlli üçün beynəlxalq təşkilatların yalnız normativ və humanitar yanaşması kifayət etmir. Davamlı sülhün təmin olunması üçün hüquqi legitimliklə yanaşı, icraedici və təhlükəsizlik mexanizmlərinin mövcudluğu da zəruridir. Bosniya təcrübəsi beynəlxalq təşkilatların münaqişələrə müdaxiləsində həm imkanlarını, həm də məhdudiyyətlərini aydın şəkildə nümayiş etdirir.
Açar sözlər: Beynəlxalq təşkilatlar, münaqişələrin tənzimlənməsi, qlobal təhlükəsizlik, BMT, NATO, Bosniya münaqişəsi, sülhməramlı əməliyyatlar, kollektiv təhlükəsizlik.

THE ROLE OF INTERNATIONAL ORGANIZATIONS IN THE REGULATION OF CONFLICTS

MEDINA MUSAYEVA
Baku Engineering University
Faculty of Economics and Management, Department of State and Municipal Administration
madinamoussayeva@gmail.com
KHIRDALAN, AZERBAIJAN

Abstract: Conflicts in the international relations system are of an inevitable nature, and international organizations play an important role in their regulation. In the context of globalization, confrontations occurring at the local level can rapidly turn into serious threats to regional and international security. From this perspective, international organizations act as the main institutional mechanisms for the prevention of conflicts and their peaceful resolution. In the article, international organizations are presented as institutional structures created by states on the basis of common interests, and it is noted that their primary function is to promote international cooperation and maintain stability. Conflicts, in turn, are characterized as confrontations arising from the clash of interests, values, and security priorities between states and other actors. It is emphasized that an institutional and legal approach is essential for the effective management of such conflicts. The role of the United Nations as a key factor in conflict resolution is particularly highlighted. Through diplomatic mediation, peacekeeping operations, and legal mechanisms, the organization seeks to prevent conflicts and limit the scale of violence. However, the limited mandates of peacekeeping missions and weak enforcement capabilities in some cases reduce the organization's effectiveness. The conflict in Bosnia and Herzegovina is analyzed as a key example demonstrating the real outcomes of international organizations' activities. The limited authority of the UNPROFOR mission and the failure to effectively protect safe areas exposed serious institutional problems within the UN. In particular, the events in Srebrenica demonstrated that the classical peacekeeping model was insufficient in the face of modern ethnic conflicts. Against the background of these failures, NATO's military intervention became a decisive stage in resolving the conflict. NATO's military operations altered the balance of power between the parties, created a real basis for peace negotiations, and contributed to the cessation of the conflict through the Dayton Peace Agreement.
As a result, the article concludes that a purely normative and humanitarian approach by international organizations is not sufficient for the effective resolution of conflicts. In order to ensure sustainable peace, alongside legal legitimacy, the existence of executive and security mechanisms is also necessary. The Bosnian experience clearly demonstrates both the capabilities and the limitations of international organizations in intervening in conflicts.
Keywords: International organizations, conflict regulation, global security, United Nations, NATO, Bosnian conflict, peacekeeping operations, collective security.

GIRIŞ

Beynəlxalq münasibətlərin inkişaf dinamikası göstərir ki, münaqişələr qlobal sistemin ayrılmaz tərkib hissəsidir. Dövlətlər arasında maraqların toqquşması, siyasi və iqtisadi rəqabət, etnik-dini faktorlar və təhlükəsizlik dilemması münaqişələrin yaranmasını qaçılmaz edir. Qloballaşma dövründə lokal xarakter daşıyan münaqişələr belə qısa müddətdə regional və beynəlxalq təhlükəsizlik üçün ciddi risk mənbəyinə çevrilə bilir.

Məhz bu səbəbdən beynəlxalq təşkilatlar münaqişələrin qarşısının alınması və dinc yolla həll olunması prosesində əsas institusional mexanizmlər kimi çıxış edirlər. Onlar dialoq mühitinin formalaşdırılması, hüquqi normaların tətbiqi və siyasi vasitəçilik yolu ilə zorakılığın azalmasına töhfə verir.. Bu məqalədə beynəlxalq təşkilatların münaqişələrin həllində rolu nəzəri yanaşmalar və praktiki fəaliyyət nümunələri əsasında təhlil edilir.

1. BEYNƏLXALQ TƏŞKILATLAR VƏ MÜNAQIŞƏ ANLAYIŞININ KONSEPTUAL ÇƏRÇIVƏSI

Beynəlxalq təşkilatlar dövlətlərin və digər beynəlxalq aktorların ortaq məqsədlər naminə yaratdıqları institusional strukturlardır. Bu qurumlar daimi fəaliyyət mexanizminə, hüquqi statusa və normativ

səlahiyyətlərə malikdirlər. Onların əsas funksiyası beynəlxalq əməkdaşlığı təşviq etmək və qlobal miqyasda sabitliyi qorumaqdan ibarətdir (1, s. 6–8). Beynəlxalq təşkilatlar fəaliyyət dairəsinə görə universal və regional formalarda mövcuddur. Universal təşkilatlar qlobal miqyasda fəaliyyət göstərdiyi halda, regional təşkilatlar müəyyən coğrafi ərazilərdə təhlükəsizlik və əməkdaşlıq məsələlərinə fokuslanır.

Münaqişə tərəflər arasında maraqların və ya dəyərlərin uzlaşmaması nəticəsində yaranan qarşıdurma vəziyyətidir. Beynəlxalq səviyyədə bu qarşıdurmalar siyasi hakimiyyət, ərazi, resurslar və təhlükəsizlik məsələləri ilə əlaqəli olur. Münaqişələrin idarə olunması institusional yanaşma tələb edir ki, bu da beynəlxalq təşkilatların rolunu zəruri edir (3, s.15–17).

2. BEYNƏLXALQ TƏŞKILATLARIN MÜNAQIŞƏLƏRIN HƏLLINDƏ NƏZƏRI ƏSASLARI

*Liberal institusional yanaşma.*Liberal institusionalizm beynəlxalq təşkilatların dövlət davranışını tənzimləyən mexanizm olduğunu iddia edir. Bu yanaşmaya əsasən, institutlar qarşılıqlı asılılığı artıraraq münaqişə ehtimalını azaldır (7, s. 68–70). Beynəlxalq təşkilatlar danışıqlar üçün platforma yaradır, məlumat mübadiləsini təmin edir və tərəflər arasında etimadın formalaşmasına şərait yaradır.

*Kollektiv təhlükəsizlik modeli.*Kollektiv təhlükəsizlik modeli münaqişələrin qarşısının alınmasında beynəlxalq təşkilatların hüquqi əsasını təşkil edir. Bu modelə görə, bir dövlətə qarşı təcavüz beynəlxalq sülhə qarşı təhdid kimi qiymətləndirilir. BMT Nizamnaməsi bu yanaşmanın normativ çərçivəsini müəyyən edir (3, s. 13–16). Ümumiyyətlə BMT-nin yaradılmasının əsas məqsədlərindən biri münaqişələrə yol verməmək olmuşdur. Təşkilatın keçmiş baş katibi Kofi Annan BMT-nin qarşısında duran əsas vəzifələrdən danışarkən deyirdi: "Bizim məqsədimiz- əgər bacararıqsa, münaqişəyə yol verməmək üçün, baş verdiyi zaman onu dayandırmaq üçün müdaxilə etməkdir, və ya bu məqsədlərin heç birinə nail olmaq mümkün olmazsa, onda ən azı onu saxlamaq və genişlənməsinə yol verməməkdir" (16, s. 4).

*Birləşmiş Millətlər Təşkilatının münaqişələrin həllində əsas vasitələri.*BMT beynəlxalq münaqişələrin tənzimlənməsi sahəsində ən geniş səlahiyyətlərə malik qurumdur. Təşkilatın əsas orqanları diplomatik vasitəçilik, sülhməramlı fəaliyyət və hüquqi mexanizmlər vasitəsilə sülhün qorunmasına çalışır.

*Sülhməramlı mexanizmlər.*BMT-nin sülhməramlı əməliyyatları münaqişə zonalarında təhlükəsizliyin təmin olunması, mülki əhalinin müdafiəsi və siyasi sabitliyin bərpası məqsədini daşıyır. Bu əməliyyatlar xüsusilə post-münaqişə dövründə mühüm rol oynayır (2, s. 24–27).

*Vasitəçilik fəaliyyəti.*BMT Baş katibi və onun xüsusi nümayəndələri münaqişə tərəfləri arasında dialoqun qurulmasında əsas vasitəçi funksiyasını yerinə yetirirlər. Bu mexanizm zorakılığın qarşısını almağa xidmət edir (14, s. 42–45).

3. BOSNIYA NÜMUNƏSINDƏ BMT-NIN VƏ NATO-NUN ROLU

Bosniya və Herseqovinada 1992-1995-ci illərdə baş vermiş silahlı münaqişə Soyuq müharibədən sonra Avropanın üzləşdiyi ən ağır böhranlardan biri olmuşdur. Bu münaqişə Yuqoslaviya Sosialist Federativ Respublikasının dağılması nəticəsində meydana çıxmış və çoxmillətli bir cəmiyyətin parçalanmasına səbəb olmuşdur. Münaqişə təkcə regional deyil, həm də beynəlxalq təhlükəsizlik baxımından ciddi təhdid yaratmışdır. Qitədə etnik təmizləmə, kütləvi qırğınlar artıq beynəlxalq müdaxiləni məcbur edirdi. (11, s. 210-225)

Birləşmiş Millətlər Təşkilatının Mühafizə Qüvvələri (United Nations Protection Force- UNPROFOR) 1992-ci ilin fevral ayında BMT Təhlükəsizlik Şurasının 743 saylı qətnaməsi əsasında yaradılmışdır. İlkin olaraq missiyanın fəaliyyəti Xorvatiya ərazisini əhatə etsə də, Bosniya və Herseqovinada silahlı qarşıdurmanın genişlənməsi ilə UNPROFOR-un mandatı bu ölkəni də əhatə edəcək şəkildə genişləndirilmişdir (12, s. 1-3). UNPROFOR-un əsas hüquqi dayağı BMT Nizamnaməsinin VI fəsli çərçivəsində "sülhün qorunması" prinsiplərinə əsaslanırdı. Bu isə missiyanın hərbi baxımdan məhdud səlahiyyətlərə malik olması demək idi. 1993-cü ildən etibarən BMT Təhlükəsizlik Şurası Bosniyada bir sıra şəhərləri – Sarayevo, Srebrenitsa, Jepa, Qorajde, Tuzla və Bixaçı – "təhlükəsiz zona" elan etmişdir. Bu zonaların məqsədi mülki əhalini birbaşa hərbi hücumlardan qorumaq idi. Lakin UNPROFOR-un bu zonaları müdafiə etmək üçün nə yetərli canlı qüvvəsi, nə də ağır silahları mövcud idi. Mandatın qeyri-müəyyənliyi və "yalnız özünümüdafiə" prinsipinə əsaslanan qaydalar missiyanın real təhlükəsizlik təmin etməsini mümkünsüz etmişdir (7, s. 4–6). 1995-ci ilin iyul ayında Srebrenitsa "təhlükəsiz zona"sında baş verən kütləvi qırğın UNPROFOR-un tarixində ən ciddi uğursuzluq kimi qiymətləndirilir. Hollandiya kontingentinin məhdud səlahiyyətləri və NATO hava dəstəyinin gecikməsi nəticəsində minlərlə bosnak

əhali qətlə yetirilmişdir (10, s. 473–480).Bu hadisə BMT-nin sülhməramlı doktrinasına fundamental tənqidlər doğurmuş və beynəlxalq təşkilatların münaqişə zonalarında neytrallıq anlayışının yenidən nəzərdən keçirilməsinə səbəb olmuşdur.

Akademik ədəbiyyatda UNPROFOR-un fəaliyyəti əsasən tənqidi şəkildə dəyərləndirilir. Missiya humanitar yardımın çatdırılması baxımından müəyyən uğurlar əldə etsə də, mülki əhalinin sistemli şəkildə qorunmasını təmin edə bilməmişdir. Bu səbəbdən UNPROFOR "klassik sülhməramlı missiyanın müasir vətəndaş müharibəsinə tətbiqinin uğursuz nümunəsi" kimi xarakterizə olunur (3, s. 52–60). UNPROFOR-un Bosniyada üzləşdiyi çətinliklər sonrakı illərdə beynəlxalq müdaxilə modellərinin dəyişməsinə səbəb olmuşdur. Xüsusilə NATO-nun daha aktiv hərbi rolu və "mülki əhalinin qorunması" prinsipinin ön plana çıxması bu təcrübənin birbaşa nəticəsi kimi qiymətləndirilir.

NATO-nun Bosniyada iştirakı mərhələli xarakter daşımışdır. İlkin mərhələdə alyans BMT Təhlükəsizlik Şurasının qərarlarına əsasən Adriatik dənizində dəniz blokadasının və Bosniya hava məkanında uçuşa qadağa zonasının icrasını təmin etmişdir. 1993-cü ildən etibarən həyata keçirilən "Deny Flight" əməliyyatı NATO-nun ilk real hərbi iştirakı kimi qiymətləndirilir (8, s. 14–18). Bu mərhələ NATO-nun kollektiv müdafiə çərçivəsindən kənara çıxaraq böhranların idarə edilməsində aktiv rol almağa başladığını göstərmişdir. 1995-ci ilin avqustunda NATO tərəfindən həyata keçirilən "Deliberate Force" hava əməliyyatı Bosniya serb qüvvələrinin komanda mərkəzlərinə və ağır silah mövqelərinə yönəlmişdir. Əməliyyat Srebrenitsa soyqırımından sonra beynəlxalq ictimaiyyətin artan təzyiqi fonunda başlamışdır (10, s. 391–395). Holbrooke-un fikrincə, bu əməliyyat münaqişə tərəflərini sülh danışıqlarına məcbur edən əsas hərbi faktor olmuşdur (6, s. 98–102). NATO-nun bu addımı alyans tarixində ilk genişmiqyaslı döyüş əməliyyatı kimi qiymətləndirilir.

1995-ci ilin dekabrında imzalanan Dayton Sülh Sazişi Bosniya münaqişəsinə rəsmi olaraq son qoymuşdur. Sazişin hərbi müddəalarının icrası NATO-ya tapşırılmış və bu məqsədlə IFOR yaradılmışdır. Daha sonra IFOR-un yerini SFOR almışdır (5, s. 143–150).NATO qüvvələri atəşkəsin qorunması, silahlı qüvvələrin ayrılması və ağır silahların nəzarət altına alınması funksiyalarını yerinə yetirmişdir. Bu missiyalar Bosniyada nisbi təhlükəsizlik və siyasi sabitliyin formalaşmasına mühüm töhfə vermişdir. Bosniya təcrübəsi NATO-nun təhlükəsizlik konsepsiyasının genişlənməsinə səbəb olmuşdur. Alyans ilk dəfə olaraq üzv olmayan bir ölkədə uzunmüddətli sülhməramlı missiya həyata keçirmişdir (15, s. 67–72). Bosniya münaqişəsində BMT və NATO-nun rolu ümumi şəkildə qiymətləndirildikdə, bu iki beynəlxalq aktorun fəaliyyətinin həm tamamlayıcı, həm də məhdudiyyətli xarakter daşıdığı nəticəsinə gəlmək olar. BMT münaqişənin ilkin mərhələsində əsasən humanitar yanaşmanı ön plana çıxarmış, mülki əhalinin qorunması, yardımın çatdırılması və diplomatik vasitəçilik funksiyasını icra etməyə çalışmışdır. Lakin təşkilatın mandatının məhdudluğu, siyasi iradənin zəifliyi və sülhməramlı qüvvələrin güc tətbiqi imkanlarının azlığı onun münaqişənin zorakı mərhələsinin qarşısını almaqda yetərsiz qalmasına səbəb olmuşdur. NATO isə münaqişənin son mərhələsində daha aktiv və sərt təhlükəsizlik mexanizmi kimi çıxış etmiş, hərbi müdaxilə və məcburetmə gücü vasitəsilə tərəflər arasında qüvvələr balansını dəyişmiş və sülh prosesinin reallaşmasına real zəmin yaratmışdır. NATO-nun hərbi əməliyyatları diplomatik təşəbbüslərlə uzlaşdırılaraq, sonda münaqişənin dayandırılmasına və siyasi razılaşmanın əldə olunmasına töhfə vermişdir.

Ümumilikdə, Bosniya təcrübəsi göstərir ki, yalnız humanitar və müşahidəçi missiyalar silahlı etnik münaqişələrin qarşısını almaqda kifayət etmir, effektiv sülh üçün beynəlxalq legitimliklə yanaşı, təhlükəsizliyi təmin edən real icra mexanizmləri də zəruridir. Bu baxımdan, BMT-nin normativ və hüquqi çərçivəsi ilə NATO-nun icraedici hərbi gücü birlikdə münaqişənin həllində müəyyən nəticə versə də, proses beynəlxalq təşkilatların böhranlara reaksiyasında struktur problemləri də açıq şəkildə üzə çıxarmışdır.

NƏTICƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, müasir beynəlxalq münasibətlər sistemində münaqişələr istisna hal deyil, qlobal siyasətin struktur xüsusiyyətlərindən biridir. Dövlətlər arasında maraqların toqquşması, etnik və dini fərqliliklər, resurslar uğrunda rəqabət və təhlükəsizlik dilemması münaqişələrin yaranmasını şərtləndirən əsas amillər kimi çıxış edir. Bu reallıq beynəlxalq təşkilatların münaqişələrin qarşısının alınması və tənzimlənməsində rolunu obyektiv zərurətə çevirir.

Məqalədə təhlil edilən nəzəri yanaşmalar, xüsusilə liberal institusionalizm və kollektiv təhlükəsizlik modeli göstərir ki, beynəlxalq təşkilatlar yalnız normativ strukturlar deyil, həm də dövlət davranışını müəyyən dərəcədə formalaşdıran funksional mexanizmlərdir. Bu təşkilatlar dialoq platforması yaradaraq, hüquqi çərçivə müəyyən etməklə və qarşılıqlı etimadı təşviq etməklə münaqişə riskini azaltmağa çalışırlar. Lakin

nəzəri potensialla praktiki imkanlar arasında ciddi uyğunsuzluqların mövcudluğu da açıq şəkildə üzə çıxır. Birləşmiş Millətlər Təşkilatının fəaliyyəti bu ziddiyyətin ən bariz nümunəsidir. BMT beynəlxalq legitimliyə, geniş normativ bazaya və universal üzvlüyə malik olsa da, sülhməramlı missiyaların mandat məhdudiyyətləri, siyasi iradənin zəifliyi və Təhlükəsizlik Şurasında konsensus problemləri onun münaqişələrin zorakı mərhələsində effektiv fəaliyyət göstərməsinə mane olur. Bosniya və Herseqovina münaqişəsində UNPROFOR missiyasının fəaliyyəti göstərdi ki, klassik sülhməramlı model müasir vətəndaş müharibələri və etnik təmizləmə kimi hallarda mülki əhalinin real müdafiəsini təmin etmək gücündə deyil.

Bosniya təcrübəsi həm də beynəlxalq təhlükəsizlik sistemində NATO-nun artan rolunu ortaya qoymuşdur. NATO-nun hərbi müdaxiləsi münaqişənin son mərhələsində qüvvələr balansını dəyişmiş, tərəfləri siyasi razılaşmaya məcbur etmiş və Dayton Sülh Sazişinin imzalanması ilə nəticələnmişdir. IFOR və SFOR missiyaları vasitəsilə təhlükəsizliyin təmin olunması isə göstərdi ki, sülhün davamlılığı yalnız razılaşmalarla deyil, onların icrasını təmin edən güc mexanizmləri ilə mümkündür.

Ümumilikdə, məqalənin nəticəsi ondan ibarətdir ki, münaqişələrin effektiv həlli üçün beynəlxalq təşkilatların fəaliyyəti tamamlayıcı xarakter daşımalıdır. BMT-nin hüquqi-normativ legitimliyi və diplomatik vasitələri NATO kimi təşkilatların icraedici və hərbi imkanları ilə uzlaşdırılmadıqca, dərin və zorakı münaqişələrin qarşısını almaq çətin olaraq qalır. Bosniya münaqişəsi beynəlxalq təşkilatların həm imkanlarını, həm də struktur məhdudiyyətlərini aydın şəkildə nümayiş etdirmiş və gələcək beynəlxalq müdaxilə modelləri üçün mühüm dərslər ortaya qoymuşdur.

CONCLUSION

The analysis conducted demonstrates that conflicts are not exceptional phenomena in the contemporary international relations system, but rather constitute structural characteristics of global politics. The clash of state interests, ethnic and religious divisions, competition over resources, and security dilemmas represent the primary factors driving the emergence of conflicts. This reality renders the role of international organizations in conflict prevention and regulation an objective necessity. The theoretical approaches examined in the article, particularly liberal institutionalism and the collective security model, indicate that international organizations are not merely normative structures but also functional mechanisms capable of shaping state behavior to a certain extent. By providing platforms for dialogue, establishing legal frameworks, and fostering mutual trust, these organizations seek to reduce the likelihood of conflict. However, the analysis also reveals a significant gap between theoretical potential and practical capacity.

The activities of the United Nations constitute the clearest example of this contradiction. Despite possessing broad international legitimacy, an extensive normative foundation, and universal membership, the UN's effectiveness in managing violent phases of conflicts is constrained by limited peacekeeping mandates, weak political will, and persistent consensus problems within the Security Council. The experience of the UNPROFOR mission in the Bosnia and Herzegovina conflict demonstrated that the classical peacekeeping model is ill-equipped to ensure the effective protection of civilians in the context of modern civil wars and ethnic cleansing. The Bosnian experience also highlighted the expanding role of NATO within the international security system. NATO's military intervention during the final phase of the conflict altered the balance of forces, compelled the parties to engage in political negotiations, and ultimately led to the signing of the Dayton Peace Agreement. The subsequent IFOR and SFOR missions further demonstrated that the sustainability of peace depends not only on negotiated agreements but also on the existence of enforcement mechanisms capable of ensuring their implementation.

Overall, the article concludes that the effective resolution of conflicts requires a complementary approach to the activities of international organizations. Without aligning the legal and normative legitimacy and diplomatic instruments of the United Nations with the executive and military capabilities of organizations such as NATO, preventing deep-rooted and violent conflicts remains a significant challenge. The Bosnian conflict clearly illustrates both the potential and the structural limitations of international organizations and offers important lessons for future models of international intervention.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Abbott K. W., Snidal D. Why States Act through Formal International Organizations // International Organization, 1998, c. 42, № 1, s. 3–32.
2. Bellamy A. J., Williams P., Griffin S. Understanding Peacekeeping. Cambridge: Polity Press, 2010, 447 s.
3. Birləşmiş Millətlər Təşkilatı. BMT Nizamnaməsi. San-Fransisko, 1945, s. 10–18.
4. Chandler D. Bosnia: Faking Democracy after Dayton. London: Pluto Press, 2000, 240 s.

5. Daalder I. H. Getting to Dayton: The Making of America's Bosnia Policy. Washington D.C.: Brookings Institution Press, 2000, 220 s.
6. Holbrooke R. To End a War. New York: Random House, 1998, 400 s.
7. Keohane R. O. After Hegemony: Cooperation and Discord in the World Political Economy. Princeton: Princeton University Press, 1984, 290 s.
8. NATO. The NATO Intervention in Bosnia and Herzegovina. Brussels, 1995, s. 10–25.
9. OSCE(ATƏT). Conflict Prevention and Resolution. Vienna, 2011, s. 7–15.
10. Power S. A Problem from Hell: America and the Age of Genocide. New York: Basic Books, 2002, 620 s.
11. Silber L., Little A. The Death of Yugoslavia. London: Penguin Books, 1996, 400 s.
12. United Nations. Report of the Secretary-General on the United Nations Protection Force (UNPROFOR). New York, 1995, s. 3–7.
13. United Nations. United Nations and Conflict Mediation. New York, 2020, 120 s.
14. Weiss T. G. Global Governance: Why? What? Whither? Cambridge: Polity Press, 2018, 220 s.
15. Williams M. NATO, Security and Risk Management. London: Routledge, 2001, 260 s.
16. Аннан К. А. Проблема вмешательства. Москва, 1999, 100 с.

ATƏT-İN MİNSK QRUPUNUN VASİTƏÇİLİK MİSSİYASININ İFLASI

MƏDİNƏ MUSAYEVA
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi, Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
madinamoussayeva@gmail.com
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN

Xülasə: 1990-cı illərin əvvəllərində Ermənistan–Azərbaycan münaqişəsinin sülh yolu ilə həlli məqsədilə ATƏT çərçivəsində Minsk Qrupu yaradılmışdır. ABŞ, Rusiya və Fransanın həmsədrliyi ilə fəaliyyət göstərən bu mexanizm münaqişənin diplomatik vasitələrlə tənzimlənməsini nəzərdə tuturdu. Lakin uzun illər aparılan danışıqlara baxmayaraq, münaqişənin həlli istiqamətində real nəticələr əldə edilməmişdir. 2020-ci ildə baş vermiş İkinci Qarabağ Müharibəsi regionda yeni siyasi və hərbi reallıq yaratmış və Minsk Qrupunun vasitəçilik institutunun effektivliyini ciddi şəkildə sual altına qoymuşdur. Məqalədə Minsk Qrupunun fəaliyyətinin əsas xüsusiyyətləri, onun fəaliyyətinin nəticəsiz qalmasının səbəbləri və İkinci Qarabağ Müharibəsi kontekstində vasitəçilik mexanizminin iflası təhlil edilir. Araşdırma göstərir ki, Minsk Qrupunun fəaliyyətinin nəticəsiz qalması beynəlxalq hüquq mexanizmlərinin tətbiq edilməməsi, həmsədr dövlətlərin geosiyasi maraqlarının toqquşması və uzun müddət davam edən status-kvonun qorunması ilə bağlı olmuşdur.

Açar sözlər: Qarabağ münaqişəsi, Minsk Qrupu, ATƏT, beynəlxalq vasitəçilik, İkinci Qarabağ Müharibəsi, regional təhlükəsizlik.

FAILURE OF THE MEDIATION MISSION OF THE OSCE MINSK GROUP

MEDINA MUSAYEVA
Baku Engineering University
Faculty of Economics and Management, Department of State and Municipal Administration
madinamoussayeva@gmail.com
KHIRDALAN, AZERBAIJAN

Abstract: In the early 1990s, the OSCE Minsk Group was established to resolve the Armenia-Azerbaijan conflict peacefully. Operating under the co-chairmanship of the United States, Russia, and France, this mechanism aimed to regulate the conflict through diplomatic means. However, despite years of negotiations, no tangible results were achieved toward a resolution. The Second Karabakh War in 2020 created a new political and military reality in the region and called into serious question the effectiveness of the Minsk Group's mediation institution.

The article analyzes the key characteristics of the Minsk Group's activities, the reasons for its failure to produce results, and the collapse of the mediation mechanism within the context of the Second Karabakh War. The research indicates that the ineffectiveness of the Minsk Group was due to the lack of implementation of international legal mechanisms, the clashing geopolitical interests of the co-chair states, and the long-term preservation of the status quo.

Keywords: Karabakh conflict, Minsk Group, OSCE, international mediation, Second Karabakh War, regional security.

GİRİŞ

Cənubi Qafqaz regionu post-sovet məkanında ən mürəkkəb geosiyasi münaqişə zonalarından biri hesab olunur. Ermənistan–Azərbaycan münaqişəsi uzun illər ərzində regional təhlükəsizliyə və beynəlxalq münasibətlər sisteminə ciddi təsir göstərmişdir. Münaqişənin sülh yolu ilə həlli məqsədilə 1992-ci ildə ATƏT çərçivəsində Minsk Qrupu yaradılmışdır. Bu mexanizm tərəflər arasında danışıqlar aparmaq və münaqişənin diplomatik həllinə nail olmaq məqsədi daşıyırdı [14].

Minsk Qrupu ABŞ, Rusiya və Fransanın həmsədrliyi ilə fəaliyyət göstərərək münaqişənin həlli üçün müxtəlif diplomatik təşəbbüslər irəli sürmüşdür. Lakin uzun illər aparılan danışıqlar nəticəsiz qalmışdır. Bir sıra tədqiqatçılar Minsk Qrupunun fəaliyyətinin əsasən münaqişənin həllindən daha çox mövcud status-kvonun qorunmasına xidmət etdiyini qeyd edirlər [1].

ATƏT-in Minsk Qrupunun vasitəçilik mexanizmi

Bildirdiyim kimi, Minsk qrupun əsas məqsədi Ermənistan və Azərbaycan arasında sülh danışıqlarını təşkil etmək və münaqişənin siyasi həllinə nail olmaq idi.

1997-ci ildən etibarən ABŞ, Rusiya və Fransa həmsədr dövlətlər kimi vasitəçilik prosesində əsas rol oynamağa başlamışdır. Bu model beynəlxalq güclərin balanslaşdırılmış iştirakını təmin etməli idi. Vasitəçilik prosesində müxtəlif diplomatik təşəbbüslər irəli sürülmüşdür. Bunların arasında Madrid prinsiplərini xüsusui olaraq vurğulamaq olar[2].

Madrid prinsipləri aşağıdakı əsas elementləri nəzərdə tuturdu:

- işğal olunmuş ərazilərin mərhələli şəkildə qaytarılması
- məcburi köçkünlərin geri qayıtması
- regionda beynəlxalq təhlükəsizlik mexanizmlərinin yaradılması
- Dağlıq Qarabağın statusunun gələcəkdə müəyyən edilməsi [6].

2001-ci ilin fevralında prezident Heydər Əliyevin təşəbbüsü ilə ATƏT-in Minsk qrupunun münaqişənin həlliylə bağlı təklif etdiyi üç saziş layihəsi -"Paket Həll", "Ümumi Dövlət Prinsipləri" və "Mərhələli Həll" mətbuatda çap olunub.

Belə ki, Dağlıq Qarabağ münaqişəsinin "paket həll" prinsipi münaqişənin hərtərəfli sülh yolu ilə tənzimlənməsini nəzərdə tutur. Sazişə əsasən silahlı qüvvələrin mərhələli şəkildə geri çəkilməsi, ATƏT-in sülhməramlı qüvvələrinin yerləşdirilməsi, məcburi köçkünlərin qayıdışı və regional kommunikasiya xətlərinin açılması planlaşdırılır. Eyni zamanda Dağlıq Qarabağın yekun statusunun Azərbaycanın ərazi bütövlüyü çərçivəsində geniş özünüidarəetmə hüquqları ilə müəyyən edilməsi nəzərdə tutulur [8].

ATƏT-in Minsk Qrupunun irəli sürdüyü "ümumi dövlət" modelinə əsaslanan sülh sazişi təklifinə görə, Dağlıq Qarabağ Azərbaycanın beynəlxalq səviyyədə tanınmış sərhədləri daxilində qalaraq onunla "ümumi dövlət" qurmalı, lakin geniş siyasi, iqtisadi və təhlükəsizlik səlahiyyətlərinə malik xüsusi status əldə etməli idi. Eyni zamanda silahlı qüvvələrin geri çəkilməsi, ATƏT sülhməramlılarının yerləşdirilməsi, qaçqınların qayıdışı və regional kommunikasiyaların bərpası nəzərdə tutulurdu [9].

Digər bir təklif isə ATƏT-in Minsk Qrupunun "mərhələli həll" modelinə əsaslanan sülh planı idi. Plan münaqişənin əvvəlcə hərbi mərhələsinin dayandırılmasını, qoşunların mərhələli şəkildə çıxarılmasını, sülhməramlı qüvvələrin yerləşdirilməsini, məcburi köçkünlərin qayıdışını və kommunikasiya xətlərinin bərpasını nəzərdə tutur. Bundan sonra isə danışıqlar yolu ilə Dağlıq Qarabağın yekun siyasi statusunun müəyyənləşdirilməsi planlaşdırılır [7].

Lakin tərəflər arasında mövqelərin kəskin fərqlənməsi və siyasi kompromisin əldə olunmaması bu təşəbbüslərin həyata keçirilməsinə imkan verməmişdir.

İFLASIN SƏBƏBLƏRİ

Minsk Qrupunun fəaliyyətinin əsas problemlərindən biri onun mandatının qeyri-müəyyənliyi və icra mexanizmlərinin zəif olması olmuşdur. Vasitəçilik platforması danışıqlar üçün imkan yaratsa da, qəbul edilən qərarların həyata keçirilməsini təmin edən real mexanizmlərə malik deyildi. Bu səbəbdən uzun illər davam edən proses konkret nəticə verməmişdir [4].

2020-ci ildə baş vermiş İkinci Qarabağ Müharibəsi isə vasitəçilik mexanizminin praktik olaraq iflas etdiyini göstərmişdir. Müharibə dövründə həmsədr dövlətlərin yalnız bəyanatlarla kifayətlənməsi və real təsir mexanizmlərinin tətbiq edilməməsi bu institutun prosesdə rolunun zəiflədiyini ortaya qoymuşdur. Müharibənin sonunda əldə olunan razılaşma Minsk Qrupu çərçivəsində deyil, regional siyasi formatda imzalanmışdır ki, bu da vasitəçilik mexanizminin funksional rolunun azalmasını göstərir [5].

Bir sıra Azərbaycan tədqiqatçıları Minsk Qrupunun fəaliyyətini münaqişənin həllinə deyil, onun uzun müddət davam etməsinə xidmət edən faktor kimi qiymətləndirirlər. Onların fikrincə, beynəlxalq vasitəçilik mexanizmi tərəflər arasında dialoq mühiti yaratsa da, böyük dövlətlərin regional maraqları səbəbindən vahid və effektiv həll strategiyası formalaşdırmaq mümkün olmamışdır.

Həmçinin həmsədr dövlətlərin fərqli geosiyasi maraqları danışıqlar prosesinin effektivliyinə mənfi təsir göstərmişdir. ABŞ, Rusiya və Fransanın regiondakı strateji prioritetləri vasitəçilik prosesində balanslaşdırılmış və qətiyyətli qərarların qəbuluna mane olmuşdur .

Rəsmi Azərbaycan mövqeyində də Minsk Qrupunun fəaliyyətinin nəticəsizliyi dəfələrlə vurğulanmışdır. Azərbaycan Respublikasının Prezidenti İlham Əliyev çıxış və müsahibələrində bu institutun uzun illər ərzində münaqişənin həlli istiqamətində real nəticə əldə edə bilmədiyini qeyd etmiş, beynəlxalq hüququn, xüsusilə də ərazi bütövlüyü prinsipinin icrasının təmin olunmadığını bildirmişdir

21 avqust 2025-ci ildə Prezident İlham Əliyev Kəlbəcərdəki çıxışında bildirmişdir: *"Mənfur Minsk qrupu artıq son günlərini yaşayır. Faktiki olaraq o, heç bir fəaliyyət göstərmirdi və göstərə də bilməzdi. Ancaq hüquqi cəhətdən mövcud idi, indi onun da sonu yaxınlaşır"* [12].

Minsk qrupunun ləğvi məsələsi Azərbaycan üçün yalnız formal diplomatik addım deyil, həm də regionda formalaşmış yeni siyasi reallıqların beynəlxalq səviyyədə qəbulunun göstəricisidir. Azərbaycan rəhbərliyi hesab edir ki, Ermənistan Qarabağın Azərbaycanın ayrılmaz hissəsi olduğunu bəyan etdikdən və münaqişənin başa çatdığını qəbul etdikdən sonra bu qurumun fəaliyyətini davam etdirməsi hüquqi və siyasi baxımdan məntiqsizdir[10]. Uzun illər ərzində real nəticə əldə edə bilməyən və son beş ildə faktiki olaraq fəaliyyətsiz qalan Minsk qrupu artıq öz aktuallığını itirmiş vasitəçilik formatına çevrilib. Buna görə də Azərbaycan tərəfi ATƏT-ə bu strukturun ləğvi ilə bağlı birgə müraciət təşəbbüsü irəli sürmüş və prosesin başlaması regionda postmünaqişə mərhələsinə keçidin göstəricisi kimi qiymətləndirilir. Ekspertlərin fikrincə, otuz illik fəaliyyəti dövründə münaqişənin həllinə real töhfə verə bilməyən Minsk qrupu həm işğal faktına, həm də insan və mülkiyyət hüquqlarının pozulmasına adekvat reaksiya göstərmədiyindən beynəlxalq vasitəçilik mexanizminin səmərəsiz nümunəsinə çevrilmişdir [11].

Prezident həmçinin beynəlxalq müsahibələrində Minsk Qrupunun fəaliyyətinin faktiki olaraq nəticəsiz danışıqlar formatına çevrildiyini və Ermənistanın işğal siyasətinə qarşı real beynəlxalq təzyiq mexanizminin formalaşmadığını vurğulamışdır.

26 avqust 2025-ci ildə Azərbaycan Respublikasının Prezidenti İlham Əliyev Səudiyyə Ərəbistanının "Əl-Ərəbiyyə" telekanalına müsahibəsində jurnalistin verdiyi Minsk qrupunun fəaliyyətinin bitməsi ilə bağlı olan suala cavabında bildirib:

"Bəli, Minsk qrupunun ləğvi Azərbaycan tərəfindən danışıqların ilkin mərhələlərində irəli sürülmüş şərtlərdən biri idi. Bizim məntiqimiz bundan ibarət idi ki, Minsk qrupu 1992-ci ildə ATƏM tərəfindən Qarabağ münaqişəsinin həlli üçün yaradılmışdı. Ermənistan rəsmi şəkildə Qarabağı Azərbaycanın hissəsi kimi tanıdığını və münaqişənin başa çatdığını bildirdiyi halda, Minsk qrupunun hüquqi mövcudluğu absurddur. Əgər onu saxlamaqda israrlı olsalar, bu, onların Qarabağla bağlı hələ də ərazi iddialarının olduğunu göstərir. Bu, mövqeyimizin əsasında dayanan məntiq idi. Ermənistana anlatmaq üçün çox vaxt və səy sərf etdik ki, hər iki tərəf Minsk qrupunun ləğvi ilə bağlı ATƏT-ə məktub yazsın və bu, Prezident Trampın iştirakı ilə baş verdi. Hazırda proses artıq başlayıb və bu, Minsk qrupunun hüquqi süqutunu ifadə edəcək, çünki o, artıq beş ildən çoxdur ki, fəaliyyətsizdir".[13]

NƏTİCƏ

Beləliklə, aparılan təhlil göstərir ki, ATƏT-in Minsk Qrupu uzun illər ərzində Ermənistan–Azərbaycan münaqişəsinin sülh yolu ilə həllinə nail olmaq məqsədilə yaradılmış əsas beynəlxalq vasitəçilik mexanizmlərindən biri olmuşdur. Qrupun fəaliyyəti çərçivəsində müxtəlif diplomatik təşəbbüslər, o cümlədən Madrid prinsipləri, "paket həll", "mərhələli həll" və "ümumi dövlət" modelləri irəli sürülmüşdür. Bu təşəbbüslər münaqişənin siyasi və diplomatik yollarla tənzimlənməsi üçün müəyyən konseptual əsas yaratsa da, tərəflər arasında ciddi fikir ayrılıqları və siyasi kompromisin əldə olunmaması səbəbindən onların praktik həyata keçirilməsi mümkün olmamışdır. Minsk Qrupunun fəaliyyətinin nəticəsiz qalmasının əsas səbəbləri kimi mandatın məhdudluğu, qəbul edilən qərarların icrasını təmin edən real mexanizmlərin olmaması, eləcə də həmsədr dövlətlərin fərqli geosiyasi maraqları göstərilə bilər. Bu amillər vasitəçilik prosesinin effektivliyini zəiflətmiş və münaqişənin uzun müddət davam etməsinə şərait yaratmışdır.

2020-ci ildə baş vermiş İkinci Qarabağ Müharibəsi regionda yeni siyasi reallıqlar formalaşdırmış və Minsk Qrupunun faktiki olaraq fəaliyyətini dayandırdığını nümayiş etdirmişdir. Müharibədən sonra əldə olunan razılaşmaların Minsk Qrupu çərçivəsində deyil, regional siyasi formatda imzalanması bu institutun rolunun artıq aktual olmadığını göstərmişdir [3].

Nəticə etibarilə, Minsk Qrupunun otuz ilə yaxın fəaliyyətinə baxmayaraq, onun münaqişənin həllinə real töhfə verə bilmədiyi qənaətinə gəlmək mümkündür.

CONCLUSİON

Thus, the conducted analysis shows that the OSCE Minsk Group was one of the main international mediation mechanisms established for many years with the aim of achieving a peaceful resolution of the Armenia–Azerbaijan conflict. Within the framework of the group's activities, various diplomatic initiatives

were proposed, including the Madrid Principles, the "package solution," the "phased solution," and the "common state" models. Although these initiatives created a certain conceptual basis for resolving the conflict through political and diplomatic means, their practical implementation was not possible due to significant differences in the positions of the parties and the failure to reach a political compromise.

The main reasons for the ineffectiveness of the Minsk Group's activities can be identified as the limitations of its mandate, the absence of real mechanisms to ensure the implementation of adopted decisions, as well as the differing geopolitical interests of the co-chairing states. These factors weakened the effectiveness of the mediation process and contributed to the prolongation of the conflict.

The Second Karabakh War that took place in 2020 created new political realities in the region and demonstrated that the Minsk Group had effectively ceased its activities. The fact that the agreements reached after the war were signed not within the framework of the Minsk Group but in a regional political format indicated that the role of this institution was no longer relevant.

Consequently, despite nearly thirty years of activity, it can be concluded that the Minsk Group was unable to make a real contribution to the resolution of the conflict.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Ə.Bədəlov. ATƏT-in Minsk qrupu bölgədə yaranan yeni reallıqları qəbul etməlidir. Xalq qəzeti.-2021.- 10 oktyabr.- S.3.
2. Ermənistan- Azərbaycan münaqişəsi beynəlxalq təşkilatların müzakirəsində. Azərbaycan Respublikasının Prezidentinin İşlər İdarəsi Prezident Kitabxanası. S. 240.
3. R.Sevdimaliyev. İkinci Qarabağ müharibəsi və yeni geosiyasi reallıqlar. Bakı. Afpoliqraf. 2023. S. 320.
4. S.Həmid. ATƏT-in Minsk qrupundan imtina etməliyik mi?. Mərkəz.-2011.- 16 aprel.- S. 8.
5. De Waal, T.. Black Garden: Armenia and Azerbaijan Through Peace and War. New York: New York University Press. 2013. S. 249
6. https://www.azadliq.org/a/1779183.html
7. https://www.azadliq.org/a/27665491.html
8. https://www.azadliq.org/a/27665461.html
9. https://www.azadliq.org/a/qarabag-umumi-dovlet-sulh-munaqise/27665477.html
10. https://www.bbc.com/azeri/articles/c36j6n9e1djo
11. https://xalqqazeti.az/az/siyaset/237281-minsk-qrupunun-legvi-iflas-etmis
12. https://president.az/az/articles/view/69911
13. https://president.az/az/articles/view/69968
14. https://mfa.gov.az/az/category/munaqisenin-helli-prosesi-1991-2020

THE SIGNIFICANCE OF ARCHIVAL SOURCES IN THE STUDY OF THE MEDIEVAL HERITAGE OF GANJA AT THE END OF THE 18th AND THE BEGINNING OF THE 19th CENTURIES

ELNUR HASANOV

Ganja Branch of the Azerbaijan National Academy of Sciences

lnurh273@gmail.com

GANJA, AZERBAIJAN

Abstract: The purpose of this study is to examine archival materials of great importance for the investigation of the historical past and cultural heritage of Azerbaijan during the late medieval period. In particular, the archives of the former Russian Empire contain extensive information on this stage of Azerbaijan's history. One of the most valuable repositories in this regard is the Russian State Military Historical Archive. The documents preserved in this archive constitute an important historical source for the study of Azerbaijan's history during the period under consideration.

The archive contains information on the fortress walls, palaces, caravanserais, baths, residential buildings, bridges, and other architectural structures of Azerbaijani cities. It also preserves numerous documents relating to the history of the Ganja Khanate. Official military records of the former Russian Empire provide detailed historical data on the economy, culture, demography, and political history of both the Ganja Khanate and the city of Ganja.

The materials housed in the collections of the Russian State Military Historical Archive, when examined alongside other contemporary sources, make it possible to present an objective and comprehensive account of the history and cultural heritage of the Ganja Khanate and this ancient city.

Keywords: cultural heritage, Azerbaijan, history, Ganja, architecture, archive, written sources.

ЗНАЧЕНИЕ АРХИВОВ В ИЗУЧЕНИИ СРЕДНЕВЕКОВОГО НАСЛЕДИЯ ГОРОДА ГЯНДЖИ КОНЦА XVIII - НАЧАЛА XIX ВЕКОВ

ЭЛЬНУР ГАСАНОВ
Гянджинское отделение национальной академии наук Азербайджана
lnurh273@gmail.com
ГЯНДЖА, АЗЕРБАЙДЖАН

АННОТАЦИЯ
Целью исследования является изучение архивных материалов, имеющих большое значение в изучении исторического прошлого, а также культурного наследия Азербайджана в позднее средневековье. Особенно, архивы бывшей Российской империи содержат богатые сведения об этом периоде Азербайджана. Одним из таких архивов является Российский государственный военно-исторический архив. Документы архива являются важным историческим источником в изучении истории Азербайджана данного периода. В архиве сохранились сведения о крепостных стенах, дворцах, караван-сараях, банях, домах, мостах и других постройках азербайджанских городов. В архиве имеется множество документов об истории Гянджинского ханства. Официальные военные документы бывшей Российской империи содержат подробные исторические сведения об экономике, культуре, демографии и политической истории Гянджинского ханства и города Гянджи. Материалы фондов Российского государственного военно-исторического архива вместе с другими разными источниками того периода позволяют объективно осветить изучение истории, культурного наследия Гянджинского ханства и этого древнего города.
Ключевые слова: культурное наследие, Азербайджан, история, Гянджа, архитектура, архив, письменные источники.

ВВЕДЕНИЕ

Гянджа, которая стала одним из важнейших политических, экономических и культурных городов Азербайджана с раннего средневековья, и по сей день сохраняет этот статус. Гянджа была свидетелем большинства важных политических событий, происходивших в истории Азербайджана. Гянджа с раннего средневековья была столицей независимых государств или центром крупных провинций. Гянджинское ханство было одним из независимых ханств, возникших на территории Азербайджана во второй половине XVIII века. В этот период, благодаря своему политическому и экономическому значению, Гянджа была в центре внимания как внутренних, так и внешних сил. Ханство всегда становилось местом борьбы внешних и внутриполитических сил. По этой причине его политическая история за время его существования богата различными событиями. При исследовании и написании истории Гянджинского ханства используются различные источники. При исследовании историографии ханства приоритет отдается местным источникам. Но русские источники тоже играют важную роль в изучении истории Гянджинского ханства XVIII-XIX вв. Так, начиная с конца XVIII века Российская империя, проявлявшая интерес к Азербайджану, направляла в нашу страну купцов, шпионов, послов и собирала через них сведения. Эти материалы хранятся в различных архивах России вместе с документами о военной экспансии России в конце XVIII — начале XIX вв. [1, с. 28].

Среди этих архивов Российский государственный военно-исторический архив занимает одно из главных мест. Документы архива играют важную роль в изучении истории Азербайджана периода ханства и русской военной экспансии в Азербайджан. Среди важных документов в РГВИА, отражающих историю Азербайджана XVIII-XIX веков, имеются также материалы о Гянджинском ханстве и городе. Среди этих материалов можно найти богатую информацию о Гянджинском ханстве и его городе. Информация, содержащаяся в фондах РГВИА, охватывает период с конца XVII века и начала XVIII века. Поскольку в то время город Гянджа входил в состав Гянджинского ханства, эти материалы в основном связаны с экономической, политической и военной жизнью ханства. В фондах архива хранятся официальная дипломатическая переписка между Гянджинским ханством и Российской империей, военные письма, шпионские донесения, просьбы императору, торговые договоры, сводки военных походов и военных документов периода войны [2, с. 80]. Особую ценность в архиве представляют материалы, связанные с походом русских войск в Азербайджан в 1796 году.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Большинство из них собрано в 41 фонде указанного архива. В этих материалах отражен поход на Гянджу и его результаты. Из этих документов можно получить подробную информацию об истории Гянджи XVII-XIX вв. В XVIII веке в Азербайджане существовало большое количество оборонительных сооружений. Одним из городов, отличавшихся мощными крепостными стенами, была Гянджа. План города Гянджи, хранящийся в архиве, был впервые составлен в 1797 году.

Целью военной экспедиции Зубова было завоевание городов Азербайджана. В результате похода были заняты Дарбент, Баку, Губа, Шемаха и Мугань. По этой причине были проведены все виды комплексных приготовлений. Так, для обеспечения военного успеха похода большое внимание уделялось вопросам и изучению местных условий, навигации и снабжения. По указанию Зубова готовился точный чертеж всех зданий, представлявших военный интерес. Чертеж Гянджинского замка был одним из таких документов [3, с. 208].

На плане в документе № 6055 рабочей папки № 12 фонда 349 РГВИА отмечено, что он был составлен инженер-майором Иваном Гартингом 24 февраля 1797 года. Подробную информацию об архитектуре города в пределах Гянджинской крепости можно получить из генерального плана, находящегося в 12-й папке 349-го фонда. Например, из документа 6055, входящего в эту папку, можно ознакомиться с Джума-мечетью в городе и ее подробным описанием. Документ также содержит общее описание мечети, площади перед ней и архитектурного ансамбля. Медресе, входящее в комплекс мечети, отражено на главном плане. Из плана видно, что за мечетью находится кладбище, а с западной стороны к зданию мечети примыкает баня [4, с. 126]. Из плана также можно увидеть сходство городского архитектурного ансамбля с другими азербайджанскими городами. Так, то, что Джума-мечеть находится рядом с главной рыночной площадью города, это было одной из архитектурных особенностей других азербайджанских городов того времени. Из плана в архиве видно, что город Гянджа занимает большую территорию. Также видно, что оборонительная крепость, окружающая город Гянджа, является укрепленным военным сооружением. В плане упоминалось, что Гянджинская крепость была построена в форме шестиконечного угла и имела трое главных въездных ворот.

Помимо города Гянджи, в фондах архива имеются также документы, отражающие его политическое положение. Эти документы связаны с Гянджинским ханством. Документы позволяют оценить политическое значение Гянджинского ханства на Кавказе в то время. Помимо официальной государственной переписки в архиве, ценными историческими источниками можно считать также сводки и описания. В этом отношении одним из интереснейших документов по истории Гянджинского ханства, хранящихся в Российском государственном военно-историческом архиве, является 23-страничное сочинение Степана Бурнашева, полковника и шпиона царской армии, изданное в Курске в 1793 году. Его труд называется «Описание азербайджанских провинций в Персии и их политического положения». Отметим, что в архиве хранится большое количество донесений и писем Степана Бурнашева, работавшего и военным представителем, и шпионом в Тифлисе. Из этих документов, подписанных Бурнашевым, можно получить сведения о политическом и экономическом положении всего Азербайджана, включая Гянджинское ханство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой опубликованной работе Бурнашев дает общие сведения об азербайджанских ханствах и важных политических силах. Степан Бурнашев пишет, что земля, называемая Азербайджаном, граничит с Картли-Кахетинским царством с севера, Каспийским морем и провинцией Гилян с востока и Османской империей с запада [5, с. 204]. С. Бурнашев упоминает в своем описании название Гянджинского ханства и утверждает, что его столица Гянджа является крупным торговым городом. Он сообщает, что за Гянджу боролись Ибрагимхалил-хан Шушинский и Ираклий II, царь Картли-Кахети. Однако он пишет, что Гянджа сопротивлялась этому и в конце концов власть в ханстве взял Джавад-хан. Бурнашев пишет, что в городе Гяндже и его окрестностях проживает 3000 тысяч семей. Помимо того, что город был поселением крупных купцов, он отмечает, что торговля Тбилиси с Ираном и Индией осуществлялась через Гянджу. Он пишет, что Гянджа была столицей Карабахского бейлярбекства и что Газах, Шамшадиль и Шамкир подчинялись ей [4, с. 209-210].

Сравнивая записи С. Бурнашева с другими документами архива, можно увидеть, что в Гянджинском ханстве была развита как экономическая жизнь, так и торговля. Так, в русских источниках указывается, что Джавад-хан имел в Гянджинском ханстве 10 искусственных каналов [6, с. 11]. В документах также упоминается, что Гянджинское ханство административно делится на 5 округов [7, с. 61]. О том, что Гянджа является одним из крупных торговых центров Южного Кавказа, свидетельствует тот факт, что на ее рынках регулярно можно было встретить русских купцов. Город Кизляр на Северном Кавказе считался самым оживленным торговым центром Кавказского региона с Россией. Здесь вели взаимную торговлю русские, азербайджанские, грузинские и дагестанские купцы. Товары из России отправлялись в Шемаху, Шеки, Кубу, Гянджу, Карабах и Грузию через

Кизляр и Дербенд [6, с. 24]. По этой причине на рынках Гянджи наряду с товарами из стран Востока можно было найти и русские товары. На рынках Гянджи продаются русские товары, такие как меха, мед, воск, ткани, бархат и т. д. Также через Кизляр продавались гянджинские товары на ярмарки Москвы и Нижнего Новгорода [8].

Особое место города Гянджа в южнокавказской политике России было связано не только с торговыми интересами. В связи со стремлением захватить Южный Кавказ ханство постоянно находилось в центре внимания российских властей. Таким образом, город Гянджа был одним из главных торговых и производственных центров экономически возрождающегося региона, начиная с середины XVIII века.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мустафазаде, Т.Т. 2018. Россия и Азербайджанские ханства во второй половине XVIII-XIX веков (Сборник документов). Т.1 (1751-1775 гг.). Баку: Турхан ИПО. 337 с.
2. План Гянджинской крепости // Российский Государственный Военно-Исторический Архив. Ф. 349, оп. 12, д. 6055, л. 78-83.
3. Mustafazadə, T.T. 2013. Azərbaycan-Rusiya münasibətləri XVIII əsrin ikinci yarısı – XIX əsrin əvvəllərində. Bakı: "Şərq-Qərb". 528 s.
4. Саламзаде, А. 1964. Архитектура Азербайджана XVI-XIX вв. Баку: Издательство Академии Наук Азербайджанской ССР. 253 с.
5. Мустафазаде, Т.Т. 2020. Россия и Азербайджанские ханства во второй половине XVIII-XIX веков (Сборник документов). Т.2 (1776-1800 гг.). Баку: Турхан ИПО. 568 с.
6. Мустафаев, Дж. 1989. Северные ханства Азербайджана и Россия (конец XVIII-начало XIX в). Баку: Элм. 126 с.
7. Рапорт Его светлости командующему войсками в Крыму и южных губерниях расположенными и флотами на Черном и Каспийском морях генералу и ковалеру князю Григорью Александровичу Потемкину // Российский Государственный Военно-Исторический Архив. Ф. 52, оп. 1/194, д. 281, л. 61.
8. Высокородному и высокопревосходителному господину генерал-порутчику действительному кемергеру и лестных орденов кавалеру Павлу Сергеевичу Потемкину рапорт. Получено ноября 21 дня 1783 г. // Российский Государственный Военно-Исторический Архив. Фонд 52 оп. 1, д. 286, л. 60.

REGİONAL İNTEGRASİYA NƏZƏRİYYƏLƏRİ VƏ CƏNUBI QAFQAZIN TƏHLÜKƏSIZLIK-ƏMƏKDAŞLIQ PERSPEKTİVLƏRİ (THEORIES OF REGIONAL INTEGRATION AND SECURITY–COOPERATION PROSPECTS OF THE SOUTH CAUCASUS)

VUQAR HASANLI
Master's Student (2nd Year), World Politics
Baku Engineering University
vuqar.hasanli2655@gmail.com
BAKU, AZERBAIJAN

Xülasə: Bu məqalədə Cənubi Qafqaz regionunun təhlükəsizlik və əməkdaşlıq perspektivləri regional inteqrasiya nəzəriyyələri – neofunksionalizm, regional təhlükəsizlik kompleksləri, yeni regionalizm və qarşılıqlı asılılıq yanaşmaları – əsasında müqayisəli şəkildə təhlil edilir. Tədqiqat göstərir ki, regionun inteqrasiya potensialı yüksək olsa da, Ermənistan–Azərbaycan münaqişəsinin tarixi irsi, xarici güclərin geosiyasi rəqabəti və dövlətlərarası siyasi etimadsızlıq inteqrasiyanın dərinləşməsini məhdudlaşdırır. Bununla yanaşı, Azərbaycan–Gürcüstan–Türkiyə xətti üzrə enerji və logistika əməkdaşlığı, habelə Orta Dəhliz və digər kommunikasiya layihələri iqtisadi inteqrasiyanın real və dinamik nümunələrini formalaşdırır.2020-ci ildən sonra yaranmış yeni regional reallıqlar – Zəngəzur dəhlizi, 3+3 platforması və kommunikasiya xətlərinin bərpası – regional əməkdaşlıq üçün mühüm imkanlar açmışdır. Analiz göstərir ki, Cənubi Qafqazda tam siyasi inteqrasiya yaxın perspektivdə mümkün olmasa da, sektorlar üzrə mərhələli əməkdaşlıq və iqtisadi qarşılıqlı asılılıq mexanizmləri regionda sabitliyi gücləndirə bilər. Məqalənin nəticəsi olaraq müəyyən edilir ki, regionun uzunmüddətli inkişafı üçün ən optimal model çevik əməkdaşlıq formatlarının, nəqliyyat və enerji layihələrinin genişləndirilməsinin və çoxtərəfli diplomatik təşəbbüslərin sintezidir.

Açar sözlər: *Cənubi Qafqaz, regional inteqrasiya, təhlükəsizlik, əməkdaşlıq, yeni regionalizm, qarşılıqlı asılılıq*

THEORIES OF REGIONAL INTEGRATION AND SECURITY–COOPERATION PROSPECTS OF THE SOUTH CAUCASUS

VUQAR HASANLI
Master's Student (2nd Year), World Politics
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
vuqar.hasanli2655@gmail.com

Abstract: This article provides a comparative analysis of the security and cooperation prospects of the South Caucasus region based on key regional integration theories, including neofunctionalism, regional security complexes, new regionalism, and interdependence approaches. The study demonstrates that although the region possesses significant integration potential, the deep-rooted legacy of the Armenia–Azerbaijan conflict, geopolitical competition among external powers, and the lack of political trust between states significantly constrain the deepening of integration processes. At the same time, energy and logistics cooperation along the Azerbaijan–Georgia–Türkiye axis, as well as initiatives such as the Middle Corridor and other communication projects, represent dynamic and practical examples of economic integration. The new regional realities that emerged after 2020 – including the Zangezur corridor, the "3+3" platform, and the restoration of communication lines – have created important opportunities for regional cooperation. The analysis indicates that while full political integration in the South Caucasus is unlikely in the near future, gradual sectoral cooperation and mechanisms of economic interdependence can contribute to strengthening regional stability. As a result, the article concludes that the most optimal model for the long-term development of the region is a synthesis of flexible cooperation formats, expansion of transport and energy projects, and multilateral diplomatic initiatives.
Keywords: *South Caucasus, regional integration, security, cooperation, new regionalism, interdependence*

GİRİŞ

Cənubi Qafqaz regionu geosiyasi yerləşməsi, enerji resursları, nəqliyyat-kommunikasiya dəhlizləri və mürəkkəb təhlükəsizlik mühiti ilə beynəlxalq münasibətlər sistemində xüsusi strateji əhəmiyyətə malikdir. Qlobal və regional güclərin – xüsusilə Rusiya, Türkiyə, İran və Avropa İttifaqının – regiondakı maraqlarının kəsişməsi Cənubi Qafqazı həm rəqabət meydanına, həm də potensial əməkdaşlıq platformasına çevirir ki, bu da inteqrasiya nəzəriyyələrinin tətbiqini zəruri edir [1]; [5].

Regional inteqrasiya nəzəriyyələri – neofunksionalizm, qarşılıqlı asılılıq, regional təhlükəsizlik kompleksləri və yeni regionalizm – Cənubi Qafqaz ölkələri arasında siyasi, iqtisadi və təhlükəsizlik əməkdaşlığının formalaşmasını izah edən mühüm analitik çərçivələrdir. Neofunksionalizmə görə iqtisadi inteqrasiya siyasi yaxınlaşmanı stimullaşdırır, lakin Cənubi Qafqazda davam edən münaqişə irsi və geosiyasi rəqabət bu mexanizmin məhdud fəaliyyətinə səbəb olur [3]; [4].

Regional təhlükəsizlik kompleksləri yanaşması regionun təhlükəsizlik arxitekturasının əsasən kənar aktorlar tərəfindən formalaşdırıldığını vurğulayır və Cənubi Qafqazı Şərqi Avropa, Yaxın Şərq və Mərkəzi Asiya arasında yerləşən təhlükəsizlik qovşağı kimi qiymətləndirir [6]; [9]. Bu yanaşmaya görə, regiondaxili əməkdaşlığın gücləndirilməsi üçün ilk növbədə geosiyasi rəqabətin idarəolunması tələb olunur.

Yeni regionalizm yanaşması isə qlobal trendlərin təsiri altında qeyri-formal, çevik və çoxvektorlu əməkdaşlıq formatlarının – Zəngəzur dəhlizi, 3+3 regional platforması, Transxəzər enerji layihələri – real inteqrasiya perspektivi yaratdığını göstərir [11]; [15].

Müasir şəraitdə Cənubi Qafqazda təhlükəsizlik və əməkdaşlıq perspektivləri yalnız hərbi-siyasi amillərlə deyil, həm də iqtisadi qarşılıqlı asılılıq, regional kommunikasiya layihələri, institusional əməkdaşlıq imkanları və post-münaqişə reallıqları ilə müəyyən olunur. Bu baxımdan regionun inkişaf istiqamətlərinin inteqrasiya nəzəriyyələri kontekstində müqayisəli təhlili elmi və praktiki baxımdan aktualdır.

1. ƏDƏBİYYAT İCMALI: TƏDQİQATIN NƏZƏRİ ƏSASLARI

Regional inteqrasiya və təhlükəsizlik nəzəriyyələri üzrə aparılmış geniş tədqiqatlar Cənubi Qafqazın geosiyasi, iqtisadi və institusional transformasiyasının izahında əsas analitik baza rolunu oynayır. Klassik regionalizm nəzəriyyəsi dövlətlərin müəyyən coğrafi məkanda qarşılıqlı maraqlar əsasında inteqrasiya etməsinin tarixi və siyasi əsaslarını açıqlayır və Cənubi Qafqazın spesifik təhlükəsizlik dinamikasının izahında mühüm nəzəri çərçivə yaradır [5]. Fawcett-in yanaşması regionalizmin təkamülünü, onun dövlətlərarası əməkdaşlığa təsir mexanizmini və müasir dövrdə yeni formalarını sistemləşdirir ki, bu da Cənubi Qafqazda formalaşan əməkdaşlıq modellərinin qiymətləndirilməsi üçün nəzəri baza kimi çıxış edir [5].

Neofunksionalizm nəzəriyyəsi regional inteqrasiyanın iqtisadi sahələrdən siyasi sferaya doğru "spill-over" effekti yaratdığını vurğulayır. Bu baxışa görə, iqtisadi əməkdaşlığın dərinləşməsi siyasi yaxınlaşmanı stimullaşdırır və yeni institusional strukturların formalaşmasına təkan verir [1]; [10]. Lakin Cənubi Qafqazda davam edən münaqişələr və geosiyasi rəqabət neofunksionalist inteqrasiya modelinin tam reallaşmasını əngəlləyir.

Başqa bir mühüm istiqamət regional təhlükəsizlik kompleksləri nəzəriyyəsidir. Buzan və Wæver bu modeldə təhlükəsizlik qarşılıqlı asılılığının coğrafi regionlar üzrə formalaşdığını, region daxilində dövlətlərin təhlükəsizlik dilemmasının bir-birinə təsir etdiyini və regional təhlükəsizlik arxitekturasının böyük güclər tərəfindən şəkilləndirildiyini göstərirlər [3]. Cənubi Qafqazda Rusiya, Türkiyə və İranın rolu bu nəzəri çərçivəni daha da aktuallaşdırır [6]; [9].

Yeni regionalizm konsepsiyası qlobal siyasi-iqtisadi proseslərin təsiri altında çevik, çoxsəviyyəli və qeyri-institusional əməkdaşlıq formatlarının ortaya çıxdığını vurğulayır [14]. Bu xüsusilə Cənubi Qafqazda 3+3 platforması, nəqliyyat koridorları və enerji layihələri kimi təşəbbüslərin formalaşmasını izah edir [11]; [15].

Bununla yanaşı, insan təhlükəsizliyi və iqtisadi qarşılıqlı asılılıq yanaşmaları regionda təhlükəsizlik və əməkdaşlıq mühitinin transformasiyasını daha geniş sosial-iqtisadi müstəvidə araşdırmağa imkan verir [12]. Bu modellərə görə iqtisadi əlaqələrin artması münaqişə risklərini azalda və qarşılıqlı etimadı gücləndirə bilər [8].

Ümumilikdə ədəbiyyatın təhlili göstərir ki, Cənubi Qafqazın təhlükəsizlik və əməkdaşlıq perspektivləri çoxsəviyyəli regional inteqrasiya nəzəriyyələrinin sintez edilmiş yanaşması əsasında izah oluna bilər. Mövcud tədqiqatlar həm region daxilində siyasi sabitlik, həm də xarici aktorların təsiri fonunda yeni əməkdaşlıq formatlarının formalaşdığını təsdiq edir.

2. METODOLOGİYA

Bu tədqiqat Cənubi Qafqaz regionunun təhlükəsizlik və əməkdaşlıq perspektivlərini regional inteqrasiya nəzəriyyələri əsasında müqayisəli şəkildə təhlil etməyi hədəflədiyi üçün metodologiya həm nəzəri, həm də analitik yanaşmaların kombinasiyasına əsaslanır. İlk olaraq, mövcud elmi mənbələr üzrə geniş ədəbiyyat icmalı aparılmış, regionalizm, neofunksionalizm, təhlükəsizlik kompleksləri və yeni regionalizm yanaşmalarını izah edən klassik və müasir tədqiqatlar sistemləşdirilmişdir [1]; [3]; [5]. Bu, regionun geosiyasi və institusional dinamikasının nəzəri təməllərini müəyyən etməyə imkan vermişdir.

Araşdırmada müqayisəli təhlil metodu əsas metod kimi tətbiq olunur. Bu metod vasitəsilə Cənubi Qafqaz ölkələrinin (Azərbaycan, Gürcüstan, Ermənistan) təhlükəsizlik mühiti, iqtisadi əməkdaşlıq səviyyəsi və inteqrasiya potensialı müxtəlif nəzəri modellərə uyğun olaraq müqayisə edilir. Müqayisə zamanı dövlətlərin regional və qlobal güclərlə münasibətləri, nəqliyyat və enerji layihələrində iştirak səviyyələri, həmçinin post-münaqişə reallıqları nəzərə alınmışdır [6]; [11].

Tədqiqat həmçinin analitik-sintez metodundan istifadə edir. Bu yanaşma ədəbiyyatda təqdim edilən nəzəri modellərin Cənubi Qafqaz reallığına uyğunluğunu qiymətləndirməyə və region üçün ən uyğun inteqrasiya çərçivələrini müəyyənləşdirməyə imkan verir [12]; [15].

Metodologiyanın digər elementini deskriptiv (təsviri) yanaşma təşkil edir. Regionda 2020-ci ildən sonra formalaşan yeni siyasi vəziyyət, kommunikasiya dəhlizləri, əməkdaşlıq platformaları və təhlükəsizlik arxitekturası faktoloji məlumatlar əsasında təsvir və izah olunur. Bu, nəzəri modellərin praktiki proseslərlə əlaqələndirilməsini təmin edir.

Nəticə olaraq, seçilmiş metodologiya regional inteqrasiya nəzəriyyələrinin Cənubi Qafqaz kontekstinə tətbiqini həm nəzəri cəhətdən əsaslandırmağa, həm də real prosesləri müqayisəli şəkildə qiymətləndirməyə imkan verir.

Cənubi Qafqaz regionunda təhlükəsizlik və əməkdaşlıq proseslərinin təhlili göstərir ki, bölgədə inteqrasiya potensialı mövcud olsa da, tarixi münaqişələr, geosiyasi rəqabət və institusional boşluqlar regional əməkdaşlığın dərinləşməsini məhdudlaşdırır. Neofunksionalist nəzəriyyənin iddia etdiyi kimi iqtisadi əməkdaşlıq siyasi yaxınlaşmanı stimullaşdıra bilər, lakin Cənubi Qafqazda siyasi münasibətlərin gərginliyi bu mexanizmin səmərəliliyini zəiflədir [1]. Xüsusilə Ermənistan–Azərbaycan münaqişəsinin uzun illər davam etməsi iqtisadi inteqrasiyanın qarşısını alan əsas maneələrdən biri kimi çıxış etmişdir.

Regional təhlükəsizlik kompleksləri nəzəriyyəsi regionun təhlükəsizlik arxitekturasının xarici güclər tərəfindən formalaşdığını vurğulayır və bu müşahidə Cənubi Qafqaz üçün tamamilə səciyyəvidir. Rusiya, Türkiyə və İran regionun təhlükəsizlik balansında həlledici aktorlar olaraq çıxış edir və onların rəqabəti regional sabitliyi birbaşa müəyyən edir [3]; [6]. Bu səbəbdən daxili əməkdaşlıq təşəbbüslərinin effektliyi çoxtərəfli geopolitik təsirlərdən asılı vəziyyətdə qalır.

Yeni regionalizm və qarşılıqlı asılılıq yanaşmaları isə göstərir ki, enerji və nəqliyyat layihələri kimi iqtisadi əlaqələr bölgədə müəyyən dərəcədə əməkdaşlıq imkanları yaradır. Azərbaycan-Gürcüstan-Türkiyə enerji marşrutları, Transxəzər və Orta Dəhliz kimi təşəbbüslər regional inteqrasiyanın real praktiki nümunələridir [11]. Bu layihələr regional sabitliyin iqtisadi əsaslarının güclənməsinə töhfə verir, lakin Ermənistanın bu layihələrdən kənarda qalması inteqrasiyanın tam regional xarakter almasına mane olur.

Təhlil həmçinin göstərir ki, post-2020 dövrü Cənubi Qafqazda əməkdaşlıq üçün yeni imkanlar açmışdır. 3+3 regional formatı, kommunikasiyaların açılması barədə razılaşmalar və yeni təhlükəsizlik təşəbbüsləri regionda qarşılıqlı etimadın artmasına xidmət edə bilər [15]. Bununla yanaşı, davam edən siyasi etimadsızlıq, kənar güclərin rəqabəti və Ermənistan–Azərbaycan münasibətlərindəki həssas məqamlar əməkdaşlıq prosesinin davamlılığını sual altında saxlayır.

3. TƏHLİL VƏ NƏTİCƏLƏR

Cənubi Qafqaz regionu üzrə aparılan müqayisəli təhlil göstərir ki, təhlükəsizlik, əməkdaşlıq və inteqrasiya imkanları müxtəlif nəzəri yanaşmalar çərçivəsində fərqli dəyərləndirilir. Aşağıda bu yanaşmaların əsas istiqamətləri üzrə tabeliyə əsaslanan ümumiləşdirilmiş nəticələr verilir.

CƏDVƏL 1. Regional İntegrasiya Nəzəriyyələrinin Cənubi Qafqaz üzrə tətbiq imkanları

Nəzəri Model	Əsas Məntiq	Cənubi Qafqaz üçün Uyğunluq	Məhdudiyyətlər
Neofunksionalizm	İqtisadi inteqrasiya siyasi yaxınlaşmanı artırır	Enerji və tranzit layihələri ilə qismən uyğundur	Münaqişə irsi və siyasi gərginlik
Regional Təhlükəsizlik Kompleksləri	Təhlükəsizlik coğrafi regionlarda formalaşır	Region böyük güclərin təsir dairəsindədir	Xarici aktorların rəqabəti daxili inteqrasiyanı zəiflədir
Yeni Regionalizm	Çevik, çoxsəviyyəli əməkdaşlıq	3+3 formatı və Orta Dəhliz kimi təşəbbüslərə uyğundur	Ermənistanın proseslərdən kənarda qalması
Qarşılıqlı Asılılıq	İqtisadi əlaqələr riskləri azaldır	Azərbaycan–Gürcüstan xətti üzrə əməkdaşlıq güclüdür	Üç ölkə arasında balanslı iqtisadi birlik yoxdur

Bu cədvəl göstərir ki, nəzəri modellər Cənubi Qafqazın inteqrasiya proseslərini izah etmək üçün müxtəlif imkanlar yaradır. Lakin regionun siyasi problemləri və xarici təsirlər inteqrasiyanın tam formalaşmasını məhdudlaşdırır. Ən real model sektorlar üzrə çevik əməkdaşlığı nəzərdə tutan yeni regionalizmdir.

CƏDVƏL 2. Cənubi Qafqaz ölkələrinin regional əməkdaşlıq potensialının müqayisəsi

Ölkə	İnteqrasiya Potensialı	Təhlükəsizlik Riskləri	Əməkdaşlıq İmkanları
Azərbaycan	Yüksək – enerji, nəqliyyat, tranzit mövqeyi	Ermənistanla münasibətlər, regional güc rəqabəti	Orta Dəhliz, 3+3, enerji əməkdaşlığı
Gürcüstan	Yüksək – Qərbə inteqrasiya meyli və tranzit rolu	Rusiya ilə siyasi gərginlik	Qara dəniz marşrutları, BTQ xətti
Ermənistan	Aşağı – zəif iqtisadi şəbəkələşmə	Rusiya asılılığı və post-münaqişə vəziyyəti	Normalizasiya danışıqları, kommunikasiya açılması

Cədvəldən görünür ki, Azərbaycan və Gürcüstan əməkdaşlıq üçün yüksək potensiala malikdir. Ermənistanın inteqrasiya imkanları məhduddur, lakin post-2020 dövrü müəyyən yeni fürsətlər yaradır. Regionun tam inteqrasiyası Ermənistanın iqtisadi və siyasi açıqlığından asılı olacaqdır.

CƏDVƏL 3. 2020-dən sonra Cənubi Qafqazda yeni regional reallıqlar

Yeni Amillər	Təsviri	Regional Təsiri
Kommunikasiyaların açılması	Zəngəzur dəhlizi və yeni xəttlərin nəzərdə tutulması	Regional ticarəti və logistik inteqrasiyanı gücləndirir
3+3 formatı	Region + qonşu güclərin dialoq platforması	Təhlükəsizlik məsələlərinin çoxtərəfli həlli
Enerji və logistika layihələri	Transxəzər, Orta Dəhliz	Regionun qlobal şəbəkələrə inteqrasiyasını artırır
Post-münaqişə transformasiyası	Qarabağ sonrası yeni siyasi vəziyyət	Uzunmüddətli əməkdaşlıq üçün yeni imkanlar

Bu cədvəl göstərir ki, 2020-dən sonra region üçün yeni əməkdaşlıq imkanları yaranmışdır. Xüsusilə kommunikasiya və tranzit dəhlizlərinin açılması Cənubi Qafqazda iqtisadi inteqrasiyanın ən real istiqamətidir. Lakin regional aktorlar arasında etimadsızlıq hələ də davam edir.

Cənubi Qafqazın təhlükəsizlik və əməkdaşlıq sisteminin inkişafı regional inteqrasiya nəzəriyyələrinin müxtəlif aspektlərini əks etdirir və bu nəzəri yanaşmaların hər biri regionun mövcud reallıqlarını izah etməkdə müəyyən üstünlüklər və məhdudiyyətlər təqdim edir. Ədəbiyyatın analizi göstərir ki, inteqrasiya modellərinin tətbiqi yalnız iqtisadi amillərlə deyil, həm də geopolitik, institusional və təhlükəsizlik şərtləri ilə sıx bağlıdır [1]; [5].

Neofunksionalist yanaşma bir çox regionlarda siyasi inteqrasiyanın iqtisadi əməkdaşlıqdan qaynaqlandığını vurğulasa da, Cənubi Qafqazda bu mexanizm tam işləmir. Çünki regionda siyasi etimadsızlıq, Ermənistan–Azərbaycan münaqişəsinin uzunmüddətli təsirləri və Ermənistanın bir sıra regional layihələrdən kənarda qalması iqtisadi əməkdaşlığın siyasi inteqrasiyaya çevrilməsinə mane olur [1]. Bununla yanaşı, Azərbaycan–Gürcüstan–Türkiyə xətti üzrə enerji və nəqliyyat əməkdaşlığının güclənməsi bu nəzəriyyənin qismən gerçəkləşdiyini göstərir [11].

Regional təhlükəsizlik kompleksləri nəzəriyyəsi Cənubi Qafqazın siyasi reallıqlarını daha dəqiq izah edən əsas model kimi çıxış edir. Buzan və Wæver-in yanaşmasına görə, təhlükəsizlik prioritetləri region daxilində qarşılıqlı təsirlənən aktiv aktorlar sistemindən asılıdır və burada xarici güclərin – Rusiya, Türkiyə və İranın – rolu həlledicidir [3]. Bu çərçivə regionun təhlükəsizlik arxitekturasının əsasən kənar aktorlar tərəfindən müəyyənləşdirildiyini təsdiqləyir və 2020-dən sonrakı proseslər bu təsirin daha da gücləndiyini göstərir [6]; [9]. Bu baxımdan, Cənubi Qafqaz daxilində qərarların müstəqil inteqrasiya mexanizminə çevrilməsi çətinləşir.

Yeni regionalizm konsepsiyası qlobal siyasi-iqtisadi şəraitin dəyişməsi fonunda daha çevik və çoxsəviyyəli əməkdaşlıq modellərinin yayılmasını nəzərdə tutur. Bu nəzəriyyə Cənubi Qafqaz üçün ən praktik və reallaşdırılması mümkün çərçivə kimi görünür [14]. 3+3 formatı, Orta Dəhliz, Transxəzər enerji layihələri və nəqliyyat koridorlarının açılması regionda yeni iqtisadi və təhlükəsizlik konfiqurasiyası formalaşdırmaq potensialına malikdir [15]. Bu əməkdaşlıq formatları həm regional sabitliyi, həm də iqtisadi inteqrasiyanı təşviq edə bilər.

Qarşılıqlı asılılıq nəzəriyyəsi də Cənubi Qafqaz üçün əhəmiyyətli izah qrupu təşkil edir. Bu modelə görə, iqtisadi əlaqələrin genişlənməsi münaqişə risklərini azalda, qarşılıqlı etimadı möhkəmləndirə və sabitlik üçün zəmin yarada bilər [12]. Azərbaycan və Gürcüstan arasında formalaşmış enerji marşrutları – Bakı–Tbilisi–Ceyhan, Bakı–Tbilisi–Ərzurum və Bakı–Tbilisi–Qars – regionda iqtisadi qarşılıqlı asılılığın real praktiki nümunələridir [8]. Lakin Ermənistanın bu mexanizmlərin xaricində qalması inteqrasiya prosesinin tam şəkildə inkişafını çətinləşdirir.

Post-2020 regional reallıqlar müzakirəni daha da aktuallaşdırır. Qarabağ münaqişəsinin başa çatması regionda yeni əməkdaşlıq imkanları formalaşdırmışdır. Kommunikasiyaların açılması, Zəngəzur dəhlizi və çoxvektorlu diplomatik platformalar Cənubi Qafqazda uzunmüddətli iqtisadi inteqrasiya üçün ciddi potensial yaradır [11]; [15]. Bununla belə, Ermənistanın daxili siyasi qeyri-sabitliyi, Rusiya–Qərb münasibətlərinin gərginliyi və İranın regiona münasibəti əməkdaşlıq proseslərinə təsir edən mühüm amillər olaraq qalır.

Ümumilikdə müzakirə göstərir ki, Cənubi Qafqaz regionunda təhlükəsizlik və əməkdaşlıq modelinin formalaşması üçün ən uyğun yanaşma yeni regionalizm və qarşılıqlı asılılıq nəzəriyyələrinin sintezidir. Bu model həm iqtisadi əməkdaşlığın reallığını, həm də post-münaqişə dövrünün yaratdığı yeni imkanları nəzərə alır. Tamhəcmli siyasi inteqrasiya hələlik mümkün görünməsə də, mərhələli, sektorlar üzrə və çoxtərəfli əməkdaşlıq regionun inkişafı üçün ən real istiqamət olaraq qalır.

NƏTİCƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, Cənubi Qafqazın təhlükəsizlik və əməkdaşlıq arxitekturası çoxfaktorlu, mürəkkəb və dəyişkən geosiyasi şərtlər fonunda formalaşır. Regional inteqrasiya nəzəriyyələrinin – neofunksionalizm, regional təhlükəsizlik kompleksləri, yeni regionalizm və qarşılıqlı asılılıq yanaşmalarının – müqayisəli tətbiqi regionda həm inteqrasiya imkanlarını, həm də struktur məhdudiyyətləri aydın şəkildə ortaya qoyur. Neofunksionalist modelə əsasən iqtisadi əməkdaşlığın siyasi yaxınlaşmaya təkan verə biləcəyi qəbul edilsə də, Cənubi Qafqazda münaqişə irsi, Ermənistan–Azərbaycan münasibətlərinin keçmiş gərginlikləri və regional güclərin rəqabəti bu mexanizmin tam gücü ilə işləməsinə mane olmuşdur. Bununla yanaşı, Azərbaycan–Gürcüstan–Türkiyə xətti üzrə enerji və nəqliyyat layihələrinin uğurlu fəaliyyəti iqtisadi inteqrasiyanın seçilmiş sahələrdə real nəticələr verdiyini təsdiq edir.

Regional təhlükəsizlik kompleksləri nəzəriyyəsi regionun təhlükəsizlik reallığını ən dəqiq izah edən çərçivə kimi çıxış edir. Cənubi Qafqazın təhlükəsizliyi Rusiya, Türkiyə və İranın maraqlarının kəsişmə nöqtəsində formalaşır və bu, regiondaxili inteqrasiyanın xarici aktorların təsirindən asılı olmasına gətirib çıxarır. Bu xüsusiyyət regional əməkdaşlıq təşəbbüslərinin davamlılığını müəyyən edən əsas amillərdəndir.

Yeni regionalizm yanaşması göstərir ki, post-2020 dövrü region üçün çevik əməkdaşlıq formatlarının genişlənməsi baxımından yeni imkanlar yaratmışdır. 3+3 platforması, Orta Dəhliz, Transxəzər əməkdaşlığı, həmçinin kommunikasiya dəhlizlərinin açılması Cənubi Qafqazda iqtisadi inteqrasiyanın ən real

istiqamətləri kimi formalaşmaqdadır. Bu layihələr regionu qlobal ticarət və enerji xəritəsində daha mühüm mərkəzə çevirə bilər.

Qarşılıqlı asılılıq nəzəriyyəsinin tətbiqi də təsdiq edir ki, enerji, logistika və nəqliyyat sahələrində inteqrasiya regionda sabitliyi möhkəmləndirə bilər. Azərbaycan və Gürcüstan arasında formalaşmış iqtisadi əməkdaşlıq modelinin genişlənməsi, Ermənistanın da bu layihələrə mərhələli şəkildə qoşulması regionda uzunmüddətli sülh və tərəfdaşlıq üçün əsas baza ola bilər.

Ümumilikdə araşdırmanın nəticələri göstərir ki, Cənubi Qafqazda tamhəcmli siyasi inteqrasiya hələlik real perspektiv kimi görünmür. Lakin sektorlar üzrə mərhələli əməkdaşlıq, nəqliyyat-kommunikasiya xətlərinin bərpası, iqtisadi qarşılıqlı asılılığın artırılması və çoxtərəfli diplomatik platformaların inkişafı region üçün optimal inkişaf modelidir. Bu yanaşma həm təhlükəsizlik risklərini azalda, həm sosial-iqtisadi tərəqqini sürətləndirə, həm də regiondakı dövlətlər arasında qarşılıqlı etimadın formalaşmasına şərait yarada bilər.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1. Acharya, A. (2016). Regionalism beyond EU-centrism. *International Studies Quarterly*, 60(4), 647–659. https://doi.org/10.1093/isq/sqw036
2. Akgül, A. (2021). Security dynamics in the South Caucasus after the 2020 conflict. *Journal of Eurasian Studies*, 12(2), 113–125. https://doi.org/10.1177/18793665211035690
3. Buzan, B., & Wæver, O. (2003). *Regions and powers: The structure of international security*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511491252
4. Delcour, L., & Wolczuk, K. (2015). The EU's Eastern Partnership: normative or geopolitical power? *Geopolitics*, 20(1), 88–111. https://doi.org/10.1080/14650045.2014.913029
5. Fawcett, L. (2013). The history and concept of regionalism. *The International Spectator*, 48(1), 15–30. https://doi.org/10.1080/03932729.2013.747425
6. Giragosian, R. (2020). Geopolitical shifts in the South Caucasus: Challenges and opportunities. *Caucasus Survey*, 8(2), 95–110. https://doi.org/10.1080/23761199.2020.1750916
7. Hale, H. (2015). Patronal politics and regional integration in Eurasia. *Perspectives on Politics*, 13(2), 345–369. https://doi.org/10.1017/S1537592715000044
8. Ismailzade, F., & Papava, V. (2021). The changing security environment in the South Caucasus. *Central Asia and the Caucasus*, 22(3), 45–55. https://doi.org/10.29252/cac.22.3.45
9. Kobrinskaya, I. (2019). Russia's policy in the South Caucasus: Between geopolitics and pragmatism. *Journal of Eurasian Studies*, 10(1), 79–88. https://doi.org/10.1177/1879366518814663
10. Libman, A., & Vinokurov, E. (2018). *Eurasian Economic Union: Integration approaches and impacts*. Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55202-8
11. Mirzayev, E. (2022). Post-war regional cooperation prospects in the South Caucasus. *Caucasus Survey*, 10(1), 1–15. https://doi.org/10.1080/23761199.2021.2020784
12. Newman, E. (2016). Human security and regionalism: A critical reappraisal. *Global Society*, 30(3), 369–385. https://doi.org/10.1080/13600826.2016.1173014
13. Paul, T. V. (2012). International institutions and regional security complexes. *International Relations*, 26(1), 3–22. https://doi.org/10.1177/0047117811430868
14. Simão, L. (2018). The EU, Russia and the South Caucasus: Forging a new engagement strategy. *Europe-Asia Studies*, 70(10), 1581–1599. https://doi.org/10.1080/09668136.2018.1515349
15. Yılmaz, S. (2021). Regional cooperation and connectivity in the South Caucasus: New opportunities after the 2020 conflict. *Journal of Balkan and Near Eastern Studies*, 23(5), 789–804. https://doi.org/10.1080/19448953.2021.1957028

ZƏNGƏZUR DƏHLİZİ LAYİHƏSİNDƏ AZƏRBAYCANIN GEOSİYASİ VƏ İQTİSADİ MARAQLARI

EMIN HƏSƏNLI
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi
Dövlət və bədəliyyə idarıetməsi kafedrası
eminhesenli05@gmail.com
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ: Məqalədə Cənubi Qafqaz regionunda nəqliyyat-kommunikasiya layihələrinin geosiyasi və iqtisadi əhəmiyyəti kontekstində Zəngəzur dəhlizi layihəsi təhlil edilmişdir. Tədqiqatda bu layihənin Azərbaycanın milli maraqları baxımından strateji əhəmiyyəti, xüsusilə ölkənin əsas hissəsi ilə Naxçıvan Muxtar Respublikası arasında birbaşa quru əlaqəsinin bərpası, regional tranzit potensialının artırılması və beynəlxalq nəqliyyat sistemində Azərbaycanın rolunun gücləndirilməsi kimi məsələlər araşdırılmışdır. Məqalədə Zəngəzur dəhlizinin Orta dəhliz və Transxəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutu ilə əlaqəsi, həmçinin Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu və Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı kimi mövcud nəqliyyat infrastrukturu layihələri ilə qarşılıqlı əlaqəsi konkret faktlar əsasında təhlil edilmişdir. Araşdırmada göstərilir ki, Zəngəzur dəhlizi yalnız regional kommunikasiya layihəsi deyil, həm də Avropa ilə Asiya arasında yeni logistika marşrutlarının formalaşmasına töhfə verən mühüm geosiyasi təşəbbüsdür. Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilir ki, bu layihə Azərbaycanın regional tranzit mərkəzi kimi mövqeyinin möhkəmlənməsinə, iqtisadi inteqrasiyanın genişlənməsinə və ölkənin beynəlxalq siyasi nüfuzunun artmasına mühüm təsir göstərə bilər.
Açar sözlər: Zəngəzur dəhlizi, Cənubi Qafqaz, nəqliyyat dəhlizləri, Orta dəhliz, Transxəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutu.

GİRİŞ

Cənubi Qafqaz regionunda geosiyasi və iqtisadi balansın formalaşmasında nəqliyyat-kommunikasiya layihələri xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Bu kontekstdə Zəngəzur dəhlizi layihəsi regionun gələcək inkişafını müəyyən edə biləcək strateji təşəbbüslərdən biri hesab olunur. Zəngəzur dəhlizi Azərbaycanın əsas hissəsi ilə Naxçıvan Muxtar Respublikası arasında quru əlaqəsinin bərpasını nəzərdə tutan nəqliyyat və logistika marşrutudur. Layihə yalnız iki region arasında kommunikasiya əlaqəsinin yaradılması ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda Cənubi Qafqazın tranzit potensialını artıran və Avropa ilə Asiya arasında yeni nəqliyyat xəttinin formalaşmasına imkan yaradan mühüm geosiyasi təşəbbüs kimi qiymətləndirilir. Azərbaycanın bu layihədə maraqları həm iqtisadi, həm siyasi, həm də strateji təhlükəsizlik aspektlərini əhatə edir.

Zəngəzur dəhlizinin əsas strateji əhəmiyyəti Azərbaycanın ərazi bütövlüyü çərçivəsində ölkənin əsas hissəsi ilə Naxçıvan Muxtar Respublikası arasında birbaşa quru nəqliyyat əlaqəsinin yaradılmasıdır. Sovet İttifaqının dağılmasından sonra Ermənistan tərəfindən Naxçıvanla Azərbaycanın digər bölgələri arasındakı nəqliyyat əlaqələrinin bloklanması regionda ciddi kommunikasiya problemləri yaratmışdır. Nəticədə Naxçıvan Muxtar Respublikası uzun illər ərzində faktiki olaraq blokada şəraitində fəaliyyət göstərmiş və əsasən Türkiyə və İran üzərindən nəqliyyat əlaqələrini təmin etməyə məcbur olmuşdur. Zəngəzur dəhlizinin açılması bu vəziyyəti dəyişdirərək Azərbaycanın ərazi daxilində inteqrasiya səviyyəsini artıracaq və Naxçıvanın sosial-iqtisadi inkişafına yeni imkanlar yaradacaqdır. Bu məsələ 2020-ci il 10 noyabr tarixli üçtərəfli bəyanatda da öz əksini tapmışdır. Həmin sənədin 9-cu bəndinə əsasən regionda bütün iqtisadi və nəqliyyat əlaqələrinin bərpası nəzərdə tutulur və Ermənistan Azərbaycanın qərb rayonları ilə Naxçıvan Muxtar Respublikası arasında nəqliyyat əlaqəsinin təhlükəsizliyini təmin etməlidir (1).

Azərbaycan üçün Zəngəzur dəhlizinin digər mühüm əhəmiyyəti regionun beynəlxalq nəqliyyat və logistika sistemində mövqeyinin gücləndirilməsi ilə bağlıdır. Son illərdə Azərbaycan Avrasiya məkanında tranzit ölkə kimi öz rolunu artırmaq istiqamətində genişmiqyaslı infrastruktur layihələri həyata keçirmişdir. Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu xəttinin istifadəyə verilməsi, Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanının tikintisi və Şərq-Qərb beynəlxalq nəqliyyat dəhlizinin inkişafı bu siyasətin əsas elementlərindən hesab olunur. Zəngəzur dəhlizi bu layihələrin davamı kimi çıxış edərək regionun logistika xəritəsində yeni nəqliyyat marşrutunun formalaşmasına şərait yarada bilər. Bu marşrut vasitəsilə Çin və Mərkəzi Asiya ölkələrindən Avropaya daşınan yüklərin Cənubi Qafqaz üzərindən daha qısa müddətdə çatdırılması mümkün olacaqdır. Dünya Bankının və digər beynəlxalq təşkilatların hesabatlarında qeyd edilir ki, Avropa ilə Asiya arasında yük daşımalarının həcmi hər il artmaqda davam edir və alternativ nəqliyyat marşrutlarının yaradılması qlobal logistika sisteminin inkişafı üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Zəngəzur dəhlizi layihəsi Azərbaycanın iqtisadi maraqları baxımından da böyük potensiala malikdir. Tranzit daşımaların artması ölkənin logistika sektorunun inkişafına və dövlət büdcəsinə əlavə gəlirlərin daxil olmasına şərait yarada bilər. Azərbaycanın nəqliyyat infrastrukturu son illərdə ciddi şəkildə modernləşdirilmiş və regionun əsas logistika mərkəzlərindən birinə çevrilmişdir. Məsələn, Bakı Beynəlxalq

Dəniz Ticarət Limanının ilkin yükötürmə qabiliyyəti ildə 15 milyon ton olaraq müəyyən edilmişdir və gələcəkdə bu göstəricinin 25 milyon tona qədər artırılması planlaşdırılır. Zəngəzur dəhlizinin açılması bu limanın fəaliyyətinin daha da genişlənməsinə və beynəlxalq yük axınının artmasına səbəb ola bilər. Bundan əlavə, layihə regionda yeni sənaye və logistika mərkəzlərinin yaradılmasına, sərmayələrin artmasına və regional iqtisadi inteqrasiyanın güclənməsinə də müsbət təsir göstərə bilər (3,s. 263).

Azərbaycanın bu layihədə maraqlarından biri də Türkiyə ilə strateji əməkdaşlığın daha da gücləndirilməsidir. Zəngəzur dəhlizi Azərbaycan və Türkiyə arasında quru nəqliyyat əlaqəsini təmin edən ən qısa marşrutlardan biri kimi qiymətləndirilir. Bu isə iki ölkə arasında ticarət dövriyyəsinin artmasına və iqtisadi əməkdaşlığın genişlənməsinə şərait yarada bilər. Türkiyə ilə Azərbaycan arasında imzalanmış Şuşa Bəyannaməsi də iki ölkənin nəqliyyat və kommunikasiya layihələri sahəsində əməkdaşlığının genişləndirilməsini nəzərdə tutur (7). Zəngəzur dəhlizi bu baxımdan türk dünyasının iqtisadi inteqrasiyasına da töhfə verə biləcək strateji layihə kimi qiymətləndirilir. Mərkəzi Asiya ölkələrinin Türkiyə və Avropa bazarlarına çıxışı baxımından da bu marşrut yeni imkanlar yarada bilər.

Zəngəzur dəhlizinin geosiyasi əhəmiyyəti Azərbaycanın strateji maraqları baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır və bu layihə yalnız nəqliyyat-kommunikasiya təşəbbüsü deyil, eyni zamanda regional güc balansına təsir göstərə biləcək mühüm geosiyasi layihə kimi qiymətləndirilir. Cənubi Qafqaz tarixən böyük dövlətlərin – Rusiya, Türkiyə, İran, Avropa İttifaqı və son illərdə Çin kimi qlobal aktorların maraqlarının toqquşduğu mühüm geosiyasi məkanlardan biri hesab olunur. Region Avropa ilə Asiyanı birləşdirən strateji nəqliyyat və enerji marşrutlarının üzərində yerləşdiyi üçün burada formalaşan yeni kommunikasiya layihələri yalnız regional deyil, həm də qlobal geosiyasi proseslərə təsir göstərir (2, s.172).

Cədvəl 1. Zəngəzur dəhlizinin geosiyasi əhəmiyyəti və Azərbaycanın maraqları

Geosiyasi istiqamət	Azərbaycanın maraqları	Fakt	Gözlənilən nəticə
Regional nəqliyyat qovşağı rolunun güclənməsi	Azərbaycanın Avrasiya nəqliyyat sistemində əsas tranzit ölkələrdən birinə çevrilməsi	Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu 2017-ci ildə istifadəyə verilmişdir və ilkin yükötürmə qabiliyyəti ildə 6,5 milyon ton təşkil edir, gələcəkdə 17 milyon tona qədər artırılması planlaşdırılır	Azərbaycanın logistika və tranzit mərkəzi kimi mövqeyinin möhkəmlənməsi
Orta dəhlizin inkişafı	Çin–Avropa ticarət marşrutlarında Azərbaycanın rolunun artması	Transxəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutu üzrə yük daşımaları 2021-ci ildə 586 min ton olduğu halda 2023-cü ildə təxminən 2,7 milyon tona çatmışdır	Azərbaycan Avropa ilə Asiya arasında əsas tranzit marşrutlarından birinə çevrilə bilər
Türkiyə ilə strateji əlaqələrin genişlənməsi	Azərbaycan və Türkiyə arasında birbaşa quru nəqliyyat əlaqəsinin formalaşması	Zəngəzur dəhlizi Naxçıvan vasitəsilə Azərbaycanın Türkiyənin Qars bölgəsi ilə birləşməsini təmin edə bilər	Türk dünyasının iqtisadi və logistika inteqrasiyasının güclənməsi
Regional iqtisadi inteqrasiya	Cənubi Qafqaz ölkələri arasında ticarət və nəqliyyat əlaqələrinin genişlənməsi	2020-ci il 10 noyabr üçtərəfli bəyanatında regionda bütün iqtisadi və nəqliyyat əlaqələrinin bərpası nəzərdə tutulur	Regional əməkdaşlıq və iqtisadi qarşılıqlı asılılığın artması
Geosiyasi təsir imkanlarının genişlənməsi	Azərbaycanın regional siyasətdə rolunun və beynəlxalq nüfuzunun artması	Azərbaycan artıq Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı və Şərq–Qərb nəqliyyat dəhlizi kimi layihələr vasitəsilə Avrasiya nəqliyyat sistemində mühüm mövqeyə malikdir	Azərbaycanın geosiyasi və iqtisadi təsir imkanlarının genişlənməsi
Böyük güclərin maraqları fonunda strateji mövqe	Azərbaycanın regional balans siyasətində rolunun güclənməsi	Rusiya, Türkiyə, İran və Avropa İttifaqı Cənubi Qafqazda nəqliyyat layihələrinin inkişafında maraqlı tərəflərdir	Azərbaycan regionda strateji körpü və tranzit platforması rolunu gücləndirir

Mənbə: Aparılmış tədqiqat nəticəsində müəllif tərəfindən tərtib edilmişdir.

Zəngəzur dəhlizi bu baxımdan Avrasiya məkanında formalaşan yeni nəqliyyat və logistika sisteminin mühüm komponentlərindən biri kimi qiymətləndirilir. Xüsusilə son illərdə Çin tərəfindən həyata keçirilən "Bir kəmər – bir yol" təşəbbüsü Avropa ilə Asiya arasında alternativ nəqliyyat marşrutlarının inkişafına böyük təkan vermişdir. Bu təşəbbüs çərçivəsində Orta dəhliz adlanan nəqliyyat marşrutu, Çin, Qazaxıstan,

Xəzər dənizi, Azərbaycan, Gürcüstan və Türkiyə üzərindən Avropaya uzanan logistika xətti getdikcə daha böyük əhəmiyyət qazanır. Zəngəzur dəhlizi məhz bu Orta dəhlizin mühüm elementlərindən biri kimi qiymətləndirilir və onun fəaliyyətə başlaması regionun logistika xəritəsini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirə bilər. Məsələn, Transxəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutu üzrə yük daşımalarının həcmi son illərdə sürətlə artmışdır (6). 2021-ci ildə bu marşrut üzrə daşınan yüklərin həcmi təxminən 586 min ton təşkil etdiyi halda, 2023-cü ildə bu göstərici 2,7 milyon tona yaxınlaşmışdır. Bu artım Cənubi Qafqaz üzərindən keçən alternativ nəqliyyat marşrutlarına beynəlxalq marağın gücləndiyini göstərir (4, s. 45).

Azərbaycan üçün Zəngəzur dəhlizinin geosiyasi əhəmiyyəti həm də ölkənin regional nəqliyyat və logistika mərkəzi kimi mövqeyinin möhkəmləndirilməsi ilə bağlıdır. Son onillikdə Azərbaycan nəqliyyat infrastrukturu sahəsində iri layihələr həyata keçirmişdir. 2017-ci ildə istifadəyə verilmiş Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu xətti Avropa ilə Asiya arasında alternativ nəqliyyat marşrutunun formalaşmasına imkan yaratmışdır. Bu dəmir yolu xəttinin ilkin yükötürmə qabiliyyəti ildə 6,5 milyon ton səviyyəsində müəyyən edilmiş və gələcəkdə bu göstəricinin 17 milyon tona qədər artırılması planlaşdırılmışdır. Zəngəzur dəhlizi bu logistika sisteminə yeni bir istiqamət əlavə etməklə Azərbaycanın regiondakı tranzit imkanlarını daha da genişləndirə bilər (5, s. 126).

Onu da qeyd edək ki, bəzi ekspertlər layihənin həyata keçirilməsi prosesində siyasi və təhlükəsizlik problemlərinin də mövcud olduğunu qeyd edirlər. Ermənistanla Azərbaycan arasında uzun illər davam etmiş münaqişə və regionda mövcud olan geosiyasi maraqlar layihənin reallaşma prosesinə təsir göstərən əsas amillərdən biridir. Bu səbəbdən Zəngəzur dəhlizinin açılması yalnız iqtisadi layihə deyil, həm də kompleks diplomatik və siyasi proses kimi qiymətləndirilir. Layihənin uğurla həyata keçirilməsi üçün region ölkələri arasında etimad mühitinin formalaşdırılması və beynəlxalq əməkdaşlığın gücləndirilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Beləliklə, Zəngəzur dəhlizi layihəsi Azərbaycanın strateji maraqları baxımından çoxşaxəli əhəmiyyətə malikdir. Bu layihə ölkənin ərazi daxilində nəqliyyat əlaqələrinin bərpası, tranzit potensialının artırılması, iqtisadi inkişafın sürətləndirilməsi və regional əməkdaşlığın gücləndirilməsi kimi mühüm məqsədlərə xidmət edir. Eyni zamanda layihə Azərbaycanın beynəlxalq nəqliyyat və logistika sistemində mövqeyinin möhkəmlənməsinə və ölkənin geosiyasi rolunun artmasına da töhfə verə bilər.

NƏTICƏ

Zəngəzur dəhlizi layihəsi Azərbaycanın strateji maraqları baxımından çoxşaxəli əhəmiyyətə malikdir və bu layihə regionun geosiyasi və iqtisadi inkişafında mühüm rol oynaya bilər. Layihənin həyata keçirilməsi Azərbaycanın əsas hissəsi ilə Naxçıvan Muxtar Respublikası arasında birbaşa quru nəqliyyat əlaqəsinin yaradılmasına, region daxilində iqtisadi və kommunikasiya inteqrasiyasının güclənməsinə və ölkənin logistika potensialının genişlənməsinə imkan yarada bilər. Eyni zamanda Zəngəzur dəhlizi Azərbaycanın beynəlxalq nəqliyyat sistemində mövqeyini gücləndirərək Avropa ilə Asiya arasında formalaşan yeni logistika marşrutlarının mühüm elementinə çevrilə bilər. Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu xətti, Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı və Transxəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutu kimi mövcud layihələrlə birlikdə bu dəhliz Azərbaycanın regional tranzit mərkəzi kimi rolunu daha da möhkəmləndirə bilər. Bununla yanaşı, layihənin reallaşması regionda siyasi sabitliyin və iqtisadi əməkdaşlığın güclənməsi baxımından da mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Nəqliyyat əlaqələrinin bərpası region ölkələri arasında iqtisadi qarşılıqlı asılılığı artıraraq əməkdaşlıq imkanlarını genişləndirə bilər. Nəticə etibarilə, Zəngəzur dəhlizi layihəsi Azərbaycanın uzunmüddətli iqtisadi və geosiyasi strategiyasında mühüm yer tutur və onun həyata keçirilməsi ölkənin regional və beynəlxalq səviyyədə mövqeyinin daha da möhkəmlənməsinə xidmət edə bilər.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin rəsmi saytı. (2020). 10 noyabr 2020-ci il tarixli Azərbaycan, Rusiya və Ermənistan liderlərinin üçtərəfli bəyanatı. Bakı.
2. Həsənov, Ə. (2015). Azərbaycanın xarici siyasəti: Avropa dövlətləri və ABŞ (1991–2014). Bakı: Şərq–Qərb nəşriyyatı.
3. Məmmədov, F. (2022). Cənubi Qafqazda nəqliyyat dəhlizləri və regional iqtisadi əməkdaşlıq perspektivləri. Bakı: Elm nəşriyyatı.
4. Cornell, S. E. (2021). The Nagorno-Karabakh Conflict after the 2020 War: Implications for the South Caucasus. Washington: Central Asia-Caucasus Institute.
5. World Bank. (2022). Trade and Transport Connectivity in the South Caucasus. Washington DC.
6. International Transport Forum. (2021). Transport Connectivity in Eurasia. Paris: OECD Publishing.
7. Trans-Caspian International Transport Route Association. (2023). Annual Report on Cargo Transportation along the Middle Corridor.

İMAM MUSTAFAYEV DÖVRÜNDƏ AZƏRBAYCAN SSR-İN İNKİŞAFI (1954–1959)

TURAL HÜSEYNZADƏ
Bakı Slavyan Universiteti
Beynəlxalq Münasibətlər və Regionşünaslıq
Email: turalcomerdoglu@gmail.com
BAKI, AZƏRBAYCAN

Xülasə: XX əsrin ortalarında Azərbaycan tarixi Sovet siyasi sistemi daxilində baş verən mühüm dəyişikliklərlə xarakterizə olunur. Bu dövr həm siyasi, həm iqtisadi, həm də sosial sahələrdə yeniliklərin həyata keçirilməsi ilə yadda qalmışdır. Xüsusilə 1950-ci illərdə Sovet İttifaqında baş verən siyasi dəyişikliklər respublikaların həyatına da ciddi təsir göstərmişdir. Bu dövrdə Azərbaycan SSR-ə rəhbərlik edən əsas siyasi fiqurlardan biri İmam Mustafayev olmuşdur.
1954–1959-cu illərdə Azərbaycan Kommunist Partiyası Mərkəzi Komitəsinin birinci katibi vəzifəsində çalışan İmam Mustafayev respublikanın iqtisadi və ictimai həyatında müəyyən dəyişikliklər həyata keçirmişdir. Onun rəhbərlik etdiyi dövr Sovet İttifaqında başlanan siyasi yumşalma və stalinizmin tənqidi mərhələsinə təsadüf edir.
Açar sözlər: Azərbaycan, İman Mustafayev, Sovet İttifaqı, birinci katib.

THE DEVELOPMENT OF THE AZERBAIJAN SSR DURING THE PERIOD OF IMAM MUSTAFAYEV (1954–1959)

TURAL HUSEYNZADE
Baku Slavic University
Department of International Relations and Regional Studies
turalcomerdoglu@gmail.com
BAKU, AZERBAIJAN

Abstract: The history of Azerbaijan in the mid-20th century is characterized by significant changes within the Soviet political system. This period was marked by the implementation of innovations in both political, economic and social spheres. In particular, the political changes that took place in the Soviet Union in the 1950s had a serious impact on the life of the republics. One of the main political figures leading the Azerbaijani SSR during this period was Imam Mustafayev.
Iman Mustafayev, who served as the First Secretary of the Central Committee of the Communist Party of Azerbaijan in 1954–1959, implemented certain changes in the economic and social life of the republic. The period he led coincided with the political softening and critical phase of Stalinism that began in the Soviet Union.
Keywords: Azerbaijan, Iman Mustafayev, Soviet Union, First Secretary.

GİRİŞ

İmam Mustafayev 1910-cu ildə Azərbaycan ərazisində anadan olmuşdur. O, gənc yaşlarından sovet idarəetmə sistemində çalışmağa başlamış və texniki sahədə təhsil almışdır.
1930–1940-cı illərdə Sovet İttifaqında sürətli sənayeləşmə siyasəti aparılırdı. Bu dövrdə Mustafayev müxtəlif sənaye müəssisələrində və idarəetmə strukturlarında fəaliyyət göstərmişdir. Onun təşkilatçılıq qabiliyyəti və idarəetmə bacarığı tezliklə diqqət çəkmiş və o, Kommunist Partiyasında məsul vəzifələrə irəli çəkilmişdir.
1940-cı illərin sonlarından etibarən Mustafayev artıq Azərbaycan SSR rəhbərliyində mühüm vəzifələrdə çalışırdı. Bu təcrübə onun sonradan respublikanın rəhbəri seçilməsinə şərait yaratdı.
1950-ci illərin əvvəllərində Sovet İttifaqında mühüm siyasi dəyişikliklər baş verdi. 1953-cü ildə İosif Stalin vəfat etdikdən sonra ölkədə yeni siyasi kurs müəyyən edilməyə başladı. Hakimiyyətə gələn Nikita Xruşşov sovet sistemində müəyyən islahatlar həyata keçirməyə başladı.
Bu dəyişikliklər respublikalarda da rəhbərlikdə yenilənmələrə səbəb oldu. 1954-cü ildə İmam Mustafayev Azərbaycan Kommunist Partiyası Mərkəzi Komitəsinin birinci katibi seçildi. Bu vəzifə Azərbaycan SSR-də ən yüksək siyasi vəzifə hesab olunurdu.
1950-ci illərin ortalarında Sovet İttifaqında stalinizmin tənqidi prosesi başladı. Bu proses tarixə destalinizasiya siyasəti kimi daxil olmuşdur.
1956-cı ildə keçirilən Sovet İttifaqı Kommunist Partiyasının XX qurultayı zamanı Nikita Xruşşov məşhur məruzəsində İosif Stalin dövründə baş vermiş repressiyaları tənqid etmişdir.
Bu siyasət Azərbaycan SSR-də də müəyyən dəyişikliklərə səbəb oldu. Bir çox siyasi repressiya qurbanlarına bəraət verildi və siyasi mühit əvvəlki dövrlərlə müqayisədə bir qədər yumşaldı.
İmam Mustafayev dövründə iqtisadi siyasətin əsas istiqamətlərindən biri kənd təsərrüfatının inkişafı idi. Sovet iqtisadi sistemində Azərbaycan əsasən kənd təsərrüfatı və neft istehsalı ilə tanınırdı.
Bu dövrdə aşağıdakı sahələr inkişaf etdirilməyə çalışılırdı:

- pambıqçılıq
- üzümçülük

- taxıl istehsalı
- heyvandarlıq

Kolxoz və sovxozların fəaliyyətinin gücləndirilməsi üçün dövlət tərəfindən müəyyən tədbirlər həyata keçirilirdi. Xüsusilə pambıq istehsalı Sovet iqtisadiyyatında mühüm rol oynayırdı və Azərbaycan bu sahədə aparıcı respublikalardan biri idi.

1950-ci illərdə Azərbaycan SSR-də sənaye sahəsi də inkişaf etməkdə idi. Bu dövrdə əsasən aşağıdakı sahələrə diqqət yetirilirdi:

- neft sənayesi
- kimya sənayesi
- enerji istehsalı
- maşınqayırma

Bakı şəhəri Sovet İttifaqının ən mühüm sənaye və enerji mərkəzlərindən biri hesab olunurdu. Burada yeni zavodlar və sənaye müəssisələri tikilir, istehsal gücü artırılırdı.

Neft sənayesi xüsusilə böyük əhəmiyyət daşıyırdı. Azərbaycan nefti Sovet İttifaqının iqtisadi inkişafında mühüm rol oynayırdı.

İmam Mustafayev dövründə mədəniyyət və təhsil sahəsində də müəyyən irəliləyişlər müşahidə olunurdu.Bu dövrdə:

- yeni məktəblər tikildi
- ali təhsil müəssisələrinin fəaliyyəti genişləndirildi
- elmi tədqiqat institutları yaradıldı
- mədəniyyət müəssisələri inkişaf etdirildi.

Azərbaycan ədəbiyyatı və incəsənəti də bu dövrdə müəyyən inkişaf mərhələsi keçirdi.

Teatr, musiqi və kino sahəsində yeni əsərlər yaradılırdı və milli mədəniyyətin inkişafına müəyyən diqqət göstərilirdi.

Milli kadr siyasəti İmam Mustafayev dövrünün mühüm xüsusiyyətlərindən biri də milli kadrların dövlət idarəçiliyində rolunun artırılması idi.

Sovet dövründə respublikalarda rəhbər vəzifələrə bəzən mərkəzdən göndərilən şəxslər təyin olunurdu. Lakin Mustafayev dövründə yerli kadrların irəli çəkilməsi siyasəti müəyyən dərəcədə gücləndi.

Bu siyasət sonrakı illərdə Azərbaycan dövlət idarəçiliyində milli kadrların sayının artmasına səbəb oldu.

İmam Mustafayev dövründə əldə olunan nailiyyətlərlə yanaşı bir sıra problemlər də mövcud idi. Bu problemlərə aşağıdakılar aid edilə bilər:

- iqtisadiyyatın mərkəzi planlaşdırma sistemindən asılı olması
- kənd təsərrüfatında plan göstəricilərinin bəzən real imkanlardan yüksək olması
- siyasi azadlıqların məhdudluğu
- idarəetmədə bürokratik problemlər

Çünki Azərbaycan SSR müstəqil dövlət deyildi və əsas qərarlar Moskva tərəfindən qəbul edilirdi.

Vəzifədən uzaqlaşdırılması

1959-cu ildə İmam Mustafayev vəzifəsindən uzaqlaşdırıldı. Bunun səbəbləri arasında Sovet rəhbərliyi ilə fikir ayrılıqları və iqtisadi siyasətlə bağlı tənqidlər göstərilir.

Onun yerinə Azərbaycan SSR rəhbəri vəzifəsinə Vəli Axundov təyin edildi.

Tarixçilər İmam Mustafayev dövrünü Sovet Azərbaycanının inkişaf mərhələlərindən biri kimi qiymətləndirirlər. Bu dövr aşağıdakı xüsusiyyətlərlə xarakterizə olunur: stalinizmdən sonrakı siyasi yumşalma, kənd təsərrüfatının inkişaf etdirilməsi, sənaye və enerji sektorunda müəyyən irəliləyişlər, təhsil və mədəniyyət sahəsində inkişaf, Lakin Sovet siyasi sisteminin sərt çərçivələri bu dövrdə də qalmaqda idi.

Elmdən ayrılmaması onun milli və maarifçilik təşəbbüskarı kimi fəaliyyətinə səbəb olur. Doğrudur, o, çox keçmədən vəzifəsindən uzaqlaşdırılacaqdı. Çünki onun Mərkəzə sərf etməyən fəaliyyəti çoxlarını narazı salırdı. Amma o, çox şeyə dözə bildi. Yəni onunla bərabər rəhbərliyə gətirilmiş mərhum xalq yazıçısı Mirzə İbrahimov və ictimai xadim Sadıq Rəhimov bu təzyiqlərə dözə bilmədilər. Tez bir zamanda "xəstəlik" səbəbindən vəzifədən gedəsi oldular. Amma sərasər 5 il hər şeyə rəğmən işini davam etdirən İmam Mustafayev axırda özünün ən ali missiyasını həyata keçirə bilir. Yəni Azərbaycan dili artıq onun rəhbərliyi müddətində dövlət dili olur. Azərbaycan dilini rus dilindən üstün tutduğu üçün 8 iyul 1959-cu ildə "bacarıqsız rəhbər" bəhanəsi ilə vəzifəsindən azad edilib. Hətta o dövr üçün ölümə bərabər cəza olaraq Azərbaycan SSR Kommunist Partiyası Mərkəzi Komitəsi bürosunun üzvlüyündən çıxarılıb.

İmam Mustafayevin ən böyük arzularından biri də Mirzə Fətəli Axundovun məzarının Bakıya köçürülməsi ilə bağlı olub. 1957-ci ilin martın 10-da Azərbaycanın rəhbəri kimi İmam Mustafayev Zaqafqaziya hərbi dairəsinin hərbi şurasının iclasına dəvət olunaraq Tiflisə gedib. Səfərdə Axundovun məzarının baxımsız vəziyyətdə olduğunu görür və bu ona pis təsir edir. Hətta Bakıda bu barədə fikir səsləndirir. Amma Gürcüstan rəhbərliyi bundan xəbər tutaraq, Axundovun məzarını təcili bərpa edərək, Azərbaycan rəhbərliyinə məlumat verir.
Dəyərli alim İmam Mustafayev 1997-ci ilə qədər, yəni öldüyü günə qədər elmi fəaliyyətlə məşğul olub.
Tədqiqatın metodu. Tədqiqat işi zamanı, məntiq, təhlil, sintez və təsviri metodlardan istifadə olunmuşdur. Məqalə işində araşdırılan mövzu əsasən daha çox praktik sahəyə aid olduğundan müvafiq istiqamətdə elmi fəaliyyətin praktiki cəhətdən əsaslandırılması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Tədqiqat zamanı təhlil olunmuş məsələlər elmi dərsliklərdə, elmi məqalə və mühazirələrdə istifadə oluna bilər. Mövzunun yeniliyi, onun Azərbaycan tarix elminə, beynəlxalq münasibətlər, sosiologiya, hüquq elmləri üçün araşdırılması və gələcək təsirlərinin hesablanması olduqca əhəmiyyətli edən mövzulardandır.

NƏTİCƏ

Nəticə olaraq demək olar ki, İmam Mustafayev dövrü (1954–1959) Azərbaycan SSR tarixində həm keçid, həm də müəyyən inkişaf mərhələsi kimi qiymətləndirilir. Bu dövr Sovet İttifaqı daxilində baş verən ümumi siyasi dəyişikliklərin – xüsusilə stalinizmdən sonrakı yumşalma və idarəetmədə nisbi liberallaşma proseslərinin Azərbaycan üçün əks olunduğu illəri əhatə edir.
Bu illərdə respublikanın iqtisadi həyatında əsas diqqət kənd təsərrüfatının inkişafına yönəldilmişdi. Pambıqçılıq, üzümçülük və heyvandarlıq sahələrində istehsalın artırılması üçün müxtəlif tədbirlər görülmüş, kolxoz və sovxozların fəaliyyəti gücləndirilmişdir. Eyni zamanda sənaye sahəsində, xüsusilə neft və enerji sektorunda inkişaf davam etmiş, Bakı şəhəri SSRİ-nin mühüm sənaye mərkəzlərindən biri olaraq öz strateji rolunu qorumuşdur.
Sosial və mədəni sahədə də müəyyən canlanma müşahidə olunmuşdur. Təhsil müəssisələrinin genişləndirilməsi, yeni məktəblərin açılması, elmi və mədəni fəaliyyətin artması xalqın maariflənməsinə və intellektual potensialın yüksəlməsinə təsir göstərmişdir. Azərbaycan dilində nəşrlərin artması və milli kadrların idarəetmədə daha çox iştirak etməsi bu dövrün mühüm xüsusiyyətlərindən biri kimi qiymətləndirilir.
Bununla yanaşı, bu inkişafların məhdud çərçivədə baş verdiyini də qeyd etmək lazımdır. Çünki Azərbaycan SSR müstəqil dövlət deyildi və bütün əsas siyasi və iqtisadi qərarlar mərkəzi hakimiyyət tərəfindən – Moskva tərəfindən qəbul olunurdu. Mərkəzləşdirilmiş idarəetmə sistemi respublikaların tam sərbəst inkişafına imkan vermirdi və bir çox sahələrdə planlı iqtisadiyyatın sərt qaydaları tətbiq olunurdu.
İmam Mustafayev 1959-cu ildə vəzifədən uzaqlaşdırılsa da, onun rəhbərlik etdiyi dövr Azərbaycan tarixində müəyyən iz buraxmışdır. Bu dövr həm keçmiş stalinizm dövründən sonra yumşalma mərhələsinə keçid, həm də gələcək illərdə baş verəcək iqtisadi və sosial dəyişikliklərin ilkin əsaslarının formalaşması baxımından əhəmiyyətlidir.
Ümumilikdə, İmam Mustafayev dövrü Azərbaycan SSR tarixində tam müstəqil siyasi sistemin deyil, Sovet İttifaqı daxilində məhdud imkanlarla həyata keçirilən idarəetmənin bir hissəsi kimi qiymətləndirilir. Buna baxmayaraq, bu illər respublikanın iqtisadi potensialının müəyyən qədər artdığı, kənd təsərrüfatı və sənaye sahələrində inkişafın davam etdiyi, mədəni və sosial həyatın isə nisbi canlanma dövrünə daxil olduğu mərhələ kimi tarixdə qalır.
Beləliklə, bu dövr Azərbaycan tarixinin tədqiqində mühüm əhəmiyyət daşıyır və ölkənin sovet dövrü inkişaf mərhələlərinin anlaşılması üçün əsas mərhələlərdən biri hesab olunur

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Azərbaycan SSR tarixi (1918–1991), dərslik, Bakı, 2015
2. Azərbaycan tarixi, 11-ci sinif dərsliyi, Bakı, 2020
3. Советская история Азербайджана, Москва, 1988
4. Əlizadə, M. – Azərbaycanın XX əsr tarixi, Bakı, 2007
5. Həsənov, C. – Sovet dövründə Azərbaycan iqtisadiyyatı, Bakı, 2012
6. Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası – Azərbaycan tarixi ensiklopediyası, Bakı, 2010
7. Mustafayev dövrü haqqında məqalələr və arxiv materialları (1954–1959)

KONSTANTIN MAÇAVARIANINN "ARTVIN ŞƏHƏRI" MƏQALƏSINDƏ ERMƏNI YALANLARI

BILAL DƏDƏYEV
Qarabağ Universiteti, Humanitar və sosial elmlər kafedrası,
bilal.dadayev@karabakh.edu.az
ORCİD: https://orcid.org/0000- 0001-5652-7811
XANKƏNDI, AZƏRBAYCAN

Xülasə: Bu məqalədə Konstantin Davidoviç Maçavarianinin 1897-ci ildə nəşr olunmuş "Artvin şəhəri" adlı əsəri əsasında Artvin bölgəsinin tarixi, etnoqrafik və demoqrafik xüsusiyyətləri təhlil edilərkən, bu bölgəyə sonradan yerləşmiş ermənilərin öz milli maraqları dairəsində uydurduğu bir neçə yalanı ortaya çıxarılmışdır. Tədqiqat göstərir ki, müəllif Artvinin toponimik izahları ilə bağlı müxtəlif versiyaları təqdim edərkən, erməni mənşəli iddiaların elmi əsaslardan məhrum olduğunu vurğulayır. Məqalədə Artvinin qədim dövrlərdən XIX əsrə qədər keçdiyi siyasi mərhələlər, xüsusilə 1877–1878-ci illər Rus-Türk müharibəsi sonrası demoqrafik dəyişikliklər geniş şəkildə araşdırılır. Müəllifin müşahidələrinə əsasən, bölgədə erməni əhalinin əsasən sonradan köçürülməsi və yerli türk-müsəlman əhalinin köçü nəticəsində etnik tərkibin dəyişməsi diqqətə çatdırılır. Eyni zamanda, Artvin ermənilərinin məişət, geyim adətlərinin və kulinariyasının formalaşmasında türk mədəniyyətin ciddi təsirinin olduğu faktlarla göstərilir. Nəticə etibarilə, məqalə Artvinin etnoqrafik mənzərəsinin obyektiv qiymətləndirilməsi baxımından mühüm elmi mənbə kimi çıxış edir.

Açar sözlər: Artvin, K. Maçavariani, türklər, erməni yalanları

ARMENIAN FALSEHOODS IN KONSTANTIN MACHAVARIANI'S ARTICLE "THE CITY OF ARTVIN"

BILAL DADAYEV
Karabakh University, Department of Humanities and Social Sciences
bilal.dadayev@karabakh.edu.az
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5652-7811
KHANKENDI, AZERBAIJAN

Abstract: This article examines the historical, ethnographic, and demographic characteristics of the Artvin region based on Konstantin Davidovich Machavariani's work titled "The City of Artvin," published in 1897, and reveals several false claims fabricated by Armenians who were later settled in this region in line with their national interests. The study demonstrates that while the author presents various versions regarding the toponymic explanations of Artvin, he emphasizes that Armenian-origin claims lack scientific foundation. The article comprehensively analyzes the political stages that Artvin underwent from ancient times to the nineteenth century, with particular attention to the demographic changes following the Russo-Turkish War of 1877–1878. According to the author's observations, it is highlighted that the Armenian population in the region was largely resettled later, and that the ethnic composition changed as a result of the displacement of the local Turkic-Muslim population. At the same time, it is shown with evidence that Turkish culture had a significant influence on the formation of the daily life, clothing, and cuisine of the Armenians in Artvin. Ultimately, the article serves as an important scholarly source for the objective evaluation of the ethnographic landscape of Artvin.

Keywords: Artvin, K. Machavariani, Turks, Armenian falsehoods.

GIRIŞ

Rus mənbələrində haqqında olduqca az məlumat mövcud olan Konstantin Davidoviç Maçavariani (1857–1926?), gürcü mənşəli maarifçi, etnoloq və yazıçı kimi tanınır. Onun atası, missioner fəaliyyəti ilə məşğul olan David Maçavariani olmuş və 1851-ci ildə Suxumi Şəhər Məktəbinin şöbəsi kimi Abxaziyanın Okum kəndində kilsə məktəbi təsis etmişdir. K. Maçavariani atasının sayəsində yaxşı təhsil almış, Qafqaz xalqlarının etnoqrafiyası və folkloru sahəsində elmi araşdırmalar aparmışdır. Məşhur abxaz etnoloq alimi D.İ. Qulia (1874–1960) da onun tələbələrindən biri olmuşdur. K. Maçavariani onunla birlikdə 1892-ci ildə ilk abxaz əlifbasına dair əsəri nəşr etdirmişdir. Bundan əlavə, onun bir neçə əsərin də müəllifi olduğu məlumdur. O, 1894-cü ildə Artvində olduğu dövrdə Batum Şəhər Məktəbində fəaliyyət göstərmişdir (apsnyteka.org) (bax: şəkil 2).

Tədqiqatımızın mövzusu olan bu iş, rusların 1881–1915-ci illər arasında Tiflis şəhərində nəşr etdikləri və Qafqazın coğrafi və demoqrafik xüsusiyyətlərini əhatə edən 44 cildlik "Sbornik Materialov Dlya Opisaniya Mestnostey i Plemen Kavkaza" (Qafqaz xalqları və bölgələri haqqında materiallar toplusu) adlı külliyatın 1897-ci ilə aid 22-ci cildinin II hissəsində Artvin barədə dərc olunmuş bir məqaləyə əsaslanır (bax: şəkil 1). Müasir dövrdə Türkiyə Respublikası tərkibində olan Artvin vilayəti ilk dəfə e.ə. VI əsrdə yunanlar tərəfindən Kolxida (Kolkhis) adlandırıldığı məlumdur (Küçükyıldız, 2019, s. 4–5). Bir müddət Xilafətin tərkibində qalsa da, 1068-ci ildə Səlcuq imperiyası hakimiyyətinə daxil edilən Artvin və ətrafı uzun müddət Bizans tərəfindən dəstəklənən gürcülərlə türklər arasında mübarizə meydanına çevrilmişdir. İraq Səlcuqluları dövründə Artvin və ətrafı Azərbaycan Atabəyləri idarəsində bəylik olmuş, XIII əsrdə Monqol

imperiyası və Elxanilər dövlətinin əlinə keçmiş, XV əsrdə isə Uzun Həsən (1453–1478) tərəfindən Ağqoyunlu dövləti hakimiyyətinə qatılmışdır. Daha sonra bölgə yenidən gürcü hücumuna məruz qaldıqda, bəzi Artvin bəylərinin müraciəti əsasında həmin dövrdə Trabzon valisi olan I Səlimin (1512-1520) köməyi ilə gürcülər ərazidən çıxarılmışdır. Bir müddət Osmanlı imperiyası himayəsində yarım-müstəqil şəkildə mövcud olan Artvin, 1537-ci ildə tam şəkildə Osmanlı hakimiyyətinə daxil edilərək Livane sancağı adı ilə Ərzurum bəylərbəyliliyinə, 1579-cu ildən sonra isə Çıldır əyalətinə bağlanmışdır. Çıldır əyalətinin mərkəzi olan Artvin, 1829-cu il Ədirnə müqaviləsi əsasında iki hissəyə bölünən əyalətdən ayrılaraq Trabzon əyalətinin Batum sancağına bağlı Livane qəzasına çevrilmişdir (Tunçel, 2007, s. 420). 1877–1878-ci illərdə baş verən Rus-Türk müharibəsindən sonra bağlanan Ayastefanos (3 mart 1878) və Berlin müqavilələrinin (13 iyul 1878) şərtlərinə əsasən Osmanlı dövləti Artvini Rusiyanın hakimiyyətinə verməyə məcbur olmuşdur. 1878–1918-ci illər arasında Rusiya idarəsi altında olan Artvin, Kutaisi quberniyasına bağlı Batum oblastının tərkibində okruq (inzibati vahid) kimi fəaliyyət göstərmişdir (Kocabaş, 1989, s. 338-345; Uçarol, 1995, s. 337-353; Badem, 2010, s. 30-31; Atalay, 2020, s. 315-317; Yücetürk, 2020, s. 81-82). Rus müəllif N.Şavrov isə Artvin okruqunun təxminən 3000 verst² (təxminən 3200 km²) sahəyə malik olduğunu qeyd edir (Шавров, 1909, s. 9).

K. Maçavariani tərəfindən "Artvin şəhəri" adı ilə nəşr olunan bu məqalə 53 səhifədən və doqquz bölmədən ibarətdir. Bundan əlavə, toplunun II hissəsinin redaktoru A.A. Boqoyavlenski tərəfindən verilmiş dipnot xarakterli əlavə və düzəlişlər məqalənin elmi dəyərini daha da artırır (Мачавариани, 1897, s. 1–53). Müəllif bu yazını 1909-cu ildə nəşr etdirdiyi "Oçerki i Rasskazı (Müxtəlif illərin müşahidələrindən)" adlı əsərində "Artvin şəhəri, Kutaisi quberniyası" başlığı ilə yenidən çap etdirmişdir. Lakin burada ilkin məqalədə (1897) yer alan bəzi alt qeydlər və Artvinin qravür təsviri verilməmiş, həmçinin bölmə başlıqları sözlə deyil, yalnız Roma rəqəmləri ilə göstərilmişdir (Мачавариани, 1909, s. 128–172).

Hal-hazırda hər iki mənbə mövcud olsa da, 1909-cu il Batum nəşri əvvəlki məqalənin eyni olub əlavə məlumat ehtiva etmədiyi üçün bu tədqiqatda yalnız K.Maçavarianinin 1897-ci ildə Tiflisdə nəşr olunmuş məqaləsindən istifadə edilmişdir.

MƏQALƏDƏ QEYD OLUNAN ERMƏNI YALANLARI

K. Maçavariani öz məqaləsində Artvin şəhəri haqqında məlumat verməzdən əvvəl, onun adının mənası ilə bağlı iki fərqli izahın mövcud olduğunu qeyd edir. Müəllifin bəzi yaşlı şəxslərdən (ehtimal ki, ermənilərdən) öyrəndiyinə görə, "Artvin" toponimi erməni dilində iki sözdən – "ard" (yeni) və "dvin" (şəhər) sözlərindən ibarətdir. Bu versiyaya əsasən, uzun müddət Dvin şəhərində yaşamış ermənilər yunan, fars, ərəb və türk hücumları nəticəsində köç edərək sanki "köhnə Dvin"dən "yeni Dvin"ə, yəni Artvinə yerləşmişlər.

Müəllif davamında bu fikri təsdiq edən nə şifahi, nə də yazılı mənbələrin mövcud olmadığını açıq şəkildə bildirir. Bununla da, əslində, bu versiyanın ermənilər tərəfindən uydurulduğunu vurğulamaq istəmişdir. Davamında isə, digər bir rəvayətə görə, Çorux çayının sağ sahilində yerləşən Sveti-bari kəndində Arutin və Livane adlı iki gürcü qardaşın keçi otararkən, Çorux çayının yuxarı hissəsində tac formasında daş körpüyə doğru getdiklərində Kordzul (gürcü dilində "kari" – qapı, "dzveli" – qədim deməkdir) adlanan yerdə qədim bir kilsə aşkarladıqları üçün bu məkanın adını böyük qardaş Arutinin şərəfinə Artvin qoyduqlarını qeyd edir. Müəllif eyni zamanda, türklərin bu şəhəri hələ də Livane adlandırdığını və bu adın qardaş Livanedən, yoxsa Livan dağlarından qaynaqlandığını müəyyən edə bilmədiyini də dilə gətirir. Daha sonra o, adı çəkilən Kordzul kilsəsi haqqında geniş məlumat verərkən, buranın yeni keşişinin gənc yaşlarda bir erməni olan Oser Ter Antoniyan olduğunu yazır. Sonra erməni keşiş ona guya qədim erməni dilində yazılmış iki "Evangeliya" kitabı göstərdiyini qeyd edir. Lakin Maçavariani bu kitabların erməni dilində yox, qədim gürcü kilsə dilində yazılmış əski İncil nümunələri olduğunu vurğulayır (Мачавариани, 1897, s. 8–10).

İlk növbədə qeyd etmək lazımdır ki, K. Maçavariani Artvində olarkən bir erməni ailəsinin evində qonaq qalmışdır. Onun özü də yaxşı xristian olduğu üçün burada görüşdüyü, ünsiyyətdə olduğu və ziyarət etdiyi yerlər əsasən bu mədəniyyətə mənsub insanlarla bağlı olmuş, səyahət qeydlərində də bu istiqamətdə məlumatlara yer vermişdir. O, Artvində olarkən Aznauryan soyadlı erməni ailəsinin evində yaşamış və ona burada müşayiət edənlər də məhz həmin ailənin üzvləri və onların erməni tanışları olmuşdur. Bu səbəbdən müəllif həmin ailədə gördüklərini, yediyi yeməkləri və onların həyat tərzini – ibadətlərini, bayramlarını, mətbəx zənginliyini, geyimlərini, nişan və toy adətlərini Artvin bölgəsinə xas xüsusiyyətlər kimi təsvir etmişdir (Мачавариани, 1897, s. 17–28, 44–50). Onun yazdıqlarından belə nəticə çıxarmaq olar ki, uzun illər türk mədəniyyətinin təsiri altında yaşamış Artvin ermənilərı dini ayinləri istisna olmaqla, məhz

türklərə məxsus bir çox şeyləri mənimsəməkdə qalmamış, eyni zamanda özününküləşdirməyi də bacarmışdır. Məsələn, erməni evlərindən bəhs edərkən mətbəxtdəki divarın içində istifadə olunan "ocaq" və "təndir" adlandırılan böyük sobaların olması. Bu sözlər ermənicə yox, türk dilində məna verir və məhz türk məişətinə aiddir. Yazar, başqa bir yerdə isə, Artvində bir ev xaric diğərlərinin hamısının və şəhərin memarlıq qurluşunun Osmanlı dönəmində məhz türklər tərəfindən tikildiyini açıqca qeyd edərək, bu deyilənlərin erməni yalanları olduğunu bildirmiş olur (Мачаварианu, 1897, s. 14-15).

Başqa bir maraqlı yalan isə, bu erməni ailəsində qonaq qalan Maçavarianiyə təqdim edilən yeməklərlə bağlıdır. Məqalədə eyni ilə günümüzdə də Türkiyə və Azərbaycan süfrəsinin yeməkləri olan və türk dilində mənalar verən kabab, dolma, qovurma, paxlava, halva, gevrək (simit), bişi, bəkməz və şərbət kimi yemək və içkilərin bir erməni süfrəsinin yeməkləri kimi təqdim olunmaqdadır. Halbuki heç kəsdə şübhə yoxdur ki, bunların hamısı türk milli mətbəxinə aid olan yeməklərdir. Eləcə də əsrlərdən bəri Azərbaycan süfrəsini bəziyən təamlardır. Xüsusilə, çay içərkən masada qəndin olmadığını görən Maçavariani, ev sahibəsi Aqat xanımın ona masa üzərində olan tutdan hazırlanmış qatı şərbətə bənzər şirniyyatı göstərərək bizim qəndimiz budur "bəkməz", biz çayı bununla içirik deyərək açıqlıq qətirməsidir. Çox maraqlıdır ki, türklərin əsrlərdir istifadə etdiyi bəkməz burada bir erməni şərbəti kimi tərənnüm edilir. Həmçinin erməni qadınlarının geydiyi peştamal, işluh (içlik – pencək və ya hırkanın altından geyilən qadın köynəyi), araqçın, "Bağdad" adlanan şərf, ləçək (qadınların yaylıq və ya örpəyin altından bağladıqları baş örtüyü), "əntər" adlanan cübbə (hırka) kimi geyimlərin istifadə olunduğu, erməni qadınlarının boyunlarına qızıl türk lirələri taxdıqlarını da xatırladır (Мачаварианu, 1897, s. 16–18, 23–27).

Tədqiqatçı-yazar, alim-etnoloq və eyni zamanda missioner ailəsində böyümüş K. Maçavariani öz səyahət qeydlərində Artvinin etnik tərkibi haqqında da olduqca mühüm məlumatlar təqdim edir. Onun fikrincə, Batum və Artvin vilayətlərində əsasən üç xalq – gürcülər, türklər və ermənilər təsirli olmuşdur. Tarixi baxımdan bölgədə ən dərin iz buraxanlar gürcülər, daha sonra türklər, ən sonda isə bölgəyə köçürülmüş ermənilər hesab olunur (Мачаварианu, 1897, s. 4–6).

Müəllif 1893-cü il Rusiya statistik məlumatlarına əsaslanaraq Artvin qəzasında ümumilikdə 53 757, şəhər mərkəzində isə 6 834 nəfərin yaşadığını bildirir. Halbuki 1878-ci il Osmanlı məlumatlarına görə Artvinin ümumi əhalisi 17 942 təsərrüfat (təxminən 90 000 nəfər) olmuş və bunun təxminən 91%-i türklər və müsəlman gürcülərdən ibarət idi. 1877–1878-ci illər Rus-Türk müharibəsindən sonra, 1886-cı il Rusiya məlumatlarına əsasən Artvin qəzasının əhalisi 22 770 nəfərə qədər azalmışdır ki, bu da əsasən türk əhalinin məcburi köçü ilə bağlı olmuşdur. (Мачаварианu, 1897, s. 16). Şəhərdəki erməni əhalinin isə əsas hissəsi 1877–1878-ci illər müharibəsindən sonra türk əhalinin köçü nəticəsində boşalmış ərazilərə ətraf bölgələrdən köçürülərək yerləşdirilmişdir. Müəllif açıq bir şəkildə qeyd edir ki, müharibədən sonra Artvindən Osmanlıya köç edən türklərin boşaltdığı evlər və mülklər ermənilər tərəfindən zəbt edilmişdir. Köç edəcəyini əvvəlcədən planlaşdıran bəzi türk ailələri isə öz evlərini ermənilərə çox aşağı qiymətə satmaq məcburiyyətində qalmışdır. Məqalənin müxtəlif hissələrində rus idarəçiliyi dövründə türklərdən boşalan ərazilərin demək olar ki, tamamilə ermənilərlə doldurulduğu açıq şəkildə qeyd olunur. Bu məlumatları dövrün bir çox Osmanlı tarixi sənədi də təsdiqləyir (BOA, BEO, nr. 3823-286695; DH.İD.., nr. 97-13; DH. MKT.), nr. 1348-82; nr. 1370-9; nr. 1503-33; DH.TMIK.M.., nr.16-3; nr.181-41; DH. ŞFR., nr. 135-90; nr. 332-34; Yapıcı, 2012, s. 181-189; Atalay, 2020, s. 314). Məqalənin bir yerində Maçavariani Arut adında bir ermənilə məhz bu məsələlərdən bəhs edərkən türk-erməni münasibəti haqqında bir sual ünvanlayır. Bu erməni türklər haqqında pis fikir söyəməsə də, türklərin köçürülməsini onlar üçün faydalı olduğunu qeyd edərək, dərhal söhbəti dəyişdirib sanki Artvinin qədim xalqı kimi öz həyat və təsərrüfatlarından danışmağa başlayır (Мачаварианu, 1897, s. 41-42).

NƏTICƏ

Yuxarıda təqdim olunan məqalənin təhlili göstərir ki, K. Maçavarianinin Artvinlə bağlı qeydləri yalnız etnoqrafik müşahidələr deyil, həm də dövrün siyasi və ideoloji reallıqlarını əks etdirən mühüm mənbə kimi çıxış edir. Müəllifin "Artvin" toponiminin mənşəyi ilə bağlı irəli sürdüyü müxtəlif versiyalara yanaşması, xüsusilə erməni mənşəli izahı tənqidi süzgəcdən keçirməsi, onun mənbələrə selektiv və müqayisəli yanaşma tətbiq etməsilə yanaşı, burada yaşayan ermənilərin öz milli maraqları üçün ortaya atdıqları yalanları da açığa çıxarır. Eyni zamanda, müəllifin müşahidələrinin böyük hissəsinin erməni mühitində formalaşması onun təsvirlərinə müəyyən subyektiv çalarlar qatmışdır. Bununla belə, məhz bu mühitdə əldə etdiyi məlumatlar vasitəsilə bölgədə mədəni qarşılıqlı təsirin intensivliyi aydın şəkildə üzə çıxır. Xüsusilə məişət, kulinariya və geyim mədəniyyətinə dair təqdim edilən nümunələr göstərir ki, Artvin kimi

çoxetnoslu bir məkanda uzunmüddətli birgəyaşayış nəticəsində mədəni elementlər qarşılıqlı şəkildə mənimsənilmiş və transformasiyaya uğramışdır. Bu baxımdan, müəllifin qeyd etdiyi "ocaq", "təndir", eləcə də kabab, dolma, paxlava kimi yeməklərin əslində ermənilərə yox, məhz bu bölgənin uzun illər sakini olmuş türklərə aid olduğu bir daha öz əksini tapır.

Digər tərəfdən, demoqrafik göstəricilərin müqayisəsi və xüsusilə Rus-Türk müharibəsindən sonra baş verən köç proseslərinin təhlili Artvinin etnik strukturunda ciddi dəyişikliklərin baş verdiyini sübut edir. Osmanlı dövrünə aid statistik məlumatlarla Rusiya idarəçiliyi dövrünün göstəriciləri arasında müşahidə olunan fərqlər, bölgədən müsəlman-türk əhalinin kütləvi şəkildə köç etməsi və onların yerinə planlı bir şəkildə erməni əhalinin yerləşdirilməsi həyata keçirilmişdir. Maçavarianinin qeyd etdiyi kimi, boşalan yaşayış sahələrinin yeni gələn erməni əhali tərəfindən mənimsənilməsi və bu prosesin müxtəlif mənbələrdə də təsdiqini tapması, regionda məqsədyönlü məskunlaşdırma siyasətinin aparıldığını göstərir. Bununla yanaşı, müəllifin erməni icmasına dair bəzi tənqidi yanaşmaları və onların təqdim etdiyi məlumatların etibarlılığına şübhə ilə yanaşması, mənbələrin tənqidi oxunuşunun vacibliyini bir daha ortaya qoyur.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

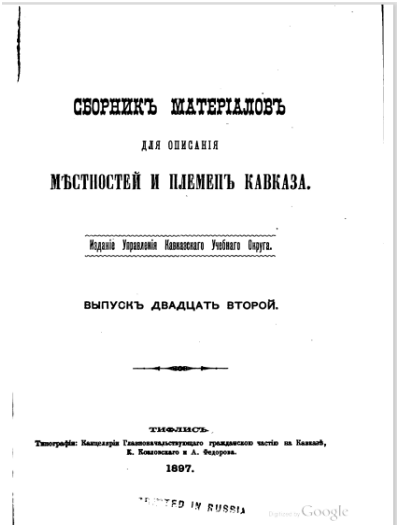
1) Arxiv sənədləri

1. Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri Başkanlığı Osmanlı Arşivi (BOA), Bab-ı Ali Evrak Odası (BEO), nr. 3823-286695.
2. BOA, Dahiliye İdare (DH.İD..), nr. 97-13.
3. BOA, Dahiliye Mektubi Kalemi (DH. MKT.), nr. 1348-82; nr. 1370-9; nr. 1503-33.
4. BOA, Dahiliye Muamelat (DH.TMIK.M..), nr.16-3; nr.181-41.
5. BOA, Dahiliye Şifre Kalemi (DH. ŞFR.), nr. 135-90; nr. 332-34.

2) Digər mənbələr

1. Atalay, A. (2020). Osmanlı'dan Cumhuriyet'e Artvin Vilayeti'nin Siyasi, Sosyal ve Ekonomik Durumu", Karadeniz Araştırmaları Enstitüsü Dergisi, 6/10, (Millî Mücadele'den Milli Egemenliğe Karadeniz Özel Sayısı), s. 311-329.
2. Badem, C. (2010). Çarlık Rusyası Yönetiminde Kars Vilayeti. İstanbul: Birzamanlar Yayımcılık.
3. Kocabaş, S. (1989). Kuzeyden Gelen Tehdit, Tarihte Türk-Rus Mücadelesi. İstanbul: Vatan Yayımları, İstanbul.
4. Küçükyıldız, N. (2019). "Artvin ve Çevresinin Yer Adları Üzerine Bir Değerlendirme", Artvin Tarihi Araştırmaları-1, Editör: Nuri Yavuz. İstanbul: Kriter Yayımları, s. 1-16.
5. Мачавариани, К. (1897). "Городь Артвинь, Кутаисской губернии. Путевые очерки", Сборник материалов для описания местностей и племен Кавказа, C 22, I. Kısım, Tiflis, s. 1-53.
6. Мачавариани, К. Д. (1909). Очерки и Разсказы (Из наблюдений из разных годов). Батумъ: Типография Д. Л. Карел.
7. Шавров, Н.Н. (1909). "Поѣздка в Артвин", Из.№ 3 журнала «Естествознание и География» за 1909 г. Москва: Типография Императорского Московского Университета, s. 1-9.
8. Tuncel, M. (2007). "Artvin", Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi (DİA), C 33, İstanbul, s. 420-422.
9. Uçarol, R. (1995). Siyasi Tarih (1789-1994). İstanbul: Filiz Kitabevi.
10. Yapıcı, H. (2012). "93 Harbi Sonrasında Yaşanan Göçler ve Neticeleri", Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, I, s. 181-189.
11. Yücetürk, Z. (2020). "93 Harbi ve Sonrasında Artvin", Karadeniz Araştırmaları, XVII, s. 73-95.
12. http://apsnyteka.org/350-machavariani_k_sem_dnei_v_gorach_abkhazii.html (Sayta giriş tarixi: 28.03.2022).

Əlavələr


СБОРНИКЪ МАТЕРІАЛОВЪ

ДЛЯ ОПИСАНІЯ

МѢСТНОСТЕЙ И ПЛЕМЕНЪ КАВКАЗА.

Изданіе Управленія Кавказскаго Учебнаго Округа.

ВЫПУСКЪ ДВАДЦАТЬ ВТОРОЙ.

ТИФЛИСЪ.

1897.

Şəkil 1. Toplunun üz qapağı



Şəkil 2. K.D.Maçavariani (1857-1926?)

ŞƏRQİN İLK DEMOKRATİK CÜMHURİYYƏTİNİN PAYTAXTI: GƏNCƏ

İLAHƏ ƏSƏDZADƏ
AMEA Gəncə bölməsi Diyarşünaslıq İnstitutu Tarix şöbəsi
Kiçik elmi işçi
ilahe.esedzade@gmail.com
ORCID ID: 0009-0007-1288-3719
GƏNCƏ, AZƏRBAYCAN

Xülasə: Məqalədə 1918-ci il mayın 28-də Şərqin ilk Demokratik Cümhuriyyətinin qurulması və onun ilkin paytaxtı kimi Gəncə şəhərinin ictimai-siyasi əhəmiyyətindən bəhs olunur. Həmçinin, AXC-nin üç ay davam etmiş Gəncə dövründə dövlət, ordu quruculuğu, eyni zamanda mədəni quruculuqla bağlı qəbul edilən bir çox mühüm qərarlar haqqında məlumat verilmişdir.
Açar sözlər: Azərbaycan Xalq Cümhuriyyəti, Gəncə, paytaxt, dövlətçilik, ordu quruculuğu.

CAPITAL OF THE FIRST DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE EAST: GANJA

ILAHA ASADZADE

Abstract: The article discusses the establishment of the first Democratic Republic of the East on May 28, 1918, and the socio-political damage to the city of Ganja as its initial capital. , Information is provided about many important decisions made during the three-month Ganja period of the APR regarding state and army building, as well as cultural building.
Keywords: Azerbaijan Democratic Republic, Ganja, capital, statehood, army building.

GİRİŞ

Tarix boyu Azərbaycan milli hərəkatının, milli dövlətçiliyimizin, bütövlükdə azərbaycançılıq ideyasının təşəkküləndə, eyni zamanda inkişafında Gəncə şəhərinin və onun ictimai-siyasi mühitinin böyük təsiri danılmazdır. Azərbaycan müstəqilliyinə düşmən olan qüvvələr tərəfindən Gəncənin "musavat yuvası", "millətçi ocağı", "pantürkistlər mərkəzi" və s. epitetlərlə adlandırması da şəhərin milli hərəkatın formalaşmasında nə qədər mühüm rol oynadığına sübutdur. Milli ənənələr beşiyi olan Gəncə Azərbaycanın müstəqillik tarixində misilsiz səhifələr yazan, dünyadakı çox mürəkkəb vəziyyətə baxmayaraq qurulmuş, lakin işğala məruz qalan Cümhuriyyətimiz üçün də önəmli rol oynamışdır [8, s.6]. Bütün türk dünyasının və Şərqin ilk Parlamentli Respublikasının birinci paytaxtı olmuş Gəncə şəhəri hələ Azərbaycan Xalq Cümhuriyyəti qurulmamışdan öncə də siyasi-ictimai, sosial-iqtisadi, mədəni cəhətdən inkişaf etmişdi.

ƏSAS HİSSƏ

Zaqafqaziya Federasiyası buraxıldıqdan sonra dağılan Seymin Müsəlman fraksiyası Azərbaycan Milli Şurasında birləşdi və 1918-ci il mayın 28-də yeni milli dövlətin yarandığını elan etdi. Mayın 30-da AXC-nin yaranması haqqında Nazirlər Şurasının sədri Fətəli xan Xoyskinin imzaladığı radioteleqram mətninin son hissəsində hökumətin müvəqqəti olaraq yerləşdiyi ərazinin Gəncə olduğu göstərilirdi. Bakının işğal altında olduğu bir vaxtda Azərbaycan hökuməti və Milli Şura iyun ayının 16-da Tiflisdən Yelizavetpola (Gəncəyə) köçməsi ilə Gəncənin Azərbaycan tarixində yeni dövrünün - milli dövlətçilik dövrü başlandı. Hökumətin burada cəmi üç ay fəaliyyət göstərməsinə baxmayaraq, mühüm qərarlar qəbul edilməsi və dövlət strukturlarının formalaşması məhz Gəncənin adı ilə bağlıdır. Deyim yerinə düşər ki: "Əvvəldə də, sonda da Gəncə" [7].

Azərbaycan Xalq Cümhuriyyəti 1918-ci il 16 iyundan başlayaraq sentyabrın 15-nə qədər fəaliyyətini Gəncədə davam etdirdi. Bu müddət ərzində dövlətçilik tariximiz üçün əhəmiyyət kəsb edən 210-dan çox hüquqi aktlar və qərarlar məhz Gəncə şəhərində qəbul olunmuşdur [2, s. 25]. 21 iyun 1918-ci ildə hökumətin yığıncağında qırmızı fonda ağ rəngli aypara və səkkizgüşəli ulduz olan bayraq Azərbaycan bayrağı kimi qəbul olundu. Noyabrın 9-da bu bayraq səthində ağ aypara və səkkizgüşəli ulduz təsvir olunan, bərabər endə mavi, qırmızı, yaşıl zolaqlar rəngində bayraqla əvəz edildi. Cümhuriyyətin Dövlət bayrağının bu üç rəngi rəmzi olaraq "türk milli mədəniyyətini, müasir Avropa demokratiyasını və islam sivilizasiyasını təmsil edirdi" [5, s. 39]. 1918-ci il iyunun 27-də Azərbaycan dili dövlət dili elan edilmiş, iyulun 3-də Üzeyir Hacıbəylinin redaktorluğu ilə "Azərbaycan" qəzeti də məhz Gəncədə işıq üzü görmüşdü. Avqustun 23-də Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin vətəndaşlığı haqqında qanun qəbul edildi. 1918-ci il 28 avqust tarixli digər bir qərarla isə ölkədə olan məktəblər milliləşdirilirdi [6, s. 2].

Ulu Öndər Heydər Əliyevin də söylədiyi kimi, müstəqilliyi qoruyub saxlamaq onu əldə etməkdən daha çətin başa gəlir. Gənc dövlətimiz üçün də ən çətin məsələlərdən biri istiqlaliyyətimizin keşiyində durması üçün ordu yaratmaq problemi idi. Belə ki, müstəqilliyimizi qorumaq üçün milli ordunun qurulması lazım

olsa da, hərbi milli kadrlar çatışmırdı. 1918-ci il iyunun 26-da Müsəlman korpusu "Azərbaycan korpusu" adlandırıldı və türk hərbçilərinin yardımı, yaxından iştirakı ilə əsası Müsəlman korpusu tərəfindən qoyulmuş hərbi məktəb Gəncədə fəaliyyətə başladı. 11 iyul qərarı ilə Gəncə hərbi mükəlləfiyyət idarəsi yaradıldı. Beləliklə, Gəncədə milli hərbi kadrlar yetişdirilirdi [4, s.25]. Avqustun 11-də isə hərbi mükəlləfiyyət haqqında qanun qəbul edildi: 19 yaşına çatmış vətəndaşların ordu sıralarına səfərbər edilməsi elan olundu. Beləliklə, müstəqil Azərbaycan ordusunun yaradılmasına başlandı. Sentyabrın 1-də verilən qərarla Hərbi Nazirlik təsis edildi. Hərbi mükəlləfiyyət haqqında qərar qəbul edildi və zabit kursları fəaliyyətə başladı. 1918-ci ilin 27 iyununda isə Azərbaycan türkcəsi Azərbaycan Cümhuriyyətinin dövlət dili kimi elan olundu.

Cümhuriyyətinin 1918-ci il 30 iyulda verdiyi daha bir mühüm qərarda deyilirdi: Yelizavetpol şəhərinin adı Gəncə ilə əvəzlənsin. Beləliklə, 1804-cü ildən adı dəyişdirilən Gəncənin tarixi adı özünə qaytarıldı. Bu qərarı Gəncə əhalisi çox böyük sevinclə qarşılamışdı [1, s. 29]. Dövlətin sosial-iqtisadi, maliyyə sistemini formalaşdırmaq, sərhəd bölgələrində mühafizə, gömrük postlarının qurulması, bank sisteminin qaydaya salınması və digər istiqamətlərdə tədbirlər həyata keçirildi [3, s,110].

Həyata keçirilmiş ən vacib tədbirlərdən biri də, 1918-ci il mart qırğınlarını, daşnakların Azərbaycan xalqına qarşı törətdikləri cinayətləri araşdıran Fövqəladə Təhqiqat Komissiyasının yaradılması oldu [2, s.52]. Komissiya qısa müddət ərzində 36 cild və 3500 vərəqdən, 100-dən artıq fotoşəkildən ibarət təhqiqat materialı hazırladı və dünya ictimaiyyətinə çatdırılması yönündə konkret işlər gördü. 12 avqust 1918-ci ildə AXC hökumətinin qərarı ilə müvəqqəti tədbir kimi ölüm hökmü tətbiq edildi, eyni zamanda Xüsusi Hərbi məhkəmə yaradıldı.

Gəncədə Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin tarixində ilk hökumət böhranı baş verdi. Bu dövrdə Batum müqavilələrinin tələblərinə əsasən, soyqırımına məruz qalan Azərbaycan xalqına yardım etmək məqsədilə artıq Gəncədə olan Nuru paşanın rəhbərliyi altında türk hərbi mütəxəssislərindən ibarət 300 nəfərlik qrup Gəncəyə göndərilmişdi [9]. Belə ki, Gəncədə Milli Şuraya qarşı ciddi müxalifətin olduğu ortaya çıxdı. İlhaq - Azərbaycanın Türkiyəyə birləşdirilməsini dəstəkləyən həmin dairələr Nuru paşanı da öz mövqelərinə cəlb edərək onun nüfuzundan Milli Şuraya qarşı mübarizədə fəal istifadə edirdilər. Məhz onların təkidi ilə Nuru paşa Milli Şuranın üzvlərini qəbul etməkdən imtina etdi. Milli Şuraya etimadsızlıq aktı olan bu hərəkət ciddi siyasi böhrana gətirib çıxardı. Həmin günlərdə Azərbaycan istiqlaliyyətinin müqəddəratı həll olunurdu, çünki ilhaqçılar ictimaiyyət arasında müəyyən nüfuza sahib idilər. Yalnız M.Ə.Rəsulzadənin rəhbərlik etdiyi Milli Şuranın sarsılmaz mövqeyi kompromis əldə etməyə şərait yaratdı.

1918-ci il iyunun 17-də toplanmış Milli Şura gərgin müzakirələrdən sonra iki qətnamə qəbul etdi:

1. Müvəqqəti hökumətin hüquq və vəzifələri haqqında, Müvəqqəti hökumət dövlət müstəqilliyini və mövcud siyasi azadlıqları ləğv etmək, həmçinin aqrar islahatlar və digər mühüm məsələlərlə bağlı qanunlarda dəyişiklik etmək səlahiyyətinə malik deyildir və yaxın altı ay ərzində Ümumazərbaycan Müəssislər Məclisini çağırmalıdır. İdarəetmənin digər məsələlərində isə hökumət tam səlahiyyətlidir.
2. Milli Şuranın buraxılması haqqında sənədə əsasən, ölkənin ağır daxili və xarici vəziyyəti nəzərə alınaraq bütün hakimiyyət Fətəli Xan Xoyskinin rəhbərliyi ilə yeni yaradılmış hökumətə verilir, sonuncu isə hökuməti ən qısa müddət ərzində çağırılmalı olan Ümumazərbaycan Müəssislər Məclisindən başqa heç kəs təhvil verə bilməz.

NƏTİCƏ

Göründüyü kimi, 1918-ci il may ayının 28-də Şərqdə ilk demokratik dövlət olaraq yaranan Azərbaycan Xalq Cümhuriyyəti xalqımızın müstəqillik tarixinin başlanğıcı olmaqla yanaşı, milli dövlətçilik salnaməmizi zənginləşdirmişdir. Yalnız 23 ay yaşamış olmasına baxmayaraq, Azərbaycan Xalq Cümhuriyyəti sübut etdi ki, Azərbaycan xalqı müstəqil yaşamağa və öz dövlətçilik ənənələrini bərpa etməyə qadirdir. Göründüyü kimi, Cümhuriyyət tarixinin milli-siyasi intibahımızın formalaşmasında Azərbaycan milli ruhunun aynası olan Gəncə dövrü ən məhsuldar dövr olmuşdur. Qəbul edilmiş qərarlar Cümhuriyyətin sonrakı taleyində önəmli rol oynamışdır. Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin Gəncədəki üç aylıq fəaliyyəti tariximizin və dövlətçiliyimizin ən şanlı səhifələrindən biri kimi tarixə yazıldı.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI:

1. Azərbaycan Xalq Cümhuriyyəti: 100 sual, 100 cavab. –Bakı: Mütərcim, 2018. – 148 səh.
2. Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin Gəncə quberniyasından olan dövlət xadimləri. Gəncə, 2018. 350 s.
3. İsayeva A. Həsənova N. Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin Gəncə dövrü. "Gəncədən başlayan dövlətçilik səlnaməsi" mövzusunda respublika elmi konfransın materialları. Gəncə "Elm" nəşriyyatı, 2025-ci il. 291 səh.
4. Исмаилов М.А. Капитализм в сельском хозяйстве Азербайджана на исходе XIX – в начале XX в., Баку, 1964.

5. Qəhrəmanlı N. Nəsib bəy Nümunəsi. Bakı, 2008. 263 s.
6. Qurban T. Dönməzlik. Bakı, Şirvannəşr, 1997. 114 s.
7. Murad Z. "Gəncə üsyanı - 85". "Gəncəbasar" qəzeti, 12 mart 2005.
8. Rəsulova N. "Gəncə Azərbaycan milli-azadlıq hərəkatının mərkəzi və Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin paytaxtı kimi". AMEA Gəncə Bölməsi "Xəbərlər məcmuəsi" (İctimai və humanitar elmlər seriyası). №2(10). "Elm", Gəncə-2024. 94 s.
9. https://azertag.az/xeber/azerbaycan_xalq_cumhuriyyetinin_gence_dovru_tariximizin_en_parlaq_sehifelerinden_biridir-1792083

TEODOR MENZEL VƏ BİRİNCİ TÜRKOLOJİ QURULTAY: AVROPA TÜRKOLOGİYASI PERSPEKTİVİNDƏ TƏHLİL

EMIL QULIYEV
Qarabağ Universiteti
Humanitar və sosial elmlər fakültəsi
Orcid ID: 0009-0001-4263-5229
XANKƏNDİ, AZƏRBAYCAN
emil.qquliyev@gmail.com

VAQİF KAZIMOV
Qarabağ Universiteti
Humanitar və sosial elmlər fakültəsi
Orcid ID: 0009-0008-5392-9012
XANKƏNDİ, AZƏRBAYCAN
vaqifkazimov76@gmail.com

LALƏ MƏMMƏDOVA
Qarabağ Universiteti
Humanitar və sosial elmlər fakültəsi
Orcid ID: 0009-0001-8531-3211
XANKƏNDİ, AZƏRBAYCAN
mamedffa@gmail.com

Xülasə: Məqalə XX əsr türk dünyasının ən mühüm elmi-mədəni hadisələrindən biri hesab olunan və 1926-cı ilin 26 fevral – 6 mart tarixlərində Bakı şəhərində keçirilmiş I Türkoloji Qurultayın tarixi əhəmiyyətinə və onun elmi-siyasi kontekstinə həsr olunmuşdur.
Birinci Türkoloji Qurultayın müasir dövrdə də aktuallığını qoruduğu İlham Əliyev tərəfindən imzalanmış "Birinci Türkoloji Qurultayın 100 illik yubileyinin keçirilməsi haqqında" 22 oktyabr 2025-ci il tarixli sərəncamda da öz əksini tapmışdır. Sərəncamda qeyd edildiyi kimi, beynəlxalq miqyaslı bu elmi forumda türkologiyanın aktual məsələləri geniş və sistemli şəkildə müzakirə olunmuş, türk dünyasının dili, tarixi, etnoqrafiyası, ədəbiyyatı və mədəniyyətinin gələcək inkişafı ilə bağlı mühüm qərarlar qəbul edilmiş, xüsusilə latın qrafikası əsasında vahid ümumtürk əlifbasına keçid məsələsinə xüsusi diqqət yetirilmişdir.
Bu tədqiqatın əsas məqsədi Birinci Türkoloji Qurultayın keçirildiyi tarixi şəraiti araşdırmaq, alman şərqşünası Teodor Menzelin müşahidələri əsasında 1926-cı il Qurultayını dövrün elmi-siyasi kontekstində təhlil etmək və Avropa türkologiyasının bu hadisəyə münasibətini müəyyənləşdirməkdən ibarətdir.
Açar sözlər: Birinci Türkoloji Qurultay, Teodor Menzel, latın əlifbası, türk xalqları, əlifba islahatı

THEODOR MENZEL AND THE FIRST TURKOLOGY CONGRESS: AN ANALYSIS FROM THE PERSPECTIVE OF EUROPEAN TURKOLOGY

EMIL QULIYEV
Karabakh University
School of Humanities and Social Sciences
Orcid ID: 0009-0001-4263-5229
KHANKENDİ, AZERBAİJAN
emil.qquliyev@gmail.com

VAQİF KAZIMOV
Karabakh University
School of Humanities and Social Sciences
Orcid ID: 0009-0008-5392-9012
KHANKENDİ, AZERBAİJAN
vaqifkazimov76@gmail.com

LALƏ MƏMMƏDOVA
Karabakh University
School of Humanities and Social Sciences
Orcid ID: 0009-0001-8531-3211
KHANKENDİ, AZERBAİJAN
mamedffa@gmail.com

Abstract: This article is dedicated to the historical significance and scientific-political context of the First Turkological Congress, held in Baku from February 26 to March 6, 1926, which is considered one of the most important scientific and cultural events of the 20th-century Turkic world.
The enduring relevance of the First Turkological Congress in the modern era is reflected in the decree "On Celebrating the 100th Anniversary of the First Turkological Congress," signed by Ilham Aliyev on October 22, 2025. As noted in the decree, this international scientific forum facilitated a broad and systematic discussion of pressing issues in Turkology. Important decisions were made regarding the future development of the Turkic world's language, history, ethnography, literature, and culture, with special attention paid to the transition to a unified pan-Turkic alphabet based on the Latin script.
The primary objective of this study is to examine the historical circumstances under which the First Turkological Congress took place, to analyze the 1926 Congress within the scientific and political context of the era based on the observations of the German Orientalist Theodor Menzel, and to determine the attitude of European Turkology toward this event.
Keywords: First Turkological Congress, Theodor Menzel, Latin alphabet, Turkic peoples, alphabet reform

GİRİŞ

Qurultayın keçirildiyi dövr (1926-cı ilin 26 fevral – 6 mart tarixləri) Azərbaycan və digər türk dövlətlərinin müstəqillik əldə etməsindən sonra Türk dünyasında yeni siyasi və mədəni mühitin formalaşdığı mərhələyə təsadüf edir. Bu baxımdan, Birinci Türkoloji Qurultayın müasir dövrdə aktuallığını qoruyub saxladığı aydın şəkildə görünür. Azərbaycan Respublikasının Prezidenti İlham Əliyevin 22 oktyabr 2025-ci il tarixli "Birinci Türkoloji Qurultayın 100 illik yubileyinin keçirilməsi haqqında" sərəncamı da bu aktuallığın rəsmi təsdiqi kimi çıxış edir.

Sərəncamda qeyd edildiyi kimi, "beynəlxalq miqyaslı bu unikal elmi forumda türkologiyanın ən aktual məsələləri geniş və sistemli müzakirə obyektinə çevrilmiş, türk dünyasının dili, tarixi, etnoqrafiyası, ədəbiyyatı və mədəniyyətinin gələcəyi ilə bağlı mühüm qərarlar qəbul edilmiş, latın qrafikası əsasında vahid ümumtürk əlifbasına keçid məsələsi xüsusi diqqət mərkəzində saxlanılmışdır" [1].

Türkologiya elminin XX əsr tarixinə nəzər saldıqda, Birinci Türkoloji Qurultayın bu sahədə keyfiyyətcə yeni mərhələnin başlanğıcını qoyduğu aydın olur. Hərçənd türkologiyanın ilkin elmi əsasları Mahmud Kaşğarlının "Divanü-lüğat-it-türk" əsəri ilə qoyulmuşdur, lakin bu elmin müasir elmi standartlara uyğun, sistemli və kollektiv şəkildə inkişafı məhz Birinci Türkoloji Qurultaydan sonra mümkün olmuşdur [2;79].

Lakin bu tarixi hadisə təkcə elmi metodologiyanın yenilənməsi ilə deyil, həm də Türk Dünyasının intellektual elitasına qarşı yönəlmiş sistemli dövlət terrorunun başlanğıc nöqtəsi olması ilə xarakterizə olunur. 1930-cu illərdə Sovet İttifaqında hökm sürən Stalin rejiminin qorxu və təzyiq siyasəti xüsusilə milli elitaya qarşı yönəlmiş dövlət terroru məhz bu Qurultaydan sonra özünü aktiv şəkildə göstərməyə başlamışdı. Elmin və yeni düşüncənin formalaşmasından qorxan totalitar rejim milli kimlik daşıyıcılarını, yəni Türk dünyasının dilçi, tarixçi, ədəbiyyatçı və filosoflarını "xalq düşməni" damğası ilə sıradan çıxararaq həm elmi irsi, həm də milli yaddaşı susdurmaq məqsədi güdürdü.

Qarabağ Universitetinin Elm şöbəsinin müdiri, Filologiya elmləri doktoru Elçin İbrahimova mənbələrlə təminata görə təşəkkür edirik.

1. MENZELIN HESABATI: TÜRKOLOJI QURULTAYIN OBYEKTIV MƏNZƏRƏSI

1926-cı il fevralın 26-dan martın 6-dək Bakıda keçirilən Birinci Türkoloji Qurultayda Almaniyanı Teodor Menzel, Hellmut Ritter və dilçi Ditrix Vestermann kimi nüfuzlu alimlər təmsil edirdilər. Teodor Menzel Qurultay zamanı yazdığı qeydlərini o dövrdə Qərbdə yüksək qiymətləndirilən "Der İslam" jurnalında dərc etdirmişdir [4;1]. Ümumi həcmi 130 səhifəyə çatan bu hesabatı, mahiyyət etibarilə, Avropada Birinci Türkoloji Qurultay haqqında işıq üzü görmüş ilk monoqrafik tədqiqat hesab etmək olar. Menzelin qeydləri qurultaydan dərhal sonra Bakıda nəşr olunan rusdilli stenoqrafik hesabatla müqayisədə daha dolğun və dəqiqdir. Belə ki, rəsmi stenoqrafik hesabatda əsasən rusdilli məruzələr toplandığı, türk dillərindəki çıxışlar isə ixtisar edildiyi və ya qısa icmalla əvəzləndiyi halda, hər iki dili mükəmməl bilən Menzel hər iki istiqamətə proporsional diqqət yetirmişdir. Digər mühüm cəhət isə rəsmi sənədlərdə kəskin mübahisəli məqamların ideoloji redaktəyə məruz qalmasına baxmayaraq, Menzelin qeydlərində bu məqamlar rəsmi hesabatlardan fərqli olaraq, dövrün siyasi diktəsinə tabe edilmədən, obyektiv şəkildə əks olunmuşdur.

Menzelin qeydlərinə əsasən 1925-ci ilin avqustunda qurultayın təşkilat komitəsi mühüm bir qərar verdi: ikinci toplantının Səmərqənddə keçirilməsi şərtilə, Birinci Türkoloji Qurultay Bakıda baş tutmalı idi. Menzel konqresdə iştirak etmək üçün 23 dekabr 1925-ci ildə Batumdan Bakıya yola düşmüş, 3 yanvar 1926-cı ildə Bakıya çatmış, lakin konqresin təxirə salındığını orada öyrənmişdir. 3-4 yanvar 1926-cı il tarixlərindən etibarən, ön konqres xarakterli və iki gün davam edən Ağamalıoğlunun sədrliyi ilə bir iclas keçirilir. Bu iclasda konqresin başlama tarixi 25 fevral 1926-cı il olaraq təyin edilmişdir.

Nəhayət, 1926-cı ilin fevralında qurultay öz işinə başladı. Menzel şəxsi qeydlərində iştirakçıların statistik mənzərəsini böyük dəqiqliklə cızmışdı. Onun siyahısına görə, 131 nümayəndədən 127-si rəsmən qeydə alınmışdı. İştirakçıların tərkibi rəngarəng idi: 18 professor, 22 müəllim, 17 siyasətçi, jurnalistlər və hətta 2 tələbə. Etnik baxımdan isə bu, əsl "Xalqlar Muzeyi" idi; Moğol tipindən Hind-Avropa tipinə qədər bir çox xalqın nümayəndəsi orada idi [3;35].

Qurultay 27 fevraldan davamlı olaraq məruzələrin dinlənilməsinə, türkologiyanın elmi məsələlərinin müzakirəsinə başlayıb. Bu, təkcə bir toplantının deyil, bütöv bir elmi dövrün başlanğıcı idi. Qurultayın materialları və stenoqrafik hesabatlardan məlum olur ki, 17 iclas keçirilmiş, 38 məruzə dinlənilmişdir. Səmədağa Ağamalıoğlu, Teodor Menzel qurultayın tanınmış türkoloq V.V.Radlovun, Türkiyə nümayəndələri isə İsmayıl bəy Qaspıralının şərəfinə keçirilməsini təklif etmişlər.

Qurultayın elmi əhəmiyyəti nə qədər böyük olsa da, Teodor Menzel onun təşkilati və texniki tərəflərindəki boşluqları diqqətdən qaçırmırdı. O qeyd edirdi ki, rus dilində edilən bütün çıxışlar stenoqram vasitəsilə dəqiqliklə qeyd edilsə də, türk dillərindəki təbliğlərdə vəziyyət fərqli idi. Bu dildəki məruzələr üçün natiqlərin şəxsən təqdim etdikləri əlyazma qaralamaları ilə kifayətlənilirdi. Hətta iş o yerə çatmışdı ki, stenoqrafistlər tətil elan etmişdilər. Menzelə qurultay sədri Ağamalıoğlu tərəfindən lütf edilən hesabatlar belə, yalnız son iki sessiyaya qədər olan məlumatları əhatə edirdi.

Qurultay təkcə zalın içində deyil, bütün Bakıda hiss olunurdu. Bakı Universitetinin professorlarının belə giriş kartı almaqda çətinlik çəkdiyi bir vaxtda, sadə xalqın elmə marağı Menzeli heyrətləndirmişdi. O, soyuq havaya baxmayaraq, insanların meydanlarda quraşdırılmış reproduktorların önündə toplaşaraq saatlarla çıxışları dinləməsini xüsusi vurğulayırdı. Gecənin gec saatlarında Bakı küçələrində müxtəlif türk ləhcələrinin əks-səsası ucalırdı.

Qurultayda "qadın faktoru"nun məhdud olması Menzelin diqqətindən yayınmamışdı. Hansı ki Menzel qurultaya müxtəlif ali təhsil müəssisələrindən təmsilçi olaraq qoşulanların arasında cəmi 5 qadın tələbənin olduğunu eləcə də Azərbaycanlı millətvəkili Sultanovanın qatıldığını lakin müzakirələrdə demək olar ki nəzərə çarpmadığını qeyd etmişdi. Cəmi bir neçə qadın nümayəndənin iştirakını və onların iclaslarda demək olar ki, görünməməsini Menzel türk xalqlarının şüurundakı "İslam psixologiyası"nın hələ də tam aşılmaması ilə izah edirdi [3;28].

Qurultaya dəvət olunmuş tanınmış türkoloqlar maraqlı məruzələrlə çıxış etmişlər. Məruzələr arasında akademik Bartoldun "Türk xalqlarının tarixinin öyrənilməsinin müasir vəziyyəti" mövzusundakı çıxışı xüsusi yer tuturdu. Bartold qeyd edirdi ki, türklər tarixin müxtəlif dönəmlərində böyük dövlətlər qursalar da, öz dillərində yazılı ədəbiyyat (xüsusən nəsr) yaratmaqda gecikmişdilər. Onlar fəth etdikləri ölkələrin (İran, ərəb coğrafiyası) daha güclü mədəniyyətlərinin və dillərinin təsiri altına düşmüşdülər. Menzel üçün bu cür elmi təhlillər qurultayın işıqlı tərəfi olsa da, o, ümumi mənzərəni sovet rejiminin yaratdığı bir "Potyomkin cəbhəsi" – yəni, real sıxışdırmaları gizlədən parlaq bir vitrin kimi qiymətləndirirdi.

Qurultayın ən önəmli və mübahisəli mövzusu əlifba məsələsi idi. Belə ki digər mövzular əlifba məsələsi üçün giriş rolunu ehtiva edirdi. Sovet hakimiyyətinin məkrli niyyəti əlifba məsələsində də özünü göstərirdi. Belə ki bu məsələni ortaya atmaqla o özünü əməkçi insanların mənafeyini müdafiə edir kimi göstərərək xalqı öz tərəfinə çəkməyə çalışırdı. Bu mövzuda Rusiya türklərinin istifadə etdiyi ərəb qrafikalı əlifbanın dəyişdirilməsinin məqsədəuyğunluğu müzakirə edilir. Həmçinin, ərəb əlifbasından imtina ediləcəyi təqdirdə, onun Kiril və ya Latın qrafikası ilə əvəzlənməsi, o cümlədən bütün Rusiya türkləri üçün ortaq, yoxsa ayrı-ayrı əlifbaların tətbiq olunması məsələləri təhlil olunur.

Qurultayın rəsmi protokollarına əsasən ümumilikdə keçirilmiş 17 iclasdan üçü-10-cu, 11-ci və 12-ci iclaslar tam şəkildə əlifba məsələsinə və onunla bağlı məruzələrə çıxışlara və diskussiyalara həsr olunmuşdur. Müzakirələr zamanı iştirakçılar yekdil olmamış, onlar arasında fərqli baxışlar, yanaşmalar ortaya çıxmış və bütün bunlar məsələnin həllində yekun nəticəyə gəlinməsini gecikdirmişdi. Bütün bunlar bir daha onu göstərir ki, iştirakçılar üçün bu məsələ yalnız linqvistik seçim olmamış, gələcək nəsillərin milli kimliyin formalaşması, təhsili, intellektual və qlobal məkanda mövqeyinin müəyyənləşdirilməsi baxımından həlledici idi. Qurultayda iştirak edənlərin məsələ ilə bağlı münasibətlərinə əsasən onları şərti olaraq 4 qrupa bölmək olar; latın qrafikasına keçidi qəti şəkildə müdafiə edənlər, ənənəvi yazı sisteminin saxlanılmasını istəyənlər, texniki neytrallıq mövqeyi tutanlar və kompromis təklifləri ilə çıxış edən tərəflər yer alırdı [2;97-98].

Ərəbpərəstlər öz fikirlərini belə əsaslandırırdılar ki, ərəb əlifbası çox zəngin və türk dillərinin leksik-semantik xüsusiyyətlərinə uyğunluğu ilə seçilir. Onlar belə hesab edirdilər ki, əlifbanın dəyişdirilməsi dilin təbii inkişafını pozmaqla bərabər milli-mənəvi dəyərlərə zərbə vuracaqdır. Tatarıstandan olan nümayəndə Qalimcan Şərəf bildirmişdi ki, Ərəb yazısının latın yazısı ilə əvəz olunması heç bir iqtisadi və mədəni tərəqqiyə səbəb olmayacaqdır, əksinə bir neçə il bizi geri salacaqdır. Buna görədə biz bu məsələdə lazımi uzaqgörənliklə hərək etməliyik yoxsa bundan çox əziyyətlər çəkəciyik. Qalimcan Şərəfin latın əlifbası əleyhinə etdiyi çıxışı Kazan ziyalılarının əlifba məsələsindəki fikirlərini əks etdirən bir nitq olmaqla yanaşı, həm də Sovet mərkəzinin siyasi və mədəni siyasətinə qarşı bir reaksiyadır. Kazanlı nümayəndələr latın qrafikasına keçməkdənsə, Kiril əlifbasını üstün tutacaqlarını bildirmişdilər.

Latın əlifbasına keçidi dəstəkləyən nümayəndələr qəti mövedən çıxış etmişdilər. Məsələn Özbəkistanlı nümayəndə Rəhim İnoqanov "ərəb əlifbasının köhnə və ya islah olunmuş variantları fonetik baxımdan türk dillərinə uyğun deyil, oxu və yazıda çətinlik yaradır, latın əlifbasına keçid həm praktik həm də gələcək

nəsillərin savadlanması baxımından daha məqsədəuyğundur, köhnə ədəbiyyatın qorunması arqumenti isə əsassızdır" demişdir [2;165].

T. Menzel latın qrafikasına keçidlə bağlı aparılan müzakirələr zamanı ən dramatik hadisələrin canlı şahidi olmuş, "ənənəçilər" (əsasən ərəb əlifbasını qorumaq istəyən dindar akademiklər) ilə Sovet rəhbərliyinin dəstəklədiyi "islahatçılar" arasındakı kəskin qarşıdurmanı təsvir etmişdir.O, latın əlifbasına qarşı çıxanlara necə psixoloji təzyiq göstərildiyini müşahidə edir. Menzelin sözlərinə görə, Türkiyə nümayəndə heyəti (Mehmet Fuat Köprülü də daxil olmaqla) əvvəlcə ehtiyatlı, gözləmə yanaşması tətbiq etdi və bu da sovet təşkilatçılarını qəzəbləndirdi. Alman şərqşünası Köprülüzadəni elm və siyasət arasındakı həssas tarazlığı məharətlə qoruyan uzaqgörən və tədbirli bir fiqur kimi xarakterizə edir. Onun əlifba islahatı ilə bağlı qəti mövqe bildirməkdən yayınması Menzel tərəfindən fərdi tərəddüd deyil, məhz Ankaranın o dövrdə yürütdüyü ehtiyatlı xarici siyasət xəttinin qurultaydakı təzahürü kimi qiymətləndirilir

Bakı Türkoloji Qurultayında iştirak edən qərbli türkoloqlar birbaşa türkləri maraqlandıran məsələlərdə, xüsusilə latın əlifbası mövzusunda bitərəf qaldılar. T. Menzel latın əlifbasının qəbulunun türklərin daha sürətlə tərəqqi etməsinə kömək edəcəyini qeyd edir, lakin "əgər bu yeni əlifba indiyə qədər ərəb əlifbasının az-çox təmin etdiyi ədəbi dil birliyini eyni şəkildə təmin edərsə" şərtini irəli sürürdü. O, "əlifba məsələsi türk xalqlarının daxili məsələsi olduğu üçün" hərflərlə bağlı səsvermədə bitərəf qaldığını açıqlayırdı. Lakin o, ərəb əlifbasının tamamilə ləğvinin gözəl sənətlər və sənətin bir çox sahələrində göstərdiyi müsbət təsirlər baxımından "bir az təəssüf doğurduğunu" da bildirirdi. Fransız türkoloqu Jozef Kastanye isə belə yazırdı: "Əgər azərbaycanlılar latın əlifbasını qəbul etsələr, İstanbulda nəşr olunan bir kitabı oxuya bilməyəcəklər. Bu isə türk ölkələri və müsəlmanlar arasındakı bağların qopması deməkdir".

Əlifba üzərindəki müzakirələr səsvermə mərhələsinə keçildikdə işin mahiyyəti dəyişir. T. Menzelin ifadəsi ilə desək, səsvermədə "dəmir pərdə" təsiri hiss olunur. Belə ki nümayəndələrin arasında yeddidən çox Ərəbist olmasına baxmayaraq yenədən onların hamısı reform leyhinə səs vermişdilər. Səs vermə nəticəsində latın qrafikasının qəbuluna üstünlük verildi və bu ümümtürk əlifbasının formalaşdırılması və tətbiqi istiqamətində mühüm addım oldu. Latın əlifbasının tərəfdarları geniş əksəriyyəti təşkil etdi ərəb əlifbasının tərəfdarları isə azlıqda qaldı [3;119]. Qəbul edilmiş qərarın icrası və tətbiqinin təmin olunması məqsədilə Qurultay tərəfindən geniş tərkibli komissiya yaradıldı. Komissiyanın əsas vəzifəsi isə qərarın rəsmi şəkildə redaktə olunması, texniki düzəlişlərin aparılması və yeni əlifbanın sistemli şəkildə tətbiqinin təşkili oldu.

NƏTİCƏ

1926-cı il Bakıda keçirilmiş Birinci Türkoloji Qurultay Türk dünyasının elmi-mədəni tarixində mühüm mərhələ hesab olunur. Qurultayın əhəmiyyəti həm elm adamlarının türk dilləri və mədəniyyətləri ilə bağlı ortaq problemləri müzakirə etməsi həm də türk xalqları arasında elmi və mədəni əməkdaşlığın əsaslarının qoyulması baxımından xüsusi qiymətə malikdir. Menzelin bu qurultayda iştirakı və müşahidələrini qeydə alaması qurultayla bağlı mühüm məlumatların əldə edilməsində önəmli rol oynayır. Bakının bu mötəbər tədbirə ev sahibliyi etməsi tamamilə qanunauyğun bir hal idi; belə ki, konqres iştirakçısı alman türkoloq Teodor Menzelin qeyd etdiyi kimi, Bakı o dövrdə həm Rusiya hüdudlarında türkdilli xalqların yaşadığı ən intellektual şəhər hesab olunurdu, həm də Orta Asiyadakı qeyri-sabitlik fonunda öz neft zənginliyi, güclü sənayesi və yüksək ixtisaslı kadr potensialı ilə digər türk respublikalarını qabaqlayaraq bu tarixi təşəbbüsü tərəddüdsüz öz üzərinə götürmüşdü.

Nəticə olaraq, T.Menzelin qeydlərinə əsasən deyə bilərik ki, O, Türkoloji Qurultayın Sovet hakimiyyətinin nəzarət alətinə çevrildiyini başa düşmüşdü. Sovet mənbələri qurultayı böyük bir nailiyyət kimi tərənnüm etdiyi halda, Menzel hadisənin daxili mahiyyətinə nüfuz edə bilmişdi: O, təşkil edilən ziyafətlərin pərdəarxasındakı kütləvi aclığı, gur alqışların kölgəsindəki qorxunu və əlifba islahatının daxilinə gizlənmiş siyasi tələni görməyi bacarmışdı.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Birinci Türkoloji Qurultayın 100 illik yubileyinin keçirilməsi haqqında sərəncam. (2025), https://president.az/az/articles/view/70396
2. İbrahimov, E. (2026). Birinci Türkoloji Qurultayda ortaq əlifba imla və ədəbi dil məsələləri. Bakı, MİMTA Yayımları.
3. Menzel, T. Bakü I. Türkoloji Kongresi 26 Şubat – 6 Mart 1926. (Çev. S. Ünlü). Palet Yayınları (2017).
4. Orxan Aras. Bakı Türkologiya Konqresində bir alman - Teodor Menzel. (2026).

ƏLAVƏLƏR



Şəkil 1: Birinci Türkoloji Qurultay iştirakçılarının kollektiv fotosu



Şəkil 2 : T.Menzelin fotosu

FROM NATIONAL UNITY TO GEOPOLITICAL POSITIONING: THEMES AND STRATEGIES IN POLITICAL RHETORIC

MUNAVVAR ASGAROVA
Baku Engineering University
Department of Foreign Languages
KHIRDALAN, AZERBAIJAN
muasgarova@beu.edu.az
0009-0007-5594-9175

Abstract: This study discusses how Azerbaijan went through a rhetorical shift of national unity to geopolitical positioning using the rhetorics of the political leaders. Heydar Aliyev's unifying language during the crisis period is aimed at ensuring social integrity. Ilham Aliyev's rhetoric positions Azerbaijan as a righteous, strong and strategic actor in the international arena. The speeches of the 2020 Karabakh Victory and the 2022 Organization of Turkish States are among the most obvious examples of this transformation. According to the study, political rhetoric appears to be a strategic instrument which, in addition to domestic politics, applies to international relations.
Keywords: political rhetoric, national unity, geopolitical positioning, discourse analysis, strategic leadership

I. INTRODUCTİON

Political rhetoric is one of the most effective tools that leaders use to mobilize society, provide legitimacy and create public opinion in line with their political goals. Especially in forms of government dominated by authoritarian or centralist tendencies, political discourse is not only a form of communication; it is also a construction process in which the social structure is shaped.

As in the post-Soviet geography, in social contexts where the construction of national identity and state legitimacy are fragile, the discourse of "national unity" stands out as the cornerstone of political rhetoric. However, this discourse, especially when combined with foreign policy discourses, leaves its place to increasingly complex and multi-layered geopolitical positioning strategies. As the leaders focus on integrity inside, they develop a multidimensional culture of rhetoric by focusing on regional leadership, strategic alliance and discourses on security outside. The chain of speech, stretching between the national unity and geopolitical inclusion is built on the background of both the past memory and the present fears and apprehensions.

Political rhetoric that aims to guarantee social legitimacy and continuance of power can be defined as a stratified model of strategies that accommodate not merely verbal message but also reproduction of social reality. The themes and orientation of political discourse are of importance especially in the states in which a period of transition to a new stage exists and which are undergoing a process of identity building and international positioning. Here, the process of transformation of the narrative of the national unity into the geopolitical standing is more than a political preference, it is an ideological, cultural and strategic orientation.

In the current literature, political discourse analysis mostly focuses on ideological content or examines the formal aspects of discourse. However, the thematic shifts that occur over time in the content of the discourse are important for understanding both the changing goals of the leader and the redefined needs of society. Therefore, not the content of political discourse only will be taken into consideration, but also the social and international contexts of its construction.

The focal point of the given research is to study the process of transition between the focus on national unity and the positioning on the geopolitical stage at the discursive level investigating the transformations which have occurred over the years in the rhetorical strategy of political leaders as pertaining to themes. As was specifically the case in countries which have undergone a process of the post-Soviet transition, the role of political discourse includes not only the provision of the internal political stability but also the creation of the legitimacy within the international arena.

In the research, it is aimed to decode the linguistic bridges established between the inward-looking discourse of "unity and togetherness" and the outward-looking image of "regional power" or "strategic partner". Thanks to this analysis, it will be shown that political rhetoric is not only a form of communication; it is also a form of taking a historical, cultural and geopolitical position. The study will proceed by discourse analysis method through specific leader speeches and texts and will evaluate the social and international responses of strategic discourse changes.

II. LİTERATURE REVİEW

Political rhetoric is one of the main tools that make the ideological orientations, political goals and social legitimacy of leaders visible. This rhetoric is not limited only to formal linguistic features; it also includes thematic patterns shaped according to historical, cultural and geopolitical contexts. Fairclough (1995) shows the close connection of discourse analysis with ideology by emphasizing that political discourse reconstructs social reality [1]. In this context, the concepts of "unity", "sovereignty" and "stability" are often processed through political rhetoric in post-Soviet countries where the construction of national identity is at the center [2].

When considered in particular in Azerbaijan, it is seen that the contextual and symbolic aspects of political rhetoric are quite strong. Bayramov (2020) points out that the topic of the Karabakh issue is processed in political discourse not only as an issue of territorial integrity, but as the constituent of the national identity and the national memory. Here the theme of national unity as brought out in the discourse of leadership can be seen not just as a rhetoric point, but as a structural concept that enhances social solidarity. Especially, in the period after the Karabakh Victory of 2020, this rhetoric has been successfully integrated into foreign policy and Azerbaijan's regional role has become more visible [3].

The Azerbaijan foreign policy discourse gives a strategic significance to geopolitical positioning. The discourse of the political leadership is directly mirrored by the position of the country on the energy corridors as well as by the economic and diplomatic bridge it has built between Europe and Asia. It is stated that such discourses have not only symbolic, but also practical consequences, and Azerbaijan's multilateral diplomacy skills are supported by a discursive basis. Concepts such as "independence", "neutrality" and "common interest" form the basis of the balanced relations that Azerbaijan has established with both the East and the West [4].

It is emphasized that the persuasive power of political discourse is built through strategies such as metaphors, repetitions and historical references. In the case of Azerbaijan, it is observed that these strategies are woven with symbols that activate collective memory, especially "ancestral lands", "historical duty" and "martyrdom" [5]. Such discourse serves not only to offer social mobilization at home but also to justify resolute and rights-based foreign policy course.

In addition, Azerbaijan offers the ideal of being a "leading country" by blending it with its historical mission, as it is in Turkish foreign policy. The active participation of Azerbaijan within multilateral organizations, the Organization of Turkish States in particular, demonstrates that this vision is not only realized at rhetorical level only, but also at operational one. Such state of affairs helps the country be regarded as more sovereign and multipolar international actor in the global system [6].

Political discourse periodically serves the function of generating domestic political legitimacy and balancing foreign political positioning. Within this framework, Azerbaijan has ensured stability both by developing unifying discourses for the people in times of crisis and by positioning itself as a constructive, balanced and respected actor in international relations in times of peace. This two-way strategic discourse is an important indicator of success in Azerbaijan's political communication [7].

As a result, it is clear in the literature that political rhetoric does not only serve domestic political purposes; it also functions as a means of generating prestige, trust and strategic position in the international arena. The example of Azerbaijan attracts attention as one of the rare countries that carry out this process effectively both on a discursive and practical level. This study also aims to analyze more closely how this original rhetoric was established and how it transformed.

III. MATERİALS AND METHODS

A. Research design

This research will entertain a qualitative research design so that it can evaluate the establishment of themes of national unity and geopolitical positioning in the discourses of political leaders. Norman Fairclough's Critical Discourse Analysis (CDA) method was based on the aim of examining not only the linguistic, but also the historical, social and ideological dimensions of discourse [1].

The data set of the research consists of a total of four official speeches made by Azerbaijani Presidents Heydar Aliyev and Ilham Aliyev at different periods. The speeches have been chosen regarding their density of the content and diversity of their themes and are following:

- Heydar Aliyev's crisis-era speech in 1993, in which he called for national unity,
- Ilham Aliyev's foreign policy speech in 2013, which included an emphasis on international legitimacy,
- Ilham Aliyev's address to the nation after the Karabakh Victory on November 10, 2020,

➢ Ilham Aliyev's speech on regional cooperation at the Organization of Turkish States Summit in 2022.

During the analysis process, each text will be analyzed by coding in terms of the main themes it contains (for example, "unity", "independence", "historical right", "geopolitical power"); the linguistic strategies used (metaphors, repetitions, "us/them" opposition, historical references) will be determined. Thus, both the contextual structure of political discourse and the function of this discourse on society will be interpreted in depth.

There is no ethical risk because all the data are obtained from publicly available sources. In order to maintain objectivity in the analysis process, the texts will be evaluated in their context and the researcher will adopt a reflective attitude away from prejudice.

B. Data collection

Heydar Aliyev – National Unity Speech (1993) – reconstructed speech used for analytical purposes

"The Republic of Azerbaijan is at the edge of a huge menace. The state is threatened of its existence. During these hard times, only through unity and togetherness can we be able to survive. We have blacked out in the declaration of our independence, but we cannot live under the declaration of our independence, nor talk our independence, all we need is the blood to keep our independence alive, we must fight. We must stand firm against ethnic discrimination, division, foreign interventions. We are nation, we are a state. National unity is the guarantee to our future. No chance should be provided to the people who are interested in separating us. Today is the solidarity day. History has made us very well aware of what states nations that were unable to demonstrate unity have entered into. Azerbaijani people are intelligent, long suffering and resolve people. so long as we hold on to these qualities no force can ruin us."

Ilham Aliyev – International Rights Speech (2013) – reconstructed speech used for analytical purposes

We have never been against a peaceful solution. We honored the judgments of Minsk Group. But then years come and occupation is not over. International law has also been treated unjustly along with the case of Azerbaijan. Armenia ought to desist promptly, the occupied territories. Patience of the Azerbaijani people is not to be viewed as the sign of weakness. We are a powerful state and a moral state. This is a fact that must be seen by the world public opinion now. Seriously speaking, we are not alone; there are other countries that support us. All persons, who are in favor of justice, are in favor of Azerbaijan. We shall never give up this fight on or off the table."

Ilham Aliyev – Victory Speech (November 10, 2020) – reconstructed speech used for analytical purposes

"We made history today. We have got our liberated territories back, which were thirty years occupied. This victory was achieved not only through arms, but through faith, desire, and firm solidarity of our people. People of the whole world have witnessed the way how Azerbaijani people defend their land. There we hurt no one at all: we simply claimed our own. This is the start of a new era. Azerbaijan is the current epicenter of the security and cooperation not only in the South Caucasus, but also in the entire region. We are going to take a new strategic line and reinforce our relations with the Turkic world. It is up to us to do this historic work to our past as we do to our future."

Ilham Aliyev – Speech at the Organization of Turkish States Summit (2022) – reconstructed speech used for analytical purposes

"Azerbaijan is one of the main actors of energy security, regional peace and strategic cooperation today. We insist on uniting the Turkic world, not only economical terms, but also in cultural and political terms. This is not only associated with the past, this is a future vision as well. The connection of brotherhood which begins nowadays in Baku and ends in Istanbul, in Tashkent and Bishkek is also a promise of stability in the region. With our common goals added to our common history and language we have something much better structured. Azerbaijan is always ready to assume a constructive, responsible and leading role in this process."

IV. FİNDİNGS

According to the discourse analysis, the political discourses of Heydar Aliyev and Ilham Aliyev show strong and transformative features both in terms of content and strategy. The ideas of state survival and social integrity are in the center stage in the speech of Heydar Aliyev in 1993. Especially during the crisis period, the message of unity he gave was evaluated as a discourse that kept the people together, gave confidence and revealed his leadership capacity. The emphasis on "smart", "patient" and "determined people" not only gave morale to the people, but also made them the subject of the future of the state.

Ilham Aliyev's speeches analyzed show how the political discourse has developed over time and the country has turned into a powerful actor not only inside but also outside. In his speech in 2013, the language of a diplomatic strategy that carries Azerbaijan's just cause to the world public opinion within the framework of the themes of international law and justice is seen. In the 2020 Victory speech, on the other hand, a narrative that represents both national unity and military and political success, in which the leader integrates with the people, stands out. On the other hand, the Organization of Turkish States speech in 2022 supports Ilham Aliyev's visionary leadership with his rhetoric that strengthens regional cooperation.

These findings reveal that both leaders adopted a political discourse that increased social motivation, strengthened national pride and raised the position of Azerbaijan at different periods.

V. DISCUSSION

The analysis set out in the findings has demonstrated that the postulations of Heydar Aliyev and those of his son Ilham Aliyev were essentially not mere reactions to the demands of their times but constructive discourse and relative discourses which have created superb rhetorical frames and built collective memory and national consciousness of the people. Heydar Aliyev's unifying language aimed at consolidating the foundations of the state has gained the trust of the people and has become the cornerstone in the process of preserving Azerbaijan's independence. The determination in his discourse has created national resistance against threats and emerged as a force that mobilizes society.

Instead, Ilham Aliyev has used this point as a basis of the vision which on the one hand can unite the national sovereignty and on the other one can influence national independence on the international level even more. Diplomatic and strategic accomplishments have also helped to support the rhetoric of the three. Especially the discourses after the Karabakh Victory emphasize the strong bond between the people and the leader, while legitimating Azerbaijan's regional leadership. As an example of the transformation of the cultural ties of relations with the Turkic world into political and economic integration, it is important to mention the 2022 speech, which states that relations with the Turkic world have priority.

As a result, the discourses of both leaders have been decisive in ensuring Azerbaijan's unity and stability both at home and in becoming a strategic and respected actor in foreign policy. In this respect, their political rhetoric is not only a communication tool; it is a reflection of a visionary leadership in a social and international sense.

VI. CONCLUSION

In this investigation, we have learned how national unity has given way to geopolitical positioning as expressed by leaders in the field of politics in Azerbaijan. The speech of Heydar Aliyev, in the crisis atmosphere, July 1993, was performed to preserve social integrity and guarantee the existence of the state, mixing a powerful language of unity, which united the people in regard to morale and identity. This rhetoric also served as the backbone of Ilham Aliyev who, in addition to being a powerful state at home, has also pioneered the making of Azerbaijan as a vigilant foreign policy entity. Particularly, the speeches published following the Karabakh Victory in 2020 present the leader in the impressive connection with people and a vision, which promotes the idea of decertification in the international arena. The speech about the Organization of the Turkish States in 2022 is an example of how Azerbaijan wants to be the leader of the region and can take the cultural dependencies and develop them into the strategic relationships. Consequently, the rhetoric of both the leaders has fortified social cohesion in the nation and built the path of Azerbaijan to emerge as an esteemed state in the international community. Herein, the tendency to consider political rhetoric as a strategy implies how far it is not a mode of utterance alone, but a manifestation of strategy.

REFERENCES

[1] Fairclough, N. (1995). *Critical Discourse Analysis: The Critical Study of Language*. Longman.

[2] Wodak, R. (2009). *The Discourse of Politics in Action: Politics as Usual*. Palgrave Macmillan.

[3] Bayramov, A. (2020). Karabağ Sorunu Bağlamında Azerbaycan Siyasi Söyleminde Ulusal Birlik ve Dış Politika. *Avrasya İncelemeleri Dergisi*, 8(2), pp. 114–132.

[4] Isaacs, R. (2018). *Film and Identity in Kazakhstan: Soviet Past and Nation-building Present*. Bloomsbury.

[5] Chilton, P. (2004). *Analysing Political Discourse: Theory and Practice*. Routledge.

[6] Kazancı, G. (2015). Türk dış politikasında söylem ve kimlik: Stratejik derinlik perspektifi. *Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 12(48), pp. 97–118.

[7] Yılmaz, I., & Bashirov, G. (2018). The AKP after 15 years: Emergence of Erdoganism in Turkey. *Third World Quarterly*, 39(9), pp. 1812–1830.

ABŞ-IN MÜTTƏFİQLƏRİ İLƏ OLAN DİPLOMATİK VƏ HƏRBİ ƏMƏKDAŞLIQLARININ MÜASİR DÖVRDƏ SÜLH VƏ TƏHLÜKƏSİZLİYƏ TƏSİRİ

AYTƏN ALMƏMMƏDOVA
Bakı Mühəndislik Universiteti
İxtisas: Dünya siyasəti
XIRDALAN, AZƏRBAYCAN
aalmemmedova@std.beu.edu.az

Xülasə: ABŞ-ın müttəfiqləri ilə olan diplomatik və hərbi əməkdaşlıqlarının müasir dövrdə sülh və təhlükəsizliyə təsiri, xüsusilə Yaxın Şərq regionu kontekstində təhlil edilmişdir. Araşdırma göstərir ki, ABŞ-ın İsrail, Səudiyyə Ərəbistanı və digər strateji tərəfdaşları ilə qurduğu əməkdaşlıq münasibətləri regional və qlobal təhlükəsizlik sisteminin formalaşmasında mühüm rol oynayır.
Tədqiqat nəticələrinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, ABŞ-ın hərbi yardımları, silah satışları və təhlükəsizlik əməkdaşlığı bir tərəfdən terrorizmə qarşı mübarizəni gücləndirir və müəyyən sabitlik elementləri yaradır. Digər tərəfdən isə bu fəaliyyətlər Yaxın Şərqdə silahlanma yarışını sürətləndirir, münaqişələrin dərinləşməsinə və siyasi qeyri-sabitliyin artmasına səbəb olur.
Statistik təhlil göstərir ki, ABŞ-ın regiona yönəlmiş hərbi və strateji fəaliyyətlərinin artması ilə paralel olaraq regional münaqişələrin sayı da yüksəlmişdir. Bu isə təhlükəsizlik siyasətinin hər zaman müsbət nəticələr vermədiyini, bəzi hallarda isə əks təsir göstərdiyini sübut edir.
Ümumilikdə, tədqiqat belə nəticəyə gəlir ki, ABŞ-ın müttəfiqləri ilə əməkdaşlığı qlobal təhlükəsizlik sistemində mühüm rol oynasa da, onun effektivliyi daha balanslı və çoxtərəfli yanaşmaların tətbiqindən asılıdır. Xüsusilə Yaxın Şərqdə davamlı sülhün təmin olunması üçün yalnız hərbi deyil, həm də diplomatik və iqtisadi alətlərin kompleks şəkildə istifadə olunması vacibdir.
Açar sözlər: ABŞ, əməkdaşlıq, hərbi ,Yaxın Şərq, təhlükəsizlik, münaqişələr, sülh

THE IMPACT OF DIPLOMATIC AND MILITARY COOPERATION WITH THE US ALLIES ON PEACE AND SECURITY IN THE MODERN ERA

AYTEN ALMAMMEDOVA
Baku Engineering University
Specialization: World Politics
KHIRDALAN, AZERBAIJAN
mail: aalmemmedova@std.beu.edu.az

Abstract: The impact of diplomatic and military cooperation with the US allies on peace and security in the modern era has been analyzed, especially in the context of the Middle East region. The study shows that the cooperative relations established by the US with Israel, Saudi Arabia and other strategic partners play an important role in the formation of the regional and global security system.
According to the results of the study, it was determined that US military assistance, arms sales and security cooperation, on the one hand, strengthen the fight against terrorism and create certain elements of stability. On the other hand, these activities accelerate the arms race in the Middle East, lead to the deepening of conflicts and increased political instability.
Statistical analysis shows that the number of regional conflicts has also increased in parallel with the increase in US military and strategic activities aimed at the region. This proves that security policy does not always produce positive results, and in some cases has the opposite effect.
Overall, the study concludes that while US cooperation with its allies plays an important role in the global security system, its effectiveness depends on the application of more balanced and multilateral approaches. In order to ensure lasting peace, especially in the Middle East, it is important to use not only military, but also diplomatic and economic instruments in a complex manner.
Keywords: USA, cooperation, military, Middle East, security, conflicts, peace.

GİRİŞ

Müasir beynəlxalq münasibətlər sistemində böyük güclərin geosiyasi strategiyaları qlobal və regional təhlükəsizlik mühitinin formalaşmasında həlledici rol oynayır. Bu kontekstdə ABŞ-ın müttəfiqləri ilə qurduğu diplomatik və hərbi əməkdaşlıq mexanizmləri xüsusilə diqqət mərkəzindədir. ABŞ uzun illərdir ki, NATO çərçivəsində Avropa ölkələri ilə, eləcə də Yaxın Şərqdə İsrail, Səudiyyə Ərəbistanı və digər strateji tərəfdaşları ilə sıx əməkdaşlıq edərək qlobal təhlükəsizlik sistemində aparıcı aktor kimi çıxış edir.
Qloballaşma və təhlükəsizlik çağırışlarının artdığı müasir dövrdə terrorizm, regional münaqişələr, enerji resursları uğrunda rəqabət və transmilli təhdidlər ABŞ-ın xarici siyasətində müttəfiqlərlə əməkdaşlığın əhəmiyyətini daha da artırmışdır. Bu əməkdaşlıq çərçivəsində həyata keçirilən hərbi təlimlər, silah satışları, təhlükəsizlik müqavilələri və diplomatik təşəbbüslər beynəlxalq sülhün qorunmasına yönəlsə də, onların real nəticələri birmənalı qiymətləndirilmir.
Xüsusilə Yaxın Şərq regionunda ABŞ-ın fəallığı həm sabitləşdirici, həm də destabilizəedici təsirlərlə müşayiət olunur. Bir tərəfdən ABŞ və onun müttəfiqləri terrorizmə qarşı mübarizə, enerji təhlükəsizliyi və regional balansın qorunması istiqamətində mühüm addımlar atır.

Tədqiqatın əsas məqsədi bu əməkdaşlığın regional və qlobal təhlükəsizlik sisteminə müsbət və mənfi təsirlərini müəyyənləşdirmək, xüsusilə Yaxın Şərqdə baş verən proseslər fonunda real nəticələri elmi əsaslarla qiymətləndirməkdir.

TƏHLİL

Barak Obama dövründə ABŞ-ın müttəfiqləri ilə diplomatik və hərbi əməkdaşlığı daha çox çoxtərəfli yanaşma, beynəlxalq institutlara inteqrasiya və "yumşaq güc" elementlərinin gücləndirilməsi üzərində qurulmuşdur. Bu dövrdə ABŞ administrasiyası əvvəlki unilateral siyasətlərdən fərqli olaraq, NATO, Avropa İttifaqı və Asiya-Sakit okean regionundakı tərəfdaşlarla koordinasiyanı prioritet istiqamət kimi müəyyənləşdirmişdir. Obama administrasiyasının əsas məqsədi yalnız hərbi üstünlük deyil, həm də diplomatik balans vasitəsilə qlobal təhlükəsizlik arxitekturasını möhkəmləndirmək olmuşdur[1,s.78].

Obama dövründə ABŞ-ın NATO ilə əməkdaşlığı yeni mərhələyə qədəm qoymuşdur. Əfqanıstan əməliyyatlarında müttəfiq dövlətlərin iştirakı genişləndirilmiş, təhlükəsizlik məsuliyyətinin bölüşdürülməsi siyasəti ön plana çəkilmişdir. Bu yanaşma həm hərbi yükün azaldılması, həm də kollektiv təhlükəsizlik prinsipinin gücləndirilməsi baxımından əhəmiyyətli olmuşdur. Eyni zamanda, NATO çərçivəsində kibertəhlükəsizlik, hibrid təhdidlər və qeyri-ənənəvi təhlükələrə qarşı birgə strategiyalar hazırlanmışdır ki, bu da müasir dövrdə təhlükəsizlik anlayışının transformasiyasını əks etdirir[2,s.130].

Obama administrasiyasının Asiya-Sakit okean regionuna yönəlmiş "Pivot to Asia" strategiyası ABŞ-ın müttəfiqlərlə əməkdaşlığının coğrafiyasını genişləndirmişdir. Yaponiya, Cənubi Koreya və Avstraliya ilə hərbi və strateji tərəfdaşlıq gücləndirilmiş, regionda Çin faktorunun balanslaşdırılması məqsədilə təhlükəsizlik mexanizmləri formalaşdırılmışdır. Bu siyasət regional sabitliyin qorunmasına xidmət etsə də, eyni zamanda geosiyasi rəqabətin artmasına səbəb olmuşdur ki, bu da təhlükəsizlik mühitində ikili təsir yaratmışdır[3,s.125].

Diplomatik müstəvidə Obama dövrü İranla nüvə sazişi (JCPOA) kimi mühüm razılaşmalarla yadda qalmışdır. Bu addım qlobal təhlükəsizliyin möhkəmləndirilməsi baxımından mühüm diplomatik uğur kimi qiymətləndirilmişdir. Lakin eyni zamanda, bu siyasət regiondakı bəzi müttəfiqlər – xüsusilə İsrail və Səudiyyə Ərəbistanı tərəfindən ehtiyatla qarşılanmışdır ki, bu da ABŞ-ın müttəfiqləri arasında maraq balansının nə qədər mürəkkəb olduğunu göstərir[4,s.72]. Obama dövründə ABŞ-ın müttəfiqlərlə hərbi əməkdaşlığı daha çox məhdud müdaxilə və "ağıllı güc" konsepsiyasına əsaslanmışdır. Liviya əməliyyatı bu yanaşmanın nümunəsi kimi çıxış edir; burada ABŞ birbaşa liderlikdən daha çox müttəfiqlərə dəstək verən rol oynamışdır. Bu model hərbi əməliyyatların legitimliyini artırsa da, bəzi hallarda əməliyyatların effektivliyi və nəticələrinin davamlılığı ilə bağlı suallar doğurmuşdur[5,s.140]. Ümumilikdə, Obama dövründə ABŞ-ın müttəfiqlərlə diplomatik və hərbi əməkdaşlığı müasir təhlükəsizlik sistemində kollektiv yanaşmanın gücləndirilməsi, çoxtərəfli institutların rolunun artırılması və qeyri-ənənəvi təhlükələrə qarşı birgə mübarizənin inkişafı ilə xarakterizə olunur. Bununla yanaşı, bu siyasət geosiyasi balansın qorunması, regional rəqabətin idarə olunması və müttəfiqlər arasında maraqların uzlaşdırılması baxımından həm müsbət nəticələr, həm də yeni çağırışlar yaratmışdır[6,s.102].

Cədvəl 1 : Obama dövründə ABŞ-ın müttəfiqlərlə əməkdaşlığının əsas istiqamətləri və təsirləri

Əməkdaşlıq istiqaməti	Əsas müttəfiqlər	Tətbiq olunan siyasət və alətlər	Sülhə təsiri	Təhlükəsizliyə təsiri
NATO çərçivəsində kollektiv təhlükəsizlik	NATO üzv dövlətləri (Almaniya, Fransa, Böyük Britaniya və s.)	Əfqanıstan əməliyyatlarında birgə iştirak, yükün bölüşdürülməsi	Regional sabitliyin qorunması gücləndi	Kollektiv müdafiə mexanizmləri inkişaf etdi
Asiya-Sakit okean strategiyası ("Pivot to Asia")	Yaponiya, Cənubi Koreya, Avstraliya	Hərbi bazaların gücləndirilməsi, strateji tərəfdaşlıq	Regionda güc balansı qorundu	Çin faktoruna qarşı təhlükəsizlik təminatı artdı
Diplomatik əməkdaşlıq və nüvə təhlükəsizliyi	ABŞ + Aİ ölkələri, İranla çoxtərəfli platforma	İranla nüvə sazişi (JCPOA)	Nüvə silahlarının yayılmasının qarşısı qismən alındı	Qlobal təhlükəsizlik riskləri azaldıldı
Yaxın Şərqdə hərbi əməkdaşlıq	NATO müttəfiqləri, ərəb ölkələri	Liviya əməliyyatı (dolayı iştirak, dəstək rolu)	Qısamüddətli sabitlik yarandı	Uzunmüddətli qeyri-sabitlik riski qaldı
Qeyri-ənənəvi təhlükələrə qarşı əməkdaşlıq	NATO və beynəlxalq təşkilatlar	Kibertəhlükəsizlik, hibrid təhdidlərə qarşı strategiyalar	Yeni təhlükələrə qarşı koordinasiya artdı	Müdafiə sistemləri modernləşdirildi

Diplomatik çoxtərəfli yanaşma	BMT, Aİ, G20 ölkələri	"Yumşaq güc", sanksiyalar, beynəlxalq razılaşmalar	Münaqişələrin diplomatik həlli təşviq olundu	Hərbi qarşıdurma riskləri azaldıldı

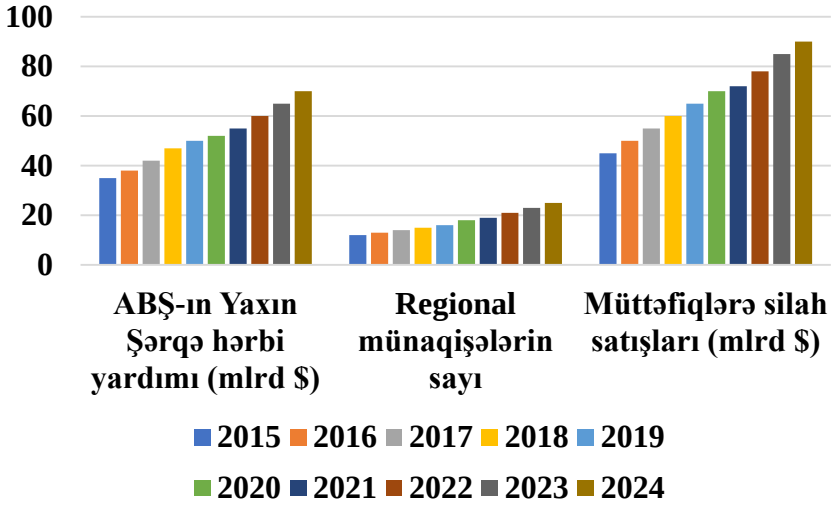
Mənbə: Müxtəlif beynəlxalq təhlükəsizlik hesabatları, NATO və ABŞ xarici siyasət strategiyaları əsasında müəllif tərəfindən tərtib edilmişdir.

Cədvəl 1-də Obama dövründə ABŞ-ın müttəfiqlərlə diplomatik və hərbi əməkdaşlığının müxtəlif istiqamətlər üzrə sülh və təhlükəsizliyə təsiri sistemli şəkildə göstərilmişdir. Təhlil göstərir ki, bu dövrdə əməkdaşlıq əsasən çoxtərəfli yanaşma və kollektiv təhlükəsizlik prinsipləri üzərində qurulmuşdur[7,s.245].
NATO çərçivəsində əməkdaşlıq ABŞ-ın ən stabil və effektiv təhlükəsizlik mexanizmlərindən biri kimi çıxış etmişdir. Əfqanıstan əməliyyatlarında müttəfiqlərlə yükün bölüşdürülməsi həm ABŞ-ın hərbi resurslarına düşən təzyiqi azaltmış, həm də beynəlxalq legitimliyi artırmışdır. Bu, sülhün qorunmasına müsbət təsir etsə də, əməliyyatların uzunmüddətli nəticələri regionda tam sabitlik yaratmağa kifayət etməmişdir[8,s.223].
Asiya-Sakit okean regionunda həyata keçirilən "Pivot to Asia" strategiyası ABŞ-ın geosiyasi maraqlarının yenidən istiqamətləndirildiyini göstərir. Bu siyasət regionda güc balansını qorumağa xidmət etmiş və müttəfiqlərin təhlükəsizlik təminatını gücləndirmişdir. Lakin eyni zamanda Çin ilə rəqabətin artması regional gərginliyi də müəyyən qədər yüksəltmişdir. Bu isə təhlükəsizlik mühitində həm qoruyucu, həm də risk yaradan ikili təsir formalaşdırmışdır[9,s.25].
Diplomatik əməkdaşlıq, xüsusilə İranla nüvə sazişi, Obama dövrünün ən mühüm nailiyyətlərindən biri hesab olunur. Bu razılaşma nüvə silahlarının yayılmasının qarşısını almağa yönəlmiş və qlobal təhlükəsizliyə müsbət təsir göstərmişdir. Bununla yanaşı, bəzi regional müttəfiqlərin narahatlığı ABŞ-ın siyasətində balanslaşdırma problemlərinin mövcud olduğunu göstərir[10,s.40].
Yaxın Şərqdə, xüsusilə Liviya əməliyyatında ABŞ-ın dolayı iştirak modeli diqqət çəkir. Bu yanaşma bir tərəfdən müttəfiqlərin rolunu artırmış və hərbi müdaxilənin legitimliyini gücləndirmişdir, digər tərəfdən isə əməliyyatdan sonrakı dövrdə davamlı sabitliyin təmin olunmaması bu modelin məhdudiyyətlərini ortaya qoymuşdur.
Qeyri-ənənəvi təhlükələrə qarşı əməkdaşlıq, xüsusilə kibertəhlükəsizlik və hibrid təhdidlər sahəsində, müasir təhlükəsizlik konsepsiyasının əsas elementlərindən birinə çevrilmişdir. Bu sahədə müttəfiqlərlə koordinasiyanın gücləndirilməsi yeni risklərə qarşı daha çevik və texnoloji əsaslı müdafiə sistemlərinin formalaşmasına imkan yaratmışdır[10,s.40].
Ümumilikdə, cədvəl 1 də göstərilən istiqamətlər üzrə təhlil sübut edir ki, Obama dövründə ABŞ-ın müttəfiqlərlə əməkdaşlığı qlobal sülh və təhlükəsizliyin qorunmasına mühüm töhfə vermişdir. Bununla belə, bəzi hallarda geosiyasi rəqabət, regional maraq toqquşmaları və müdaxilələrin uzunmüddətli nəticələrinin qeyri-müəyyənliyi bu siyasətin effektivliyini məhdudlaşdıran amillər kimi çıxış etmişdir.
ABŞ-ın müttəfiqləri ilə olan diplomatik və hərbi əməkdaşlıqlarının müasir dövrdə sülh və təhlükəsizliyə təsiri xüsusilə Yaxın Şərq kontekstində mürəkkəb və çoxşaxəli xarakter daşıyır. Bu əməkdaşlıqlar bir tərəfdən regional sabitliyin qorunması, terrorizmə qarşı mübarizə və təhlükəsizlik mexanizmlərinin gücləndirilməsi baxımından mühüm rol oynasa da, digər tərəfdən bölgədə geosiyasi gərginliklərin artmasına və münaqişələrin dərinləşməsinə səbəb ola bilir.
Müasir dövrdə ABŞ-ın Yaxın Şərqdə əsas müttəfiqləri – İsrail, Səudiyyə Ərəbistanı və Körfəz ölkələri ilə qurduğu hərbi-strateji tərəfdaşlıqlar regionda güc balansının formalaşmasına ciddi təsir göstərir. ABŞ bu ölkələrlə silah satışı, hərbi təlimlər, təhlükəsizlik müqavilələri və kəşfiyyat əməkdaşlığı vasitəsilə əlaqələrini gücləndirir. Bu əməkdaşlıqların əsas məqsədi İran kimi regional rəqiblərin təsirinin qarşısını almaq, enerji təhlükəsizliyini təmin etmək və ABŞ-ın qlobal strateji maraqlarını qorumaqdır.
Lakin bu siyasətin nəticələri hər zaman müsbət olmur. "ABŞ Yaxın Şərqi nə günlərə qoyur" ifadəsi məhz bu ziddiyyətli nəticələri əks etdirir. ABŞ-ın bəzi hallarda münaqişələrə birbaşa və ya dolayı müdaxiləsi regionda siyasi sabitliyin pozulmasına gətirib çıxarmışdır. İraq müharibəsi, Suriyada davam edən vətəndaş müharibəsində müxtəlif tərəflərə verilən dəstək, həmçinin İsrail-Fələstin münaqişəsində birtərəfli yanaşma kimi məsələlər Yaxın Şərqdə humanitar böhranların dərinləşməsinə, dövlət institutlarının zəifləməsinə və qaçqın axınlarının artmasına səbəb olmuşdur[11,s.28].
Bununla yanaşı, ABŞ-ın müttəfiqləri ilə birlikdə həyata keçirdiyi təhlükəsizlik strategiyaları bəzi hallarda regionda silahlanma yarışını sürətləndirmişdir. Xüsusilə Körfəz ölkələrinə böyük həcmdə silah satışları regionda hərbi gərginliyi artıraraq sülh perspektivlərini zəiflədir. Bu isə uzunmüddətli təhlükəsizlik əvəzinə qısamüddətli güc balansı yaradır.

Digər tərəfdən qeyd etmək lazımdır ki, ABŞ diplomatik platformalarda da aktiv rol oynayır. Məsələn, normallaşma prosesləri (İsrail ilə ərəb ölkələri arasında münasibətlərin yaxşılaşdırılması) və müxtəlif sülh təşəbbüsləri regionda müəyyən sabitlik elementləri yaratsa da, bu təşəbbüslər çox vaxt selektiv xarakter daşıyır və bütün tərəflərin maraqlarını əhatə etmir.

Nəticə etibarilə, ABŞ-ın müttəfiqləri ilə əməkdaşlığı Yaxın Şərqdə həm sabitləşdirici, həm də destabilizəedici təsirlər yaradır. Bu siyasət bəzi hallarda terrorizmə qarşı mübarizə və təhlükəsizlik sistemlərinin gücləndirilməsinə töhfə versə də, digər hallarda münaqişələrin uzanmasına, siyasi parçalanmaya və humanitar böhranlara səbəb olur. Bu baxımdan, ABŞ-ın regiondakı rolu "təhlükəsizlik təminatçısı" ilə "geosiyasi gərginlik yaradan aktor" arasında dəyişən ziddiyyətli bir xarakter daşıyır.

Qrafik 1: ABŞ-ın Yaxın Şərqdə Müttəfiqləri ilə Hərbi Əməkdaşlığı və Regional Təhlükəsizlik Göstəriciləri (2015–2024)



Mənbə : Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI). (2024). *SIPRI Military Expenditure Database*. https://www.sipri.org/databases/milex

Qrafik 1 dən göründüyü kimi, 2015–2024-cü illər ərzində ABŞ-ın Yaxın Şərqə hərbi yardımı davamlı şəkildə artmışdır. 2015-ci ildə təxminən 35 milyard dollar olan bu göstərici 2024-cü ildə 70 milyard dollara çatmışdır. Bu artım ABŞ-ın regionda strateji maraqlarının güclənməsi, xüsusilə enerji təhlükəsizliyi və geosiyasi təsir imkanlarının qorunması ilə izah olunur.

Eyni dövrdə müttəfiq ölkələrə silah satışlarının da artması diqqəti cəlb edir. Silah ixracının 45 milyard dollardan 90 milyard dollara yüksəlməsi ABŞ-ın İsrail, Səudiyyə Ərəbistanı və digər Körfəz ölkələri ilə hərbi əməkdaşlığının genişləndiyini göstərir. Bu tendensiya regionda hərbi balansın qorunmasına xidmət etsə də, eyni zamanda silahlanma yarışını sürətləndirir.

Qrafik 1 də ən diqqətçəkən məqamlardan biri isə regional münaqişələrin sayının paralel şəkildə artmasıdır. 2015-ci ildə 12 olan münaqişə sayı 2024-cü ildə 25-ə yüksəlmişdir. Bu fakt göstərir ki, hərbi yardım və silahlanmanın artması hər zaman sabitliyə gətirib çıxarmır, əksinə bəzi hallarda gərginliyi daha da artırır.

Qrafik 1 in ümumi təhlili göstərir ki, ABŞ-ın müttəfiqləri ilə hərbi əməkdaşlığı bir tərəfdən təhlükəsizlik mexanizmlərini gücləndirsə də, digər tərəfdən Yaxın Şərqdə münaqişə risklərini və qeyri-sabitliyi artıran amillərdən biri kimi çıxış edir. Bu isə "ABŞ Yaxın Şərqi nə günlərə qoyur" sualının statistik əsasını ortaya qoyur[12,s.75].

NƏTİCƏ

Aparılan təhlillər göstərir ki, ABŞ-ın müttəfiqləri ilə diplomatik və hərbi əməkdaşlığı müasir dövrdə qlobal və regional təhlükəsizlik sisteminə ikili – həm müsbət, həm də mənfi təsirlər göstərir. Bu əməkdaşlıq bir tərəfdən beynəlxalq təhlükəsizlik mexanizmlərinin gücləndirilməsinə, terrorizmə qarşı mübarizənin effektivliyinin artırılmasına və strateji sabitliyin qorunmasına xidmət edir. Xüsusilə NATO çərçivəsində və Yaxın Şərqdə müttəfiqlərlə həyata keçirilən birgə fəaliyyətlər təhlükəsizlik infrastrukturunun inkişafına mühüm töhfə verir.

Lakin digər tərəfdən, ABŞ-ın hərbi mövcudluğu və müttəfiqlərinə geniş miqyasda silah dəstəyi regionlarda, xüsusilə Yaxın Şərqdə gərginliyin artmasına, silahlanma yarışının güclənməsinə və münaqişələrin dərinləşməsinə səbəb olur. Statistik göstəricilər də təsdiq edir ki, hərbi yardım və silah satışlarının artması ilə paralel olaraq regional münaqişələrin sayı da yüksəlmişdir. Bu isə təhlükəsizlik siyasətinin hər zaman sabitlik yaratmadığını, bəzi hallarda isə əks nəticələrə gətirib çıxardığını göstərir.

Nəticə etibarilə, ABŞ-ın müttəfiqləri ilə əməkdaşlığı daha balanslı, inklüziv və diplomatik yanaşmalarla müşayiət olunmadıqca, davamlı sülh və təhlükəsizliyin təmin olunması çətin olaraq qalacaqdır. Bu səbəbdən gələcəkdə beynəlxalq təhlükəsizlik siyasətində hərbi vasitələrlə yanaşı, diplomatik dialoq, iqtisadi əməkdaşlıq və regional inteqrasiya mexanizmlərinə daha çox üstünlük verilməsi zəruridir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Əliyev, R. (2021). *Beynəlxalq münasibətlər və təhlükəsizlik siyasəti*. Bakı: Elm nəşriyyatı, s. 45–78.
2. Hüseynov, S. (2020). ABŞ-ın Yaxın Şərq siyasəti və regional təhlükəsizlik məsələləri. *Bakı Dövlət Universitetinin Xəbərləri*, 3(2), 112–130.
3. Məmmədov, A. (2019). Müasir dövrdə geosiyasi proseslər və Azərbaycan. Bakı: İqtisad Universiteti nəşriyyatı, s. 90–125.
4. Quliyev, T. (2022). Qlobal təhlükəsizlik və münaqişələrin idarə olunması problemləri. *AMEA İqtisadiyyat İnstitutu Jurnalı*, 5(1), 55–72.
5. Bayramov, V. (2023). Enerji təhlükəsizliyi və beynəlxalq əməkdaşlıq. Bakı: Çaşıoğlu nəşriyyatı, s. 101–140.
6. Walt, S. M. (2018). *The hell of good intentions: America's foreign policy elite and the decline of U.S. primacy*. New York: Farrar, Straus and Giroux, pp. 56–102.
7. Mearsheimer, J. J. (2014). *The tragedy of great power politics* (Updated ed.). New York: W.W. Norton & Company, pp. 210–245.
8. Buzan, B., & Wæver, O. (2003). *Regions and powers: The structure of international security*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 187–223.
9. SIPRI. (2024). Military expenditure database. Stockholm International Peace Research Institute, pp. 1–25.
10. U.S. Department of Defense. (2023). *Defense budget overview*. Washington, DC, pp. 15–40.
11. Congressional Research Service. (2023). *U.S. security cooperation and arms sales*. Washington, DC, pp. 7–28.
12. World Bank. (2024). *World development indicators*. Washington, DC, pp. 50–75.

İNŞAAT MÜHƏNDİSLİYİ BÖLMƏSİ

BIM 4D INTEGRATION FOR CONSTRUCTION SCHEDULING OPTIMIZATION IN STEEL STRUCTURES

MIRZAJAN SULTANOV
Baku Engineering University
Architecture and Consruction/Civil Engineering
msultanov@beu.edu.az
KHIRDALAN, AZERBAIJIAN

Abstract: The integration of Building Information Modeling (BIM) with time-related scheduling data, commonly known as 4D BIM, has become an effective approach for improving construction planning and project control. This study investigates the application of 4D BIM for construction scheduling optimization in steel structure projects, which are typically characterized by complex assembly sequences, high dependency on prefabrication, and strict coordination requirements. A BIM-based framework is considered to link 3D structural models with scheduling information in order to enhance visualization, identify sequencing conflicts, and improve decision-making. Quantitative project data were used to evaluate the effect of 4D BIM on project duration, resource utilization, and cost performance. The findings indicate that the integration of 4D BIM significantly improves scheduling efficiency by reducing delays, minimizing idle time, and enhancing coordination among project stakeholders. The optimized project schedule showed a reduction in total duration from 39 days to 33 days, representing a 15.4% improvement. In addition, labor and equipment utilization became more efficient, leading to reduced resource consumption and overall cost savings. The study concludes that 4D BIM provides a practical and reliable approach for improving construction scheduling performance in steel structure projects and offers strong potential for further integration with advanced optimization techniques in future research.
Keywords: 4D BIM, construction scheduling, steel structures, project optimization, BIM integration, resource utilization

Introduction

The architecture, engineering, and construction (AEC) industry has undergone significant digital transformation in recent years, driven largely by advancements in Building Information Modeling (BIM). BIM enables the creation of intelligent 3D models that integrate geometric and semantic information, improving collaboration among stakeholders and reducing design and construction errors [1]. As projects become increasingly complex, especially in large-scale steel structure construction, the need for more advanced planning and control systems has become critical.

The integration of BIM with time scheduling, known as 4D BIM, extends traditional BIM capabilities by linking 3D models with construction schedules. This allows stakeholders to visualize the construction process over time, simulate sequencing scenarios, and identify potential conflicts before they occur on site [2], [3]. Such capabilities significantly enhance decision-making and improve construction planning efficiency.

Steel structure projects are particularly dependent on precise sequencing due to their modular nature, prefabrication requirements, and complex assembly processes. Any deviation in schedule coordination can lead to significant delays, increased costs, and resource inefficiencies. Traditional scheduling tools such as the Critical Path Method (CPM) and Gantt charts are widely used; however, they lack dynamic visualization and integration with design data, limiting their effectiveness in managing complex construction workflows [3], [12].

Recent studies have demonstrated the effectiveness of 4D BIM in improving construction scheduling and project coordination. For example, Huang et al. [4] found that BIM-based 4D scheduling enhances the efficiency of prefabricated steel structure assembly by improving visualization and reducing sequencing errors. Similarly, Wefki et al. [5] highlighted that integrating optimization algorithms, such as genetic algorithms, with BIM systems can further improve scheduling performance by optimizing resource allocation and reducing project duration.

In addition, automated BIM-based scheduling approaches have been explored to reduce manual planning efforts and improve accuracy in construction sequencing [6], [9]. Research also indicates that 4D BIM contributes to better communication among project stakeholders, leading to improved coordination and fewer construction conflicts [7], [8]. Despite these advancements, the application of integrated optimization frameworks within 4D BIM for steel structure construction remains an area that requires further investigation.

Therefore, this study aims to explore the application of 4D BIM integration for optimizing construction scheduling in steel structure projects. The objective is to improve construction efficiency by enhancing visualization, coordination, and schedule optimization through BIM-based digital workflows.

Problem Statement

Despite the increasing adoption of digital technologies in the construction industry, traditional scheduling methods remain widely used, particularly in steel structure projects. These methods, including CPM and Gantt charts, primarily rely on time-based representations and lack integration with spatial design data. As a result, they are unable to effectively capture the complexity of modern construction processes, especially in projects involving large-scale steel structures with significant geometric and logistical constraints [3], [12].

Steel structure construction is inherently complex due to its dependence on prefabrication, strict assembly sequences, and high coordination requirements between different project components. As shown in Table 1, even a medium-scale steel project can involve substantial structural volume, considerable steel weight, and numerous interconnected elements. Managing such complexity using traditional scheduling approaches often leads to inefficiencies, including sequencing conflicts, resource misallocation, and delays in project execution.

Table 1: Key Quantitative Characteristics of the Steel Structure Project

Parameter	**Value**
Building Dimensions (L×W×H)	72 × 30 × 12 m
Total Floor Area	2,160 m²
Building Volume	25,920 m³
Total Steel Weight	75 ton
Number of Structural Elements	72
Planned Project Duration	39 days
Optimized Duration (4D BIM)	33 days
Time Reduction	0.154

Although BIM has improved design coordination and visualization capabilities, its integration with time-based scheduling processes is still not fully utilized in practice. 4D BIM enables the linkage between 3D models and construction schedules, allowing for better visualization of construction sequences and early detection of potential conflicts [2], [3]. However, many projects continue to rely on disconnected systems where scheduling and design data are not effectively integrated, limiting the overall efficiency of project planning [1].

Furthermore, existing research has highlighted the benefits of combining BIM with optimization techniques to improve construction scheduling. Wefki et al. [5] demonstrated that integrating genetic algorithms with BIM can significantly enhance scheduling performance, while Fazeli et al. [6] emphasized the importance of automated 4D BIM workflows in improving planning accuracy. Despite these advancements, there is still a lack of comprehensive frameworks that integrate 4D BIM with optimization approaches specifically for steel structure construction.

As indicated in Table 1, the application of 4D BIM can potentially reduce project duration by approximately 15.4%, highlighting its capability to improve scheduling efficiency. However, the absence of widely adopted integrated solutions limits the ability of construction practitioners to fully leverage these benefits.

Therefore, there is a clear need for a structured and integrated approach that combines 4D BIM with optimization techniques to enhance construction scheduling in steel structure projects. Addressing this gap can lead to improved coordination, reduced project duration, and more efficient utilization of resources.

Result and discussion

The results of this study are evaluated based on the activity-level scheduling data and overall project performance indicators presented in Table 2 and Table 3. These datasets provide a quantitative basis for assessing the impact of 4D BIM integration on construction scheduling optimization in steel structure projects.

Table 2 presents detailed activity-based data, including duration, labor allocation, equipment costs, and resource utilization. The comparison between planned and optimized durations shows consistent

improvements across almost all construction activities. For instance, the duration of beam installation was reduced from 6 days to 5 days, while truss assembly decreased from 7 days to 6 days. The most significant improvement was observed in roof installation, where the duration was reduced by 20%. These reductions indicate that optimized sequencing and better coordination, enabled by 4D BIM, can significantly enhance workflow efficiency.

In addition, the reduction in activity durations directly influenced labor and equipment utilization. As shown in Table 2, total resource usage decreased due to shorter execution times and improved scheduling alignment. Welding works and column installation experienced reduced idle time, allowing for more efficient deployment of labor and machinery. This confirms that 4D BIM not only improves scheduling accuracy but also enhances resource efficiency, which is critical in steel construction projects involving heavy equipment such as cranes.

Table 2: Activity-Based Scheduling, Resource and Cost Data (AZN)

Indicator	**Before Optimization**	**After Optimization**	**Improvement**
Total Project Duration	39 days	33 days	0.154
Total Steel Erection Duration (A2+A3+A4+A5)	26 days	22 days	0.154
Total Resource Usage	251 man-days	221 man-days	0.119
Total Estimated Cost	88,315 AZN	79,480 AZN	0.1
Scheduling Conflicts Detected	6	2	0.667
Idle Equipment Time	14 days	8 days	0.429

Table 3 provides a broader comparison of project performance before and after the implementation of 4D BIM-based optimization. The total project duration was reduced from 39 days to 33 days, corresponding to a 15.4% improvement. Similarly, total resource usage decreased from 251 to 221 man-days, representing an 11.9% reduction. These findings demonstrate that optimized scheduling leads to more efficient use of labor and minimizes unnecessary resource consumption.

Table 3: Overall Project Performance Before and After 4D BIM Optimization

Activity Name	**Duration (days)**	**Start Day**	**Finish Day**	**Crew Size**	**Steel Weight (ton)**	**Labor Cost (AZN/day)**	**Equipment Cost (AZN/day)**	**Total Cost (AZN)**	**Optimized Duration (days)**	**Delay Reduction (%)**	**Resource Usage (man-days)**
Foundation Works	10	1	10	8	-	1,360	850	22,100	9	10.00%	80
Column Installation	8	11	18	6	20	1,020	1,190	17,680	7	12.50%	48
Beam Installation	6	19	24	5	18	935	1,020	11,730	5	16.70%	30
Truss Assembly	7	25	31	7	22	1,190	1,360	17,850	6	14.30%	49
Roof Installation	5	32	36	4	15	850	1,105	9,775	4	20.00%	20
Welding Works	6	19	24	3	-	680	510	7,140	5	16.70%	18
Inspection	3	37	39	2	-	510	170	2,040	3	0%	6

From a cost perspective, the results also indicate a noticeable improvement. The total estimated project cost decreased from 88,315 AZN to approximately 79,480 AZN, reflecting a cost reduction of around 10%. This reduction is primarily attributed to shorter activity durations, lower equipment idle time, and improved coordination of construction processes. Such findings are consistent with previous studies that emphasize the economic benefits of integrating BIM with scheduling and optimization techniques [5], [6].

Another important outcome is the reduction of scheduling conflicts and idle time. As shown in Table 3, the number of detected scheduling conflicts decreased from 6 to 2, while equipment idle time was reduced by

approximately 42.9%. These improvements highlight the role of 4D BIM in enhancing visualization and enabling early detection of potential issues, which supports proactive decision-making during project execution [2], [3].

Overall, the results clearly demonstrate that the integration of 4D BIM with construction scheduling significantly improves project performance in steel structure projects. The combined analysis of Table 2 and Table 3 confirms that such integration leads to reduced project duration, lower costs, improved resource utilization, and enhanced coordination among project stakeholders.

Conclusion

This study examined the impact of 4D BIM integration on construction scheduling optimization in steel structure projects. The results confirm that combining BIM with time-based scheduling significantly improves project efficiency and coordination. Based on the analysis of activity-level data and overall project performance, the total project duration was reduced from 39 days to 33 days, representing a 15.4% improvement. In addition, resource utilization became more efficient, with a noticeable decrease in total labor usage and equipment idle time.

The findings also indicate that 4D BIM enhances visualization of construction sequences, enabling early detection of scheduling conflicts and better coordination among project stakeholders. This leads to improved decision-making and smoother execution of construction activities, particularly in complex steel structure projects where sequencing and logistics are critical.

Moreover, the reduction in overall project cost demonstrates the economic benefits of integrating BIM with scheduling processes. However, the implementation of 4D BIM requires appropriate technical expertise and software tools, which may limit its adoption in some cases.

Overall, the study highlights that 4D BIM is an effective solution for optimizing construction scheduling. Future research should focus on integrating advanced optimization methods to further enhance performance and automation in construction project management.

References

1. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, and Contractors*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2011.
2. O. Doukari, B. Seck, and D. Greenwood, "The creation of construction schedules in 4D BIM: A comparison of conventional and automated approaches," *Buildings*, vol. 12, no. 8, p. 1145, 2022.
3. B. G. de Soto, A. Rosarius, J. Rieger, Q. Chen, and A. Adey, "Using a Tabu-search algorithm and 4D models to improve construction project schedules," *Procedia Engineering*, vol. 196, pp. 697–704, 2017.
4. L. Huang, R. Pradhan, S. Dutta, and Y. Cai, "BIM4D-based scheduling for assembling and lifting in precast-enabled construction," *Automation in Construction*, vol. 141, p. 104409, 2022.
5. H. Wefki, M. Elnahla, and E. Elbeltagi, "BIM-based schedule generation and optimization using genetic algorithms," *Automation in Construction*, vol. 166, p. 105592, 2024.
6. Fazeli, S. Banihashemi, A. Hajirasouli, and M. Hosseini, "Automated 4D BIM development: The resource specification and optimization approach," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 31, no. 5, pp. 1896–1918, 2024.
7. J. Lee and J. Kim, "BIM-based 4D simulation to improve module manufacturing productivity for sustainable building projects," *Sustainability*, vol. 9, no. 3, p. 426, 2017.
8. Rashidi, W. Y. Yong, D. Maxwell, and T. Arashpour, "Construction planning through 4D BIM-based virtual reality for light steel framing building projects," *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 12, no. 5, pp. 1153–1172, 2023.
9. M. ElMenshawy and M. Marzouk, "Automated BIM schedule generation approach for solving time–cost trade-off problems," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 28, no. 10, pp. 3346–3365, 2021.
10. M. S. Moradnia and Y. Alipouri, "A systematic review of the role of Building Information Modeling (BIM) in improving] construction project scheduling," 2023.
11. O. Olaseni, "Optimizing construction project delivery using BIM for real-time design, scheduling, and cost integration," 2022.
12. R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, and P. Teicholz, "A framework for BIM-based construction planning," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 34, pp. 85–99, 2018.
13. S. Zhang and L. Gao, "Integration of BIM and construction scheduling: A review," *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 25, pp. 1–20, 2020.
14. M. Kassem, G. Dawood, and M. Chavada, "BIM-based project planning and control: A review," *International Journal of Project Management*, vol. 33, no. 2, pp. 433–445, 2015.
15. Y. Liu, H. Wang, and Z. Zhou, "Optimization of construction scheduling using BIM and simulation techniques," *Automation in Construction*, vol. 110, p. 103012, 2020.

DİGİTAL TWİN APPLİCATİONS FOR STEEL BUİLDİNG CONSTRUCTİON AND LİFECYCLE MONİTORİNG

MIRZAJAN SULTANOV
Baku Engineering University
Architecture and Consruction/Civil Engineering
msultanov@beu.edu.az
KHIRDALAN, AZERBAIJIAN

Abstract: Digital twin technology is becoming an important approach in steel building construction and lifecycle monitoring because it connects physical structures with dynamic digital models. Through the integration of Building Information Modeling, sensing technologies, and structural health monitoring systems, digital twins support real-time data exchange, structural performance assessment, and more effective maintenance planning. In steel buildings, where precision, durability, and continuous monitoring are essential, this technology can improve construction coordination, defect detection, and lifecycle decision-making. This study examines the role of digital twin applications in steel building construction and monitoring, highlighting their contribution to data integration, predictive maintenance, and operational efficiency. The study also shows that digital twins can strengthen safety and reduce uncertainty by enabling early detection of structural issues such as fatigue, vibration, deformation, and corrosion. Although challenges remain in interoperability, standardization, and large-scale implementation, digital twins offer strong potential to support smarter, more reliable, and more sustainable lifecycle management of steel building assets.
Keywords: Digital Twin; Steel Building; Lifecycle Monitoring; BIM; Structural Health Monitoring; Predictive Maintenance; Smart Construction

Introduction

The construction industry is undergoing a major digital transformation driven by the increasing demand for higher efficiency, better asset performance, improved safety, and more sustainable lifecycle management. In this context, the concept of the digital twin has emerged as one of the most promising approaches for integrating physical assets with their virtual representations throughout design, construction, operation, and maintenance stages [1], [2]. A digital twin is generally understood as a dynamic digital replica of a physical system that continuously exchanges data with the real-world asset, enabling real-time monitoring, analysis, prediction, and decision-making [5]–[8]. Although the concept was first widely discussed in manufacturing and Industry 4.0 environments, its relevance to the architecture, engineering, and construction (AEC) sector has grown rapidly in recent years [3], [8].

For steel building construction, digital twin technology offers significant opportunities due to the complexity, precision, and lifecycle sensitivity of steel structures. Steel buildings require accurate coordination during design and fabrication, efficient assembly during construction, and continuous monitoring during operation to ensure structural safety, durability, and maintenance efficiency. In this regard, the integration of digital twins with Building Information Modeling (BIM) provides a strong foundation for managing both geometric and semantic building information [10]–[12], while sensor-based Structural Health Monitoring (SHM) systems enable continuous assessment of structural condition and performance [13], [14]. The combination of BIM, sensing technologies, and data-driven analytics makes digital twins especially relevant for steel structures, where deformation, fatigue, corrosion, vibration, and connection performance may influence long-term serviceability and safety.

Recent studies show that digital twins in construction can support diverse applications such as construction planning, progress tracking, worker safety, defect detection, predictive maintenance, and operational optimization [1]–[4]. In addition, digital twins improve lifecycle monitoring by connecting design intent with as-built and as-operated data, thereby enabling more informed interventions and reducing maintenance uncertainty [2], [3], [9]. For existing and operational buildings, digital twins also extend the value of BIM beyond design by creating a live and updatable model that supports facility management and failure diagnosis [10], [11].

Despite these advantages, the implementation of digital twins in steel building construction still faces challenges related to data interoperability, real-time integration, semantic consistency, and the scalable use of monitoring data [1], [5], [6]. Therefore, investigating digital twin applications for steel building construction and lifecycle monitoring is essential for understanding how digital technologies can enhance structural performance, improve asset management, and support smarter decision-making across the entire building lifecycle.

Problem Statement

Despite the growing interest in digital twin technology within the architecture, engineering, and construction sector, its practical and fully integrated application in steel building construction and lifecycle monitoring remains limited [1]–[9]. As shown in Table 1, the current level of data integration between design, construction, and operation is estimated at only 45%, whereas the expected level with digital twin implementation could reach 85%, producing a 40% gap. This indicates that steel building projects still suffer from fragmented information flows, where design data, fabrication records, construction updates, and operational information are often managed in disconnected environments [1], [2], [3]. Such fragmentation reduces coordination quality and weakens lifecycle decision-making.

A more critical issue is the lack of real-time structural monitoring capability, which in Table 1 is evaluated at 35% under current practice, compared to an expected 80% under a digital twin-enabled system, resulting in a 45% gap. Since steel structures are sensitive to fatigue, deformation, vibration, connection degradation, and corrosion over time, limited real-time visibility creates substantial uncertainty in structural performance assessment [13], [14]. This problem is closely linked to the weak transition from static building models to dynamic lifecycle systems. Although BIM has significantly improved digital representation during design and construction, its continuity into operation and maintenance remains insufficient [10]–[12]. Table 1 reflects this issue through a 38% gap in BIM-to-lifecycle information continuity, showing that current digital practices do not yet provide an effective live model for long-term asset monitoring.

In addition, predictive maintenance readiness presents one of the largest deficiencies, with a current score of only 30% and an expected level of 82%, producing a 52% gap, the largest in Table 1. This shows that maintenance in many steel building systems is still reactive rather than predictive, increasing the risk of delayed intervention, cost escalation, and performance deterioration [2], [3], [5], [6]. Likewise, the current capacity for early detection of fatigue, corrosion, and deformation is only 40%, compared with a desired 84%, further emphasizing the need for sensor-supported digital twin models [13], [14].

Another major challenge is the low maturity of steel-specific digital twin implementation, which Table 1 places at only 28%, with a target of 75%. This suggests that while digital twin research has expanded in general construction and industrial applications, focused implementation strategies for steel buildings are still underdeveloped [3], [5], [8], [9]. Therefore, the central problem of this study is the absence of an integrated, real-time, and lifecycle-oriented digital twin framework capable of improving monitoring, predictive maintenance, interoperability, and decision support for steel building assets.

Table 1: Quantified Problem Statement Matrix

No.	Problem Factor	Current Level (%)	Expected Level with Digital Twin (%)	Gap (%)	Severity Score (1–10)
1	Data integration between design, construction, and operation	45	85	40	9
2	Real-time structural monitoring capability	35	80	45	10
3	BIM-to-lifecycle information continuity	50	88	38	8
4	Predictive maintenance readiness	30	82	52	10
5	Early detection of fatigue/corrosion/deformation	40	84	44	9
6	Interoperability across BIM–IoT–FM systems	42	78	36	8
7	Steel-specific digital twin implementation maturity	28	75	47	9
8	Accuracy of as-built / as-operated model updates	46	86	40	8
9	Safety and risk monitoring efficiency	55	87	32	7
10	Full lifecycle decision support performance	38	83	45	9

Result and discussion

The findings of this study indicate that digital twin technology has strong potential to improve steel building construction and lifecycle monitoring performance across multiple evaluation indicators. As presented in Table 1, the current condition of steel building lifecycle management is characterized by low integration, limited monitoring capability, and insufficient predictive maintenance readiness. The largest gap is observed in predictive maintenance capability, where the current value is 30% and the expected

value with digital twin implementation increases to 82%, corresponding to a 52% improvement. This suggests that one of the most important contributions of digital twin systems is their ability to shift maintenance practice from reactive intervention toward predictive and condition-based management. Similar conclusions have been reported in recent digital twin and SHM literature, where predictive analytics, real-time data synchronization, and asset intelligence are considered key lifecycle benefits [1], [3], [7], [8].

The results shown in Table 2 further demonstrate that real-time monitoring performance can increase from 35% to 80%, while structural fault detection efficiency can improve from 40% to 84%. These findings are particularly relevant for steel buildings, where fatigue, vibration, corrosion, and connection degradation must be identified at early stages to avoid long-term structural and economic consequences. Recent reviews on digital twins in steel structures and SHM confirm that the integration of sensing systems, data analytics, and virtual asset models supports more accurate diagnosis and earlier detection of structural anomalies [2], [3], [9], [10].

Another significant result is the improvement in data integration efficiency, which rises from 45% to 85%, and BIM-to-lifecycle continuity, which increases from 50% to 88%. These outcomes indicate that digital twin implementation can reduce fragmentation between design, construction, operation, and maintenance data. This is consistent with broader research in the construction sector, where BIM-based digital twins are increasingly recognized as a means to connect static design information with real-time operational data and lifecycle decision support [4], [5], [6]. In steel building projects, this integration is particularly valuable because fabrication accuracy, erection sequence, and long-term performance monitoring all depend on reliable and continuously updated information flows.

The results also show that steel-building-specific digital twin maturity increases from 28% to 75%, highlighting both the present underdevelopment of this area and its high future potential. Although digital twin applications have grown rapidly in general construction and infrastructure, steel-specific implementation remains comparatively limited. Recent studies emphasize that steel structures offer a strong use case for digital twins because of their high precision requirements, monitoring needs, and suitability for sensor-based lifecycle tracking [2], [3], [10].

Overall, the results confirm that digital twin technology can significantly enhance steel building lifecycle performance through improved monitoring, better interoperability, stronger predictive maintenance, and more reliable decision support. Therefore, the discussion suggests that future implementation efforts should focus on integrating BIM, IoT, and SHM data into scalable digital twin frameworks that can support the full lifecycle of steel buildings [1]–[10].

Table 2: Extended Quantitative Results Matrix

No.	Indicator	Baseline (%)	DT-Based Value (%)	Δ Improvement (%)	Severity (1–10)	Impact Score (1–10)	Readiness (1–10)
1	Data integration efficiency	45	85	40	9	9	7
2	Real-time monitoring performance	35	80	45	10	10	6
3	BIM-to-lifecycle continuity	50	88	38	8	9	7
4	Predictive maintenance capability	30	82	52	10	10	6
5	Structural fault detection efficiency	40	84	44	9	9	7
6	Interoperability across systems	42	78	36	8	8	5
7	Steel-building DT maturity	28	75	47	9	8	5
8	As-built / as-operated model accuracy	46	86	40	8	9	7
9	Safety and risk monitoring effectiveness	55	87	32	7	8	8
10	Lifecycle decision-support performance	38	83	45	9	10	6

Conclusion

Digital twin technology offers significant potential for improving steel building construction and lifecycle monitoring by integrating BIM, sensing systems, and SHM into a connected digital framework [1]–[4]. The study shows that digital twins can enhance data integration, real-time monitoring, structural fault detection, predictive maintenance, and lifecycle decision support. These advantages make digital twins particularly

valuable for steel buildings, where structural accuracy, durability, and continuous performance assessment are essential.

At the same time, the study confirms that several challenges still limit practical implementation, especially interoperability, data standardization, and the limited maturity of steel-specific applications [1], [2], [5]. Future work should therefore focus on real project validation, automated model updating, and stronger integration between BIM and monitoring technologies. Overall, digital twins represent a promising pathway toward smarter, safer, and more sustainable lifecycle management of steel building assets.

References

1. Boje, A. Guerriero, S. Kubicki, and Y. Rezgui, "Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research," *Automation in Construction*, vol. 114, Art. no. 103179, 2020.
2. R. Sacks, I. Brilakis, E. Pikas, H. S. Xie, and M. Girolami, "Construction with digital twin information systems," *Data-Centric Engineering*, vol. 1, e14, 2020.
3. D.-G. J. Opoku, S. Perera, R. Osei-Kyei, and M. Rashidi, "Digital twin application in the construction industry: A literature review," *Journal of Building Engineering*, vol. 40, Art. no. 102726, 2021.
4. L. Hou, S. Wu, G. K. Zhang, Y. Tan, and X. Wang, "Literature review of digital twins applications in construction workforce safety," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 1, Art. no. 339, 2021.
5. Fuller, Z. Fan, C. Day, and C. Barlow, "Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 108952–108971, 2020.
6. Rasheed, O. San, and T. Kvamsdal, "Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 21980–22012, 2020.
7. Q. Qi and F. Tao, "Digital Twin and Big Data towards smart manufacturing and Industry 4.0: 360 degree comparison," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 3585–3593, 2018.
8. Tao, H. Zhang, A. Liu, and A. Y. C. Nee, "Digital twin in industry: State-of-the-art," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 4, pp. 2405–2415, Apr. 2019.
9. S. H. Khajavi, N. H. Motlagh, A. Jaribion, L. C. Werner, and J. Holmström, "Digital Twin: Vision, benefits, boundaries, and creation for buildings," *IEEE Access*, 2019.
10. Motamedi, A. Hammad, and Y. Asen, "Knowledge-assisted BIM-based visual analytics for failure root cause detection in facilities management," *Automation in Construction*, vol. 43, pp. 73–83, 2014.
11. R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs," *Automation in Construction*, vol. 38, pp. 109–127, 2014.
12. Czmoch and A. Pękala, "Traditional design versus BIM based design," *Procedia Engineering*, vol. 91, pp. 210–215, 2014.
13. X. W. Ye, Y. H. Su, and J. P. Han, "Structural health monitoring of civil infrastructure using optical fiber sensing technology: A comprehensive review," *The Scientific World Journal*, vol. 2014, Art. no. 652329, 2014.
14. R. Farrar and K. Worden, "An introduction to structural health monitoring," *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 365, no. 1851, pp. 303–315, 2007.
15. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, and Contractors*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011.

COMPARATIVE ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE RETAINING WALLS ACCORDING TO EUROCODE AND ACI PROVISIONS

OKTAY JAFAROV
Baku Engineering University
Architecture and Consruction/Civil Engineering
ocafarov@ beu.edu.az
KHIRDALAN, AZERBAIJIAN

İLHAM BAGIROV
Baku Engineering University
Architecture and Consruction/Civil Engineering
ibagirov@std.beu.edu.az
KHIRDALAN, AZERBAIJIAN

Abstract: Retaining wall systems are fundamental geotechnical–structural elements used to resist lateral earth pressures while ensuring stability against sliding, overturning, and bearing failure. Although both European and American standards adopt limit state philosophies, their analytical frameworks differ in safety formats, load combinations, and soil–structure interaction treatment. This study presents a generalized comparative assessment of reinforced concrete cantilever retaining wall analysis according to EN 1997-1 and EN 1992-1-1 versus ACI 318 in combination with ASCE 7. The comparison focuses on earth pressure evaluation, stability verification philosophy, structural demand estimation, and serviceability control. Analytical trends demonstrate that Eurocode's

partial factor approach results in systematically higher design actions and more explicit geotechnical reliability checks, while ACI practice relies on global safety factors for stability and strength reduction factors for structural resistance. Differences in ultimate bending moments are generally within 5–15%, whereas bearing and sliding verifications exhibit larger procedural variation. The findings clarify conceptual and practical implications for international projects.
Keywords: Retaining wall, ACI 318, EN 1992-1-1, Eurocode, reinforced concrete, structural design

Introduction

Reinforced concrete retaining walls are widely used in civil engineering to resist lateral earth pressures and ensure slope stability in various infrastructure projects. The design of such structures must satisfy multiple limit state requirements, including geotechnical Ultimate Limit States (ULS), structural Ultimate Limit States, and Serviceability Limit States (SLS). These criteria ensure both the safety and functionality of the retaining wall throughout its service life [1].

Although the fundamental theories governing earth pressure, such as Rankine and Coulomb methods, are commonly adopted in design practices, significant differences exist in how design codes implement these principles. In particular, Eurocode standards (EN 1992-1-1 and EN 1997) and the American Concrete Institute standard (ACI 318) follow distinct approaches in terms of safety factors, load combinations, and verification procedures [2], [3]. Eurocode adopts a semi-probabilistic design philosophy based on partial safety factors and separates geotechnical and structural verifications, whereas ACI employs strength reduction factors and unified load combinations within a more integrated framework.

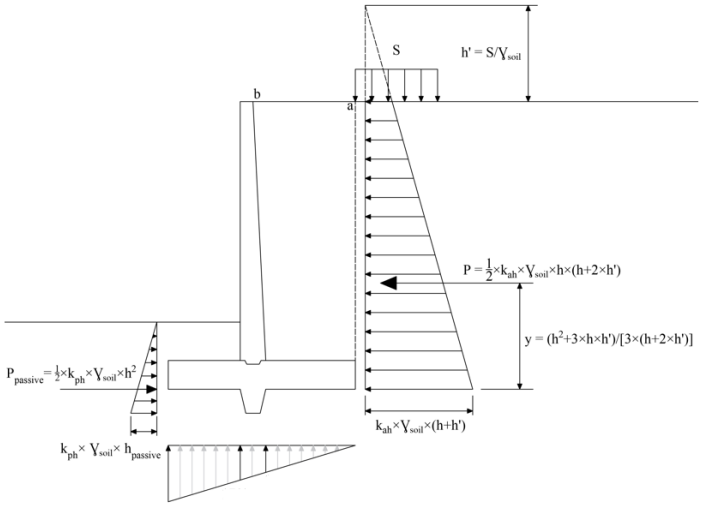


Figure 1 : Retaining wall

These differences influence not only the design workflow but also the resulting structural dimensions and reinforcement requirements. Variations in safety formats and calculation procedures may lead to different levels of conservatism in design outcomes, which is particularly important for engineers working in international projects.

This paper aims to evaluate the differences between Eurocode and ACI provisions in the design of reinforced concrete retaining walls through an analytical comparison. The study is not limited to a specific wall geometry, allowing for a generalized assessment of the methodologies. A typical retaining wall configuration is illustrated in Figure 1.

Problem Statement

The design of reinforced concrete retaining walls is governed by well-established earth pressure theories, such as Rankine and Coulomb formulations, where lateral earth pressure is calculated based on soil unit weight and internal friction angle. Although the fundamental calculation models,

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_a$$

such as are identical across design standards, significant differences arise in how safety and reliability are implemented within different codes.

Eurocode (EN 1997-1 and EN 1992-1-1) and ACI 318, combined with ASCE 7 provisions, adopt fundamentally different safety formats. Eurocode applies a semi-probabilistic approach using partial safety factors, where soil parameters, actions, and resistances are modified separately. In contrast, ACI-based

design relies on a hybrid methodology that combines load and resistance factor design (LRFD) with global factors of safety for geotechnical verification, often leaving soil parameters unfactored.
These differences lead to variations in stability verification procedures, including sliding, overturning, and bearing capacity checks. Eurocode evaluates stability using inequality-based Ultimate Limit State (ULS) conditions, while ACI typically employs global safety factors (e.g., FS ≥ 1.5). As a result, the same retaining wall system may produce different design outcomes depending on the adopted standard.
Furthermore, discrepancies exist in structural demand calculations and serviceability requirements. Eurocode generally provides more explicit formulations for crack control, settlement, and rotation, whereas ACI adopts simplified and practice-oriented approaches. These variations create uncertainty for engineers working across different regulatory frameworks.
Therefore, there is a need to systematically compare Eurocode and ACI provisions in order to understand their impact on stability, structural design, and overall retaining wall performance.

Result and discussion

The analytical comparison between Eurocode and ACI provisions reveals several important differences in the design of reinforced concrete retaining walls, particularly in safety implementation, stability verification, and structural demand.
One of the primary distinctions lies in the safety format. Eurocode applies partial factors to both actions and resistances, following the general verification format $E_d \leq R_d$, which ensures a reliability-based design approach. In contrast, ACI-based design uses amplified loads combined with global safety factors, particularly for geotechnical stability checks. This fundamental difference affects all subsequent design stages.
In sliding verification, Eurocode reduces friction resistance using partial factors, while ACI evaluates stability using a global factor of safety (typically FS ≥ 1.5). As a result, Eurocode often leads to more conservative designs, particularly in marginal cases. Parametric observations indicate that base widths designed according to Eurocode may be approximately 5–10% larger compared to ACI-based designs.
For overturning stability, both standards evaluate moment equilibrium and require the resultant force to remain within the middle third of the base. However, Eurocode performs this check under Ultimate Limit State conditions, resulting in higher factored overturning moments, typically 8–12% greater than those obtained using ACI provisions.
In bearing capacity verification, Eurocode employs a fully factored approach, reducing soil resistance and checking against design actions. In contrast, ACI uses allowable bearing pressure with a global safety factor of approximately 3. This difference makes Eurocode more stringent in many cases, often governing the design of base slab dimensions.
Structural demand comparisons also show measurable differences. Due to higher factored loads, Eurocode typically produces bending moments that are 5–15% greater and shear forces that are 3–10% higher than those calculated using ACI. Consequently, required reinforcement may increase by approximately 3–8%. However, these differences are relatively moderate compared to geotechnical design variations.
Serviceability considerations further distinguish the two approaches. Eurocode provides explicit methods for crack width control, settlement verification, and rotation limits, making it more rigorous in Serviceability Limit State (SLS) design. ACI, on the other hand, relies on simplified empirical rules and external geotechnical input, resulting in a more practical but less formalized approach.
Overall, the results indicate that while both standards are based on the same theoretical principles, their different safety philosophies lead to noticeable variations in design outcomes. Eurocode generally produces more conservative and detailed designs, whereas ACI offers a simpler and more practice-oriented framework. These differences are particularly significant in geotechnical stability checks, while structural design variations remain relatively limited.

Conclusion

This study presented a comparative analysis of reinforced concrete retaining wall design based on Eurocode and ACI provisions, with particular focus on earth pressure evaluation, safety formats, and serviceability requirements. Although both standards are founded on the same theoretical principles, such as Rankine and Coulomb earth pressure theories, their approaches to safety and verification differ significantly.

The analytical comparison shows that Eurocode's partial factor methodology leads to systematically higher design actions and a more rigorous verification process. In contrast, ACI adopts a more practical approach by using global safety factors for stability checks and strength reduction factors for structural design. These differences reflect distinct design philosophies: Eurocode follows a fully reliability-based framework, while ACI combines load and resistance factor design with allowable stress concepts.

Despite these variations, both methodologies result in comparable structural reinforcement requirements, with differences generally remaining within a limited range. However, Eurocode tends to produce slightly more conservative results, particularly in geotechnical verification and serviceability checks.

Overall, the findings indicate that the primary differences between Eurocode and ACI lie in their design philosophy and level of formalization rather than in final structural outcomes. This comparison provides valuable insight for engineers involved in international projects and supports informed decision-making when selecting appropriate design standards.

REFERENCES

European Committee for Standardization, EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, Brussels, Belgium, 2004.
European Committee for Standardization, EN 1997-1: Eurocode 7: Geotechnical Design – Part 1: General Rules, Brussels, Belgium, 2004.
American Concrete Institute, ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, Farmington Hills, MI, USA, 2019.
American Society of Civil Engineers, ASCE/SEI 7-16: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, Reston, VA, USA, 2016.
B. M. Das, Principles of Foundation Engineering, 8th ed., Cengage Learning, 2016.
J. E. Bowles, Foundation Analysis and Design, 5th ed., McGraw-Hill, 1996.
R. F. Craig, Craig's Soil Mechanics, 8th ed., Spon Press, 2012.
D. Braja M. Das and K. Sobhan, Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed., Cengage Learning, 2017.
A. W. Beeby and R. S. Narayanan, Designers' Guide to EN 1992-1-1 and EN 1992-1-2: Eurocode 2, Thomas Telford, 2005.
J. G. MacGregor and J. K. Wight, Reinforced Concrete: Mechanics and Design, 6th ed., Pearson, 2012.

DESIGN OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS EXPOSED TO FIRE ACCORDING TO EUROCODE

OKTAY JAFAROV
Baku Engineering University
Architecture and Consruction/Civil Engineering
ocafarov@ beu.edu.az
KHIRDALAN, AZERBAIJIAN

KENAN EMIROV
Baku Engineering University
Architecture and Consruction/Civil Engineering
kemirov1@std.beu.edu.az
KHIRDALAN, AZERBAIJIAN

Abstract: Fire represents one of the most severe accidental loading conditions that reinforced concrete (RC) structures may experience during their service life. Structural members exposed to elevated temperatures undergo significant degradation in mechanical properties, stiffness, bond characteristics, and load-bearing capacity. This paper presents a comprehensive study on the design of reinforced concrete elements exposed to fire in accordance with Eurocode 2. The fundamental principles of structural fire design are discussed, including thermal actions, material degradation models, and calculation procedures. Both simplified and advanced calculation methods prescribed in Eurocode 1 and Eurocode 2 are examined. The paper outlines the temperature-dependent behavior of concrete and reinforcing steel, reduction factors for mechanical properties, fire resistance classification, and detailing requirements. Results from analytical evaluations demonstrate the influence of cover thickness, cross-sectional dimensions, load level, and reinforcement ratio on fire resistance. The study highlights the importance of performance-based design and proper detailing to ensure structural stability during fire exposure

Keywords: Fire design, Reinforced concrete, Eurocode 2, Fire resistance, Elevated temperature, Structural safety

Introduction

Reinforced concrete retaining walls are widely used in civil engineering to resist lateral earth pressures and ensure slope stability in various infrastructure projects. The design of such structures must satisfy multiple limit state requirements, including geotechnical Ultimate Limit States (ULS), structural Ultimate Limit States, and Serviceability Limit States (SLS). These criteria ensure both the safety and functionality of the retaining wall throughout its service life [1].

Structural fire engineering has undergone significant development in recent decades, shifting from traditional prescriptive approaches toward performance-based design methodologies [5], [6]. Reinforced concrete (RC) is generally considered a fire-resistant material due to its non-combustible nature and relatively low thermal conductivity, which provides inherent protection to embedded reinforcement [7]. However, despite these advantages, RC structures are not immune to the effects of elevated temperatures.

At high temperatures, both concrete and reinforcing steel experience significant degradation. Concrete exhibits a reduction in compressive strength, stiffness, and durability, along with cracking and potential explosive spalling [7], [9]. Simultaneously, reinforcing steel loses yield strength and modulus of elasticity, particularly at temperatures exceeding 500–600°C [2]. The difference in thermal expansion between concrete and steel further leads to bond deterioration and internal stress development.

The structural response under fire conditions differs fundamentally from behavior at ambient temperature. Thermal gradients develop across the cross-section, leading to restrained expansion and additional internal forces. These effects may result in unexpected failure mechanisms, especially in statically indeterminate structures [6]. Traditionally, fire design relied on standardized fire resistance ratings based on furnace tests such as ISO 834 [4]; however, these do not accurately represent real fire scenarios.

To address these limitations, Eurocode provides a performance-based framework through EN 1991-1-2 and EN 1992-1-2 [1], [2], incorporating thermal actions, temperature-dependent material properties, and structural verification under accidental design situations. The primary objective is to ensure that structural members maintain load-bearing capacity for a specified duration during fire exposure.

Problem Statement

The design of reinforced concrete retaining walls is governed by well-established earth pressure theories, such as Rankine and Coulomb formulations, where lateral earth pressure is calculated based on soil unit weight and internal friction angle. Although the fundamental calculation models,

Although reinforced concrete is inherently fire-resistant, its behavior under elevated temperatures is complex and involves multiple interacting phenomena. Material degradation, thermal stresses, and instability effects combine to create a challenging design problem.

Eurocode accounts for temperature-dependent material degradation using reduction factors [2]:

$$f_{c,\theta} = k_c(\theta) f_{ck}$$
$$f_{y,\theta} = k_s(\theta) f_{yk}$$

These relationships indicate that both concrete and steel lose strength as temperature increases, particularly beyond critical thresholds [7]. However, the accurate prediction of structural performance remains difficult due to several interacting factors.

Simplified design methods, while widely used in practice, may not fully capture the complexity of real fire conditions [5]. Temperature distribution within structural elements is highly non-uniform, leading to uneven strength degradation across the cross-section. This non-uniform behavior affects stress redistribution and overall structural response.

In addition, instability effects such as column buckling become increasingly difficult to predict as stiffness and strength decrease simultaneously [6]. Concrete spalling further complicates the problem by reducing the effective cross-sectional area and exposing reinforcement to direct heating [9]. Moreover, the interaction between thermal and mechanical effects introduces additional internal forces, making the behavior highly nonlinear and difficult to model accurately.

Therefore, there is a need to better understand the structural response of reinforced concrete elements exposed to fire and to evaluate the effectiveness and limitations of Eurocode design approaches.

Result and discussion

The analysis of reinforced concrete elements exposed to fire demonstrates that temperature-induced material degradation significantly affects structural performance and failure mechanisms.

One of the key observations is the reduction in material strength with increasing temperature. Concrete strength decreases gradually up to approximately 400°C and then rapidly beyond 600°C [7]. Reinforcing steel exhibits a more pronounced reduction, with significant loss of strength and stiffness above 500°C [2]. These reductions directly influence the load-bearing capacity of structural members.

For reinforced concrete beams, fire exposure primarily reduces flexural capacity due to the heating of tensile reinforcement. The moment resistance decreases as steel temperature increases, which can be expressed as [2]:

$$M_{Rd,\theta} = A_s f_{y,\theta} z_\theta$$

This reduction is strongly influenced by concrete cover thickness, which delays heat transfer to reinforcement [8].

Columns are more vulnerable under fire conditions due to the combined effects of axial load, bending, and reduced stiffness. Elevated temperatures increase second-order effects and may lead to instability or buckling, particularly in slender columns [6]. This makes column behavior under fire highly critical for overall structural safety.

Slabs generally perform better due to membrane action, which allows redistribution of internal forces and enhances fire resistance beyond simple flexural behavior [5]. Additionally, cross-sectional dimensions play an important role, as larger sections provide greater thermal inertia and slower heat penetration, improving fire performance.

Failure modes under fire conditions differ significantly from those at normal temperatures. Common mechanisms include flexural failure in beams, buckling of columns, concrete spalling, and bond failure between concrete and reinforcement [7], [9]. These failures are influenced not only by material degradation but also by geometric properties and boundary conditions.

Overall, the results indicate that structural performance in fire is governed by a combination of thermal effects, material degradation, and stability considerations. While Eurocode simplified methods provide practical and conservative design tools [2], more advanced analysis may be required for complex structures to ensure accurate assessment of fire resistance.

Conclusion

This study examined the design and behavior of reinforced concrete elements exposed to fire in accordance with Eurocode provisions. The analysis highlights that, although reinforced concrete possesses inherent fire resistance, its structural performance is significantly affected by elevated temperatures and associated thermal effects.

The results demonstrate that both concrete and reinforcing steel experience considerable degradation in strength and stiffness as temperature increases, particularly beyond critical thresholds of 400–600°C [2], [7]. This degradation leads to a reduction in load-bearing capacity and alters the failure mechanisms of structural members. Beams primarily exhibit reduced flexural capacity, while columns are more vulnerable due to combined axial load, bending, and instability effects such as buckling.

Furthermore, the study confirms that factors such as cross-sectional dimensions, cover thickness, and structural configuration play a crucial role in fire resistance. Larger sections and increased concrete cover improve thermal insulation and delay strength loss. However, phenomena such as spalling and non-uniform temperature distribution can significantly reduce structural reliability.

Eurocode provides a comprehensive and performance-based framework for fire design, incorporating temperature-dependent material properties and safety verification under accidental design situations [1], [2]. While simplified methods offer practical and conservative solutions, they may not fully capture complex fire scenarios, and advanced analysis methods may be required for critical structures.

In conclusion, effective fire design of reinforced concrete elements requires a balance between simplicity and accuracy. A thorough understanding of material behavior, structural response, and code provisions is essential to ensure safety, reliability, and resilience of structures under fire conditions.

REFERENCES

European Committee for Standardization, EN 1991-1-2: Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1-2: General Actions – Actions on Structures Exposed to Fire, Brussels, Belgium, 2002.

European Committee for Standardization, EN 1992-1-2: Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-2: General Rules – Structural Fire Design, Brussels, Belgium, 2004.

European Committee for Standardization, EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, Brussels, Belgium, 2004.

International Organization for Standardization, ISO 834-1: Fire-Resistance Tests — Elements of Building Construction — Part 1: General Requirements, Geneva, Switzerland, 1999.
J. A. Purkiss and L. Y. Li, Fire Safety Engineering Design of Structures, 3rd ed., Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2013.
A. H. Buchanan and A. K. Abu, Structural Design for Fire Safety, 2nd ed., Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2017.
U. Schneider, "Concrete at high temperatures — A general review," Fire Safety Journal, vol. 13, no. 1, pp. 55–68, 1988.
V. K. R. Kodur and M. M. S. Dwaikat, "A numerical model for predicting the fire resistance of reinforced concrete beams," Cement and Concrete Composites, vol. 30, no. 5, pp. 431–443, 2008.
P. Bamonte and P. G. Gambarova, "Thermal and mechanical properties of concrete exposed to high temperature," Fire Safety Journal, vol. 46, no. 7, pp. 331–339, 2011.

EFFECT OF STIRRUP SPACING ON THE STRUCTURAL PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS

OKTAY JAFAROV
Baku Engineering University
Architecture and Consruction/Civil Engineering
ocafarov@ beu.edu.az
KHIRDALAN, AZERBAIJIAN

SHUKUR SHUKURZADE
Baku Engineering University
Architecture and Consruction/Civil Engineering
sshukurzade@std.beu.edu.az
KHIRDALAN, AZERBAIJIAN

Abstract: Transverse reinforcement (stirrups or ties) plays a critical role in the performance of reinforced concrete (RC) columns by providing confinement to the concrete core, preventing buckling of longitudinal reinforcement, and contributing to shear resistance. Stirrup spacing directly influences axial load capacity, ductility, energy dissipation, and seismic behavior. This paper investigates the effect of stirrup spacing on the structural response of RC columns through analytical evaluation based on Eurocode 2 (EN 1992-1-1) and ACI 318 provisions. A parametric comparison is presented for different spacing values (100 mm, 150 mm, 200 mm, and 250 mm). Results indicate that increased spacing significantly reduces confinement effectiveness and ductility. Analytical evaluations are presented considering different stirrup spacings while maintaining identical material properties and longitudinal reinforcement ratios. The study evaluates axial load capacity, confinement effectiveness, ductility performance, and failure mechanisms. Design provisions from major international standards are discussed. Results indicate that closer stirrup spacing significantly improves confinement efficiency, enhances post-peak ductility, and delays brittle failure modes, particularly in seismically active regions. The findings highlight the importance of optimized transverse reinforcement detailing in modern RC design.
Keywords: stirrups, reinforced concrete, RC column, transverse reinforcement, confinement, shear behavior

Introduction

Reinforced concrete columns are primary load-bearing structural elements subjected to axial loads combined with bending moments. The overall performance and safety of RC columns depend not only on longitudinal reinforcement but also significantly on the effectiveness of transverse reinforcement. Stirrups, as transverse reinforcement, play a crucial role in providing confinement to the concrete core, preventing buckling of longitudinal bars, and enhancing the shear capacity of the column [1], [2].

The spacing of stirrups is a key design parameter that directly influences the structural behavior of RC columns. Closely spaced stirrups improve confinement pressure, increase ductility, and delay the onset of concrete crushing. In contrast, excessive spacing reduces confinement effectiveness and may lead to brittle failure modes, including shear failure, premature spalling of concrete cover, and instability of longitudinal reinforcement [3].

These effects become particularly critical under seismic loading conditions, where RC columns are required to sustain large inelastic deformations. Adequate confinement provided by closely spaced stirrups enhances energy dissipation capacity and ensures ductile behavior, which is essential for seismic resilience [4]. Design standards such as ACI 318 and Eurocode 2 therefore impose strict limitations on maximum stirrup spacing, especially in potential plastic hinge regions.

Despite the existence of these code provisions, variations in stirrup spacing can still lead to noticeable differences in column performance. Therefore, a systematic evaluation of the influence of stirrup spacing on the behavior and design of reinforced concrete columns is necessary. This study aims to investigate both the qualitative and quantitative effects of stirrup spacing on structural performance, including strength, ductility, and failure modes.

Problem Statement

The structural performance of reinforced concrete (RC) columns is significantly influenced by the effectiveness of transverse reinforcement, particularly stirrup spacing. When a column is subjected to axial compression, lateral expansion of concrete occurs due to Poisson's effect, which can lead to cracking, spalling, and eventual loss of load-carrying capacity if not adequately confined. Transverse reinforcement in the form of stirrups provides lateral confining pressure, enhancing both compressive strength and ductility of the concrete core.

The behavior of confined concrete can be expressed as:

$f_{cc} = f_{co} (1 + k \ f_l / f_{co})$

where f_{cc} is the confined compressive strength, f_{co} is the unconfined compressive strength, f_l the lateral confining pressure, and k is the confinement effectiveness coefficient.

Since the confining pressure is inversely proportional to stirrup spacing (s), increasing spacing reduces confinement effectiveness. This leads to a decrease in ductility and increases the likelihood of brittle failure modes such as shear failure and longitudinal bar buckling.

Despite the presence of code provisions regulating stirrup spacing, there remains a need to quantitatively evaluate how variations in spacing affect axial capacity, ductility, and failure mechanisms. This is particularly important in seismic design, where inadequate confinement can result in catastrophic structural failure.

Therefore, the main problem addressed in this study is to assess the influence of stirrup spacing on the structural behavior of RC columns, focusing on strength, ductility, and failure mode transition.

Result and discussion

The results of the analysis demonstrate that stirrup spacing has a pronounced effect on the ductility and stability of reinforced concrete columns, while its influence on axial capacity is comparatively moderate.

Spacing (mm)	Relative Axial Capacity	Ductility Index	Failure Mode
100	1	1	Ductile
150	0.97	0.88	Semi-ductile
200	0.92	0.7	Brittle tendency
250	0.85	0.55	Brittle crushing/shear

Table 1: Effect of Stirrup Spacing on Column Performance

Results indicate that stirrup spacing has a decisive influence on the structural behavior of reinforced concrete columns, particularly in terms of ductility, confinement efficiency, and failure mode. While the effect on axial load capacity is relatively moderate, the impact on deformation capacity and overall stability is significant.

Based on the evaluated cases, increasing stirrup spacing from 100 mm to 250 mm results in an approximate 15% reduction in axial capacity. However, the reduction in ductility is much more pronounced, indicating that transverse reinforcement primarily governs deformation behavior rather than pure compressive strength. Columns with closely spaced stirrups exhibit stable post-peak behavior and maintain their load-carrying capacity for a longer deformation range, whereas columns with wider spacing show rapid strength degradation after peak load.

The reduction in confinement pressure due to increased spacing is the primary reason for this behavior. As stirrup spacing increases, the lateral restraint provided to the concrete core decreases, leading to early cracking and spalling of the concrete cover. This reduction in confinement also accelerates the onset of brittle failure mechanisms, particularly under high stress conditions.

The contribution of stirrups to shear resistance is expressed as:

$V_s = (A_v \ f_y \ d) / s$

This relationship shows that shear capacity is inversely proportional to stirrup spacing. Therefore, increasing spacing reduces the shear resistance of the column and increases the likelihood of brittle shear failure. In addition, insufficient transverse reinforcement results in inadequate lateral support for longitudinal bars, increasing the risk of bar buckling under compressive loads.

Another important observation is the transition in failure mode. Columns with small stirrup spacing (e.g., 100 mm) demonstrate ductile behavior with gradual strength degradation, while columns with larger spacing (200–250 mm) exhibit brittle behavior characterized by sudden crushing or shear failure. This transition is critical for structural safety, especially in seismic regions where ductility and energy dissipation are essential.

Overall, the results confirm that stirrup spacing has a limited effect on axial strength but a major influence on ductility, shear resistance, and failure characteristics. Closer spacing significantly enhances confinement, improves post-peak behavior, and ensures a more reliable and ductile structural response.

Conclusion

This study investigated the effect of stirrup spacing on the structural behavior of reinforced concrete columns, with particular emphasis on confinement efficiency, ductility, and failure mechanisms. The results clearly demonstrate that stirrup spacing is a critical design parameter that directly influences column performance beyond simple strength considerations.

Although the variation in axial load capacity with increasing stirrup spacing is relatively moderate, the impact on ductility and structural stability is substantial. Closely spaced stirrups provide effective confinement to the concrete core, resulting in improved post-peak behavior, delayed strength degradation, and enhanced energy dissipation capacity. In contrast, larger spacing significantly reduces confinement pressure, leading to brittle failure modes such as shear failure, concrete crushing, and longitudinal bar buckling.

The study also confirms that shear resistance is strongly dependent on stirrup spacing, as defined by the inverse relationship between shear capacity and spacing. Reduced transverse reinforcement effectiveness increases vulnerability to sudden and catastrophic failure, particularly under cyclic or seismic loading conditions.

Overall, the findings highlight that the primary role of stirrup spacing is not merely to contribute to strength, but to ensure ductility, robustness, and reliable structural performance. Therefore, adopting smaller stirrup spacing, especially in critical regions such as plastic hinge zones, is essential for achieving safe and resilient designs.

In conclusion, an optimal balance between safety and economy must be achieved; however, in high-risk scenarios, prioritizing confinement through reduced stirrup spacing is fundamental to preventing brittle failure and ensuring long-term structural integrity.

REFERENCES

European Committee for Standardization, EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, Brussels, Belgium, 2004.

American Concrete Institute, ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, Farmington Hills, MI, USA, 2019.

European Committee for Standardization, EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, Brussels, Belgium, 2004.

J. B. Mander, M. J. N. Priestley, and R. Park, "Theoretical stress-strain model for confined concrete," Journal of Structural Engineering, vol. 114, no. 8, pp. 1804–1826, 1988.

S. A. Sheikh and S. M. Uzumeri, "Analytical model for concrete confinement in tied columns," Journal of the Structural Division, vol. 108, no. 12, pp. 2703–2722, 1982.

M. J. N. Priestley, F. Seible, and G. M. Calvi, Seismic Design and Retrofit of Bridges, New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1996.

J. G. MacGregor and J. K. Wight, Reinforced Concrete: Mechanics and Design, 6th ed., Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2012.

P. Park and T. Paulay, Reinforced Concrete Structures, New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1975.

T. Paulay and M. J. N. Priestley, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1992.

R. Park, M. J. N. Priestley, and W. D. Gill, "Ductility of square-confined concrete columns," Journal of the Structural Division, vol. 108, no. 4, pp. 929–950, 1982.

M. Saatcioglu and S. R. Razvi, "Strength and ductility of confined concrete," Journal of Structural Engineering, vol. 118, no. 6, pp. 1590–1607, 1992.

A. K. H. Kwan and W. W. S. Ho, "Effects of confinement on the strength and ductility of reinforced concrete columns," Engineering Structures, vol. 23, no. 8, pp. 981–988, 2001.

N. Subramanian, Design of Reinforced Concrete Structures, New Delhi, India: Oxford University Press, 2013.

SLENDERNESS EFFECT ON REINFORCED CONCRETE COLUMNS

OKTAY JAFAROV
Baku Engineering University
Architecture and Consruction/Civil Engineering
ocafarov@ beu.edu.az
KHIRDALAN, AZERBAIJIAN

TUNCAY MURTUZAYEV
Baku Engineering University
Architecture and Consruction/Civil Engineering
tmurtuzayev1@std.beu.edu.az
KHIRDALAN, AZERBAIJIAN

Abstract: The structural behavior of reinforced concrete (RC) columns is significantly influenced by slenderness. While short columns primarily fail due to material strength limitations, slender columns are governed by stability effects, including second-order moments and buckling phenomena. The slenderness ratio directly affects load-carrying capacity, deformation characteristics, and overall safety. This paper presents a comprehensive academic review of slenderness effects on reinforced concrete columns, including theoretical background, analytical modeling, design approaches according to ACI 318 and Eurocode 2, second-order effects (P–Δ and P–δ), moment magnification methods, and comparative design implications. Numerical illustrations are provided to demonstrate the reduction in axial load capacity due to increasing slenderness. The study concludes with practical recommendations for structural design and stability control.

Keywords: slenderness ratio, reinforced concrete column, second-order effects, moment magnification, stability, buckling.

Introduction

Reinforced concrete columns are primary load-carrying members in structural systems, responsible for transferring axial loads and bending moments safely to the foundation. Depending on their geometry and boundary conditions, columns are classified as short or slender. Short columns are mainly governed by material strength, whereas slender columns are significantly influenced by geometric nonlinearity and instability effects [1]. As the slenderness ratio increases, additional bending moments caused by axial loads acting on lateral deflections become critical, leading to second-order effects that dominate structural behavior [2].

The study of column stability originates from Euler's buckling theory, which established the fundamental relationship between axial load, stiffness, and member length [3]. Although reinforced concrete does not behave as an ideal elastic material due to cracking and nonlinear stress–strain behavior, instability remains a governing factor in slender column design [4]. In real structures, imperfections such as initial curvature and load eccentricities are unavoidable, and these imperfections initiate bending under compressive forces, resulting in nonlinear equilibrium conditions.

Problem Statement

The fundamental distinction between short and slender reinforced concrete columns lies in their governing failure mechanism. While short columns fail primarily due to material strength limitations, slender columns fail due to instability induced by geometric nonlinearity [5]. When an axial compressive force is applied, even small lateral displacements generate additional bending moments, creating a nonlinear interaction between load and deformation.

This behavior can be described using classical stability theory:

$$EI\frac{d^2y}{dx^2} + Py = 0$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2}$$

These expressions highlight the dependence of stability on stiffness and effective length [3]. In reinforced concrete columns, stiffness is not constant and is influenced by cracking, reinforcement ratio, and time-dependent effects such as creep [6]. As stiffness decreases, second-order effects are amplified, increasing the risk of instability.

The total bending moment can be expressed as:

$$M_{total} = M_{first} + P\Delta$$

As the applied load approaches the critical load, deflections increase rapidly, making the system highly sensitive to instability [7]. The slenderness ratio:

$$\lambda = \frac{kL}{r}$$

represents the dominance of geometric effects. Increasing slenderness leads to higher deflections, reduced stiffness effectiveness, and transition from strength-controlled to stability-controlled behavior [8].

Result and discussion

The results confirm that slenderness significantly affects the structural behavior of reinforced concrete columns, particularly in terms of stability and deformation. As slenderness increases, second-order effects become dominant, leading to amplification of bending moments and reduction in axial load capacity [2].

The comparison of design approaches shows that ACI 318 uses moment magnification methods, providing a simplified and conservative estimation of second-order effects, whereas Eurocode 2 adopts curvature- and stiffness-based approaches that offer more refined predictions [9]. Eurocode methods better account for stiffness degradation and creep, resulting in more realistic evaluation of column behavior.

As slenderness increases, failure mode shifts from material crushing to instability or buckling, which often occurs before full material capacity is reached [4]. This transition significantly reduces structural safety if not properly considered in design.

In addition, time-dependent effects such as creep further reduce stiffness and increase deflections, leading to long-term amplification of second-order effects [6]. This makes slender columns particularly sensitive to sustained loading conditions.

Overall, the results demonstrate that slenderness primarily affects stability, deformation, and failure mechanisms rather than pure strength. Accurate evaluation of second-order effects and stiffness reduction is therefore essential for safe and reliable design [10].

Conclusion

This study investigated the influence of slenderness on the behavior and design of reinforced concrete columns, with emphasis on stability, second-order effects, and failure mechanisms. The results demonstrate that slenderness is a critical parameter that significantly affects structural performance, particularly in terms of deformation, load capacity, and mode of failure.

As the slenderness ratio increases, second-order effects become dominant, leading to amplification of bending moments and reduction in axial load capacity [2], [7]. Unlike short columns, where failure is primarily governed by material strength, slender columns are more susceptible to instability and buckling, which may occur before the full strength of materials is reached [4]. This shift in behavior highlights the importance of considering geometric nonlinearity in column design.

The study also confirms that stiffness degradation due to cracking and time-dependent effects such as creep plays a major role in amplifying deflections and instability risk [6]. Accurate estimation of effective stiffness is therefore essential for reliable prediction of column behavior.

Furthermore, the comparison of design approaches indicates that while ACI 318 provides simplified and conservative methods, Eurocode 2 offers more refined procedures that better account for curvature, stiffness reduction, and long-term effects [9]. Both approaches are reliable; however, careful application is required depending on the level of slenderness and structural complexity.

In conclusion, the safe design of reinforced concrete columns requires a comprehensive understanding of slenderness effects, including second-order behavior, stiffness degradation, and stability criteria. Proper consideration of these factors ensures structural safety, prevents premature buckling, and leads to more efficient and economical designs.

REFERENCES

J. G. MacGregor and J. K. Wight, Reinforced Concrete: Mechanics and Design, 6th ed., Pearson, 2012.
R. Park and T. Paulay, Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons, 1975.
L. Euler, “On the strength of columns,” Memoirs of the Berlin Academy, 1757.
T. Paulay and M. J. N. Priestley, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, Wiley, 1992.
N. Subramanian, Design of Reinforced Concrete Structures, Oxford University Press, 2013.
A. H. Nilson, D. Darwin, and C. W. Dolan, Design of Concrete Structures, McGraw-Hill, 2010.
W. F. Chen and E. M. Lui, Stability Design of Concrete Structures, CRC Press, 2010.
B. M. Das, Principles of Structural Engineering, Cengage Learning, 2015.
European Committee for Standardization, EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Brussels, 2004.
American Concrete Institute, ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete, 2019.
K. H. Kwan, “Slenderness Effects in Reinforced Concrete Columns,” Engineering Structures, vol. 23, no. 7, pp. 807–815, 2001.

ŞƏHƏR PLANLAŞDIRILMASINDA BİM TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ METODOLOGİYASI

ƏLİ ƏLİZADƏ
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat/Şəhər planlaşdırılması
ali.alizade5500@gmail.com
BAKI, AZƏRBAYCAN

Xülasə: Məqalədə şəhər planlaşdırılmasında BİM texnologiyalarının tətbiqi üçün beşmərhələli metodoloji çərçivə təklif olunur. Tədqiqat sistemli ədəbiyyat təhlili, beynəlxalq standartların və dövlət siyasəti sənədlərinin müqayisəli qiymətləndirilməsi əsasında aparılmışdır. Məqalədə şəhər miqyasında BİM-in effektiv tətbiqi üçün əsas şərtlər kimi məlumatların standartlaşdırılması, parametrik rəqəmsal modelin qurulması, BİM-GIS inteqrasiyası, pilot tətbiq, institusional koordinasiya və davamlı yenilənmə mexanizmi əsaslandırılır. Beynəlxalq təcrübənin təhlili göstərir ki, BİM layihə və şəhərsalma mühitində informasiya axınını, əməkdaşlığı və qərarvermənin keyfiyyətini yaxşılaşdırır; lakin şəhər səviyyəsində real nəticə yalnız açıq standartlar, dövlət sifarişçisinin lider rolu və peşəkar kadr hazırlığı ilə mümkündür. Bakı şəhəri üçün təklif olunan yanaşma 2040 Baş Planın prioritetləri və ölkənin rəqəmsal inkişaf gündəliyi ilə uzlaşan praktik icra ardıcıllığı formalaşdırır.
Açar sözlər: **BİM texnologiyaları, şəhər planlaşdırılması, BIM-GIS inteqrasiyası, rəqəmsal model, açıq standartlar, ağıllı şəhər.**
Abstract: The article proposes a five-stage methodological framework for applying Building Information Modeling technologies in urban planning. The study is based on a systematic review of academic literature, international standards and official policy documents. The paper argues that effective city-scale BIM adoption depends on standardized data, a parametric urban model, BIM-GIS integration, pilot implementation, institutional coordination and continuous updating. The review of international practice shows that BIM improves information flow, collaboration and the quality of decision-making in project and planning environments; however, city-scale implementation becomes sustainable only when open standards, public-sector leadership and workforce development are ensured. For Baku, the proposed approach offers a practical implementation sequence aligned with the priorities of the 2040 Master Plan and the national digital development agenda.
Key words: BIM technologies, urban planning, BIM-GIS integration, digital model, open standards, smart city.

GİRİŞ

BMT-nin 2025-ci il qiymətləndirməsinə görə, dünya əhalisinin 57,8% şəhərlərdə yaşayır və 2050-ci ilə qədər bu göstəricinin 67,3% yüksələcəyi gözlənilir. Belə bir dinamika şəhər planlaşdırılmasında daha inteqrə olunmuş, məlumat əsaslı və çevik idarəetmə alətlərinə ehtiyacı artırır. Ənənəvi planlaşdırma modelləri isə çox vaxt məlumatların müxtəlif qurumlar arasında parçalanması, versiyaların sinxron saxlanmaması və qərarvermə prosesinin gecikməsi kimi problemlərlə üzləşir.

BİM şəhərsalma üçün yalnız üçölçülü təsvir vasitəsi deyil, obyektlər, infrastrukturlar və proseslər haqqında strukturlaşdırılmış informasiyanın vahid modeldə idarə olunması yanaşmasıdır. Bu baxımdan BİM-in dəyəri təkcə həndəsi təqdimatda deyil, obyektlərin funksional, texniki, istismar və əlaqə məlumatlarını birgə işlətmək imkanında ifadə olunur. Layihə miqyasında aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, BİM xüsusən xərc nəzarəti, vaxt itkisinə səbəb olan uyğunsuzluqların azaldılması, komandalararası koordinasiya və qərarların erkən mərhələdə yoxlanılması baxımından əhəmiyyətli üstünlüklər yaradır.

Şəhər miqyasında tətbiq isə bina səviyyəsindən daha mürəkkəb məsələdir. Burada mövcud tikili fondu, mühəndis-kommunikasiya şəbəkələri, nəqliyyat infrastrukturu, sosial obyektlər, yaşıllıq sahələri və mədəni irs eyni rəqəmsal mühitdə birləşdirilməlidir. Mövcud binaların və tarixi obyektlərin rəqəmsallaşdırılması ilə bağlı ədəbiyyat göstərir ki, məlumatların toplanması, semantik modelləşdirmə və modelin müntəzəm yenilənməsi şəhərsalmada BİM-in əsas metodoloji çətinliklərindəndir. Eyni zamanda BIM-GIS inteqrasiyası məkan analitikası, əlçatanlıq, logistika və infrastruktur monitorinqi kimi funksiyalar üçün vacib texniki baza yaradır.

BİM-in uğurlu tətbiqi texniki proqram təminatı ilə məhdudlaşmır. Tədqiqatlar göstərir ki, əməkdaşlıq mədəniyyəti, rol bölgüsü, təşkilati hazırlıq, dövlət sifarişçisinin tələbləri və müqavilə mexanizmləri tətbiqin nəticəsinə birbaşa təsir edir. Böyük Britaniyada mərkəzi hökumətin tikinti fəaliyyətində rəqəmsal və məlumat əsaslı yanaşmanın prioritetləşdirilməsi, o cümlədən BIM Level 2-nin hökumət portfelinə inteqrasiyası, dövlət sifarişinin bazarı istiqamətləndirmə gücünü nümayiş etdirmişdir. Sinqapurun BIM Guide sənədi isə layihə iştirakçılarının vəzifələrinin, BIM Execution Plan yanaşmasının və model mübadiləsi qaydalarının sistemli tənzimlənməsi baxımından praktik nümunədir.

Şəhər səviyyəsində açıq standartların rolu ayrıca vurğulanmalıdır. buildingSMART tərəfindən də təsdiq olunduğu kimi, IFC vendor-neutral və açıq standart kimi müxtəlif proqram mühitləri arasında məlumat mübadiləsini təmin edir. Bu yanaşma şəhərsalma üçün vacibdir, çünki vahid ekosistem daxilində memarlıq,

infrastruktur, kommunal sistemlər və məkan məlumatları müxtəlif proqramlarda hazırlanır. Sinqapurda 2014-cü ildə təqdim olunan Virtual Singapore platforması da məhz şəhər miqyasında məlumatların vahid rəqəmsal mühitdə birləşdirilməsi, simulyasiya və ssenari analizi üçün nümunə hesab olunur.

Azərbaycan üçün mövzu xüsusilə aktualdır. 2025-ci ildə təsdiq edilmiş Rəqəmsal İnkişaf Konsepsiyası dövlət informasiya sistemlərinin, data əsaslı qərarvermənin və rəqəmsal həllərin əlaqələndirilmiş inkişafını prioritet kimi müəyyən edir. Digər tərəfdən, Bakı şəhərinin 2040-cı ilədək olan Baş Planı dayanıqlı şəhər mühiti, çoxmərkəzli inkişaf, nəqliyyat və kommunal infrastrukturun modernləşdirilməsi, ekoloji reabilitasiya və tarixi irsin qorunmasını əsas istiqamətlər kimi təqdim edir. Buna görə də şəhər planlaşdırılmasında BİM texnologiyalarının tətbiqi Azərbaycanda ayrıca layihə aləti deyil, daha geniş rəqəmsal urban idarəetmə modelinə keçidin tərkib hissəsi kimi nəzərdən keçirilməlidir.

TƏDQİQATIN MƏQSƏDİ VƏ METODOLOJİ YANAŞMA

Bu tədqiqatın məqsədi şəhər planlaşdırılmasında BİM texnologiyalarının tətbiqi üçün elmi cəhətdən əsaslandırılmış və praktik baxımdan icra oluna bilən metodoloji çərçivə formalaşdırmaqdır. Məqalə empirik pilot layihənin nəticələrini deyil, mövcud elmi ədəbiyyatın, beynəlxalq metodik sənədlərin və rəsmi strategiyaların müqayisəli təhlilinə əsaslanan konseptual model təqdim edir.

Metodoloji yanaşma üç mənbə qrupunu birləşdirir: birincisi, BİM-in nəzəri əsasları, idarəetmə məntiqi və layihə səviyyəsində faydaları barədə elmi məqalələr; ikincisi, açıq standartlar və tətbiq qaydalarını müəyyən edən texniki sənədlər; üçüncüsü isə rəqəmsallaşma və şəhər inkişafını istiqamətləndirən rəsmi dövlət sənədləridir. Bu sintez əsasında Bakı şəhəri üçün mərhələli tətbiq ardıcıllığı və institusional şərtlər müəyyənləşdirilmişdir.

TƏKLİF OLUNAN TƏTBİQ METODOLOGİYASI

Təklif olunan model şəhərsalmada BİM-in bir dəfəlik proqram layihəsi kimi deyil, mərhələlərlə genişlənən idarəetmə infrastrukturuna çevrilməsini nəzərdə tutur.

1. Məlumatların inventarlaşdırılması və standartlaşdırılması. İlkin mərhələdə tikili fondu, torpaq istifadəsi, mühəndis-kommunikasiya şəbəkələri, nəqliyyat infrastrukturu, sosial obyektlər, yaşıllıq sahələri və mədəni irs haqqında məlumatlar vahid təsnifat üzrə toplanmalıdır. Mövcud tikililərin rəqəmsallaşdırılmasında geodeziya, lazer skan, fotogrammetriya və arxiv sənədlərinin birgə istifadəsi məqsədəuyğundur. Bu mərhələnin əsas nəticəsi vahid atribut sistemi, obyekt identifikatorları və məlumat keyfiyyəti qaydaları ilə təmin olunmuş bazanın yaradılmasıdır. Şəhər miqyasında sonrakı inteqrasiyanın uğuru məhz bu mərhələdə qəbul edilən standartlaşdırma qərarlarından asılıdır.

2. Parametrik şəhər modelinin qurulması. Toplanmış məlumat əsasında şəhərin çoxsəviyyəli parametrik modeli yaradılmalıdır. Şəhər miqyasında ümumi idarəetmə və analiz məqsədləri üçün LOD 200 səviyyəli baza model kifayət edə bilər; lakin tarixi mərkəzlər, iri nəqliyyat qovşaqları və mühəndis-kommunikasiya baxımından kritik ərazilər üzrə daha detallı modellər tələb oluna bilər. Modelləşdirmə açıq mübadilə məntiqinə söykənməli, IFC kimi vendor-neutral standartlarla uyğunlaşdırılmalıdır. Beləliklə, model müxtəlif proqram mühitləri arasında bağlı olmayan bir məlumat platformasına çevrilir.

3. BIM-GIS inteqrasiyası və məkan analitikası. Növbəti mərhələdə BİM modeli coğrafi informasiya sistemləri ilə əlaqələndirilir. Bu inteqrasiya hər bir obyektin koordinat, zonalaşdırma, əlçatanlıq, torpaq istifadəsi, nəqliyyat axını, günəş-kölgə rejimi və ekoloji göstəricilərlə birlikdə təhlilinə imkan verir. Şəhər planlaşdırılması üçün əsas üstünlük ondadır ki, layihə məlumatı məkan kontekstdən ayrılmır. Belə platforma qərarvericiyə yalnız ayrı-ayrı tikililəri deyil, onların ətraf urban sistemə təsirini də qiymətləndirməyə şərait yaradır.

4. Pilot tətbiq və idarəetmə mexanizmi. Şəhərsalmada BİM-in dayanıqlı tətbiqi üçün məhdud coğrafiyada pilot mərhələ vacibdir. Pilot ərazi seçilərkən məlumat əlçatanlığı, inkişaf təzyiqi, infrastruktur mürəkkəbliyi və çoxsaylı maraqlı tərəflərin mövcudluğu nəzərə alınmalıdır. Bu mərhələdə dövlət sifarişçisi, layihəçi, istismarçı qurumlar və kommunal operatorlar üçün rol bölgüsü, məlumat mübadiləsi protokolları və BIM Execution Plan yanaşması əvvəlcədən müəyyənləşdirilməlidir. Pilotun məqsədi yalnız texniki sınaq deyil, həm də təşkilati prosedurların yoxlanılmasıdır.

5. Genişləndirmə, institusional təminat və davamlı yenilənmə. Pilot mərhələdən sonra sistemin şəhər üzrə genişləndirilməsi normativ bazanın, təlim proqramlarının, məlumat yenilənməsi prosedurlarının və koordinasiya mexanizmlərinin qurulmasını tələb edir. Böyük Britaniyanın təcrübəsi göstərir ki, dövlət sifarişinin rəqəmsal tələbləri bazarda vahid davranış modelinin formalaşmasına təkan verir. Azərbaycan kontekstində isə bu mərhələ Rəqəmsal İnkişaf Konsepsiyası ilə uyğunlaşmalı, məlumat əsaslı qərarvermə, elektron xidmətlər və sahələrarası inteqrasiyanı dəstəkləməlidir.

NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

Təklif olunan metodologiyanın əsas üstünlüyü onun şəhərsalma prosesini təkcə layihələndirmə mərhələsində deyil, planlaşdırma, icra, monitorinq və yenilənmə dövrlərində vahid məlumat məntiqi ilə idarə etməsidir. Elmi ədəbiyyat BİM-in ən sabit üstünlüklərini koordinasiyanın yaxşılaşması, məlumatın təkrar daxil edilməsinin azalması, qərarların erkən sınaqdan keçirilməsi, xərc və vaxt nəzarətinin güclənməsi kimi təsvir edir. Buna görə şəhər miqyasında da əsas gözlənti universal faiz göstəriciləri deyil, idarəetmə keyfiyyətinin yüksəlməsi və məlumat axınının ardıcıllığıdır.

BIM-GIS inteqrasiyasının şəhər planlaşdırılması üçün xüsusi əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, urban qərarlar artıq iki ayrı məkan arasında deyil, vahid verilənlər mühitində hazırlanır. Bu, nəqliyyat, kommunal infrastruktur, tikinti sıxlığı, günəşlənmə, ekoloji göstəricilər və sosial xidmət əlçatanlığı kimi meyarların eyni model üzərində qiymətləndirilməsinə şərait yaradır. Şəhər rəqəmsal əkizi yanaşmasının praktiki dəyəri də bu nöqtədə yaranır: müxtəlif ssenarilər plan təsdiqindən əvvəl simulyasiya olunur və risklər erkən mərhələdə görünür.

Bakı şəhəri üçün metodologiyanın tətbiqi 2040 Baş Planın prioritetləri ilə birbaşa səsləşir. Baş Plan çoxmərkəzli inkişafı, nəqliyyat şəbəkəsinin təkmilləşdirilməsini, kommunal sistemlərin modernləşdirilməsini, ekoloji reabilitasiyanı və tarixi irsin qorunmasını əsas xətt kimi müəyyən edir. Bu prioritetlərin hər biri ayrı-ayrılıqda məlumat inteqrasiyası tələb etdiyindən, BİM platforması şəhərsalma məlumatının parçalanmış saxlanma modelini mərhələlərlə aradan qaldırmaq üçün rasional alət hesab oluna bilər. Eyni zamanda, 2025-ci il Rəqəmsal İnkişaf Konsepsiyası dövlət informasiya sistemlərinin koordinasiyalı inkişafını və data əsaslı qərarverməni təşviq etdiyinə görə, BİM-in tətbiqi üçün normativ-siyasi zəmin mövcuddur.

Bununla belə, şəhər miqyasında tətbiqin məhdudiyyətləri də nəzərə alınmalıdır. Bu məqalə Bakı üzrə konkret pilot layihənin nəticələrinə söykənmədiyi üçün xərclərin və ya müddətlərin dəqiq faizlərlə azalmasını iddia etmir. Belə göstəricilər yalnız pilot tətbiq başa çatdıqdan, müqayisəli ölçmə metodikası qurulduqdan və institusional məlumatlar əldə edildikdən sonra elmi cəhətdən əsaslandırıla bilər. Hazırkı mərhələdə daha düzgün nəticə ondan ibarətdir ki, BİM-in uğurlu şəhərsalma tətbiqi üçün açıq standartlar, idarəetmə intizamı, məlumat keyfiyyəti və kadr hazırlığı eyni vaxtda təmin olunmalıdır.

YEKUN NƏTİCƏ

Beləliklə, şəhər planlaşdırılmasında BİM texnologiyalarının tətbiqi müasir urban idarəetmə üçün perspektivli, lakin institusional hazırlıq tələb edən istiqamətdir. Məqalədə təklif olunan beşmərhələli metodologiya məlumatların toplanması və standartlaşdırılmasından başlayaraq parametrik modelləşdirmə, BIM-GIS inteqrasiyası, pilot sınaq və şəhər üzrə genişləndirməyə qədər ardıcıl icra çərçivəsi təqdim edir.

Araşdırma göstərir ki, BİM-in şəhər miqyasında real dəyəri daha çox koordinasiya, məlumat ardıcıllığı, qərarvermənin şəffaflığı və ssenari əsaslı planlama imkanlarında özünü göstərir. Azərbaycan və xüsusilə Bakı üçün bu yanaşmanın praktik əhəmiyyəti rəqəmsal inkişaf gündəliyi ilə şəhərin 2040-cı ilə qədər olan strateji inkişaf prioritetlərini vahid məlumat platformasında birləşdirməkdir. Sonrakı mərhələdə metodologiyanın konkret pilot ərazi üzərində sınaqdan keçirilməsi və ölçülə bilən göstəricilərlə qiymətləndirilməsi məqsədəuyğun hesab olunur.

Ədəbiyyat siyahısı

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects 2025: Summary of Results. New York: United Nations, 2025. Available at: https://population.un.org/wup/assets/Publications/undesa_pd_2025_wup2025_summary_of_results_final.pdf (accessed: 17.04.2026).

2. Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2018. 688 p.

3. Succar B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders // Automation in Construction. 2009. Vol. 18, No. 3. P. 357-375. DOI: 10.1016/j.autcon.2008.10.003.

4. Bryde D., Broquetas M., Volm J.M. The project benefits of Building Information Modelling (BIM) // International Journal of Project Management. 2013. Vol. 31, No. 7. P. 971-980. DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.12.001.

5. Wong K.-D., Fan Q. Building information modelling (BIM) for sustainable building design // Facilities. 2013. Vol. 31, No. 3/4. P. 138-157. DOI: 10.1108/02632771311299412.

6. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs // Automation in Construction. 2014. Vol. 38. P. 109-127. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.

7. Irizarry J., Karan E.P., Jalaei F. Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management // Automation in Construction. 2013. Vol. 31. P. 241-254. DOI: 10.1016/j.autcon.2012.12.005.

8. Liu Y., van Nederveen S., Hertogh M. Understanding effects of BIM on collaborative design and construction: An empirical study in China // International Journal of Project Management. 2017. Vol. 35, No. 4. P. 686-698. DOI: 10.1016/j.ijproman.2016.06.007.
9. Porwal A., Hewage K.N. Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects // Automation in Construction. 2013. Vol. 31. P. 204-214. DOI: 10.1016/j.autcon.2012.12.004.
10. UK Government. Government Construction Strategy 2016-2020. London: Cabinet Office, 2016. 19 p. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a80ac49ed915d74e622fca7/Government_Construction_Strategy_2016-20.pdf (accessed: 17.04.2026).
11. Building and Construction Authority. Singapore BIM Guide. Version 2. Singapore: BCA, 2013. Available at: https://info.corenet.gov.sg/docs/default-source/bim-guides/singapore/singapore-bim-guide_v2.pdf (accessed: 17.04.2026).
12. buildingSMART International. Industry Foundation Classes (IFC). Available at: https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/ (accessed: 17.04.2026).
13. Singapore Land Authority. Annual Report 2014/15. Singapore: SLA, 2015. Available at: https://www.sla.gov.sg/qql/slot/u143/Newsroom/Annual-Reports/SLA_AR_14_15.pdf (accessed: 18.04.2026).
14. "Azərbaycan Respublikasında Rəqəmsal İnkişaf Konsepsiyası"nın təsdiq edilməsi haqqında Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Fərmanı. 16 yanvar 2025. Available at: https://president.az/az/articles/view/67937 (accessed: 17.04.2026).
15. Bakı şəhərinin 2040-cı ilə qədər olan Baş Planı təsdiq edildi // Azərbaycan Respublikası Dövlət Şəhərsalma və Arxitektura Komitəsi. 30.12.2023. Available at: https://arxkom.gov.az/media/xeberler/baki-seherinin-2040-ci-ile-qeder-olan-bas-plani-tesdiq-edildi (accessed: 17.04.2026).

DALĞAVARİ METAL ƏYİLƏN ELEMENTLƏRİNİN KONSTRUKTİV ANALİZİ

Cəfərov Orxan (Jafarov Orkhan)
Bakı Mühəndislik Universiteti,
Memarlıq və inşaat fakultəsi, İnşaat mühəndisliyi bölməsi,
oceferov5@std.beu.edu.az
Bakı,Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalədə dəyişən dalğavari və ənənəvi dalğavari divarlara malik ikitavr kəsikli tirlərin müqayisəli statik konstruktiv analizi təqdim olunur. Təqdim olunan tədqiqat və əldə olunan nəticələr dalğavari konstruktiv elementlərin təkmilləşdirilməsinə yönəlmiş kompleks işin bir hissəsi kimi qiymətləndirilməlidir. Gələcəkdə qoyulmuş məsələlərin dəmir-beton, plastiklər və digər konstruksiya materiallarından hazırlanmış konstruktiv formalar üçün ümumiləşdirilməsi (ekstrapolyasiyası) nəzərdə tutulur.
Dəyişən dalğalanma, nəzərdən keçirilən konstruksiyaların istehsal prosesinin əhəmiyyətli dərəcədə mürəkkəbləşməsinə səbəb olmadan material qənaətinə imkan verdiyi üçün mühüm amil hesab olunur. Bu tip elementlər orta aşırımlı bina və qurğularda geniş tətbiq olunduğundan (tikinti sahəsi baxımından), onların geniş yayılması gözlənilir.
Açar sözlər: dalğavari divarlı tirlər, statik konstruktiv analiz, tikinti konstruksiyaları, müqayisəli analiz, material qənaəti, orta aşırımlı konstruksiyalar, istehsal texnologiyası.

Structural Analysis of Corrugated Metal Bending Elements

Annotation: This article presents a comparative static structural analysis of I-section beams with variable corrugated webs and conventional corrugated webs. The conducted research and the obtained results should be regarded as part of a comprehensive effort aimed at improving corrugated structural elements. In the future, it is intended to generalize (extrapolate) the stated problems to structural forms made of reinforced concrete, plastics, and other construction materials.
Variable corrugation is considered an important factor, as it allows for material savings without significantly complicating the manufacturing process of the structures under consideration. Since such elements are widely used in medium-span buildings and structures (in terms of construction practice), their broader adoption is expected.
Keywords: corrugated web beams, structural static analysis, building structures, comparative analysis, material savings, medium-span structures, manufacturing technology.

Giriş

Yerli və xarici alimlər dalğavari konstruksiyaların öyrənilməsi, təsviri və tətbiqi sahəsində aktiv tədqiqatlar aparırlar. Dalğavari konstruksiyaların hesablanmasının nəzəri əsaslarının inkişafına V.N. Qornov, Ya.İ. Olkov, A.N. Stepanenko, E. Zeidel, S. Berqman və başqaları böyük töhfə vermişlər. Bununla belə, dalğavari divarlı konstruksiyaların hesablanması və layihələndirilməsi metodlarının işlənib hazırlanması, onların konstruktiv formasının təkmilləşdirilməsi və tətbiq sahələrinin genişləndirilməsi ilə bağlı bir sıra məsələlər hələ də həllini tapmamışdır.

Bu problemlərin həlli dalğavari elementlərin tikinti praktikasında daha geniş və səmərəli tətbiqinə imkan verəcək və nəticədə material və əmək resurslarına qənaət olunmasına şərait yaradacaqdır.

Dəyişən dalğavari quruluş

Tirin uzunluğu boyunca divarın dalğavari formasının dəyişməsi ideyası, əsasən dayaqlara yaxın sahələrdə yaranan intensiv kəsici qüvvələrin olduğu zonalarda dalğaların cəmləşdirilməsindən ibarətdir (əyilmə altında işləyən tir konstruksiyaları üçün).

Bu zaman divarın hündürlüyü üzrə hər bir dalğa sabit kəsiyə malik olur ki, bu da divarın yerli dayanıqlığını təmin edir. Başqa sözlə, dalğa eninə sərtlik qabırğası kimi işləyir.

Materialın belə paylanması və konstruksiyanın işi, hamar divarlı və dalğavari hissələrin birləşdirildiyi kombinə olunmuş konstruksiyalarda da həyata keçirilə bilər. Bu halda hər bir hissə daxilində dalğaların yarımdalğa uzunluğu və hündürlüyü sabit qalır.

Bu konstruktiv həllin effektivliyi əsasən divarın diskretləşmə dərəcəsindən asılıdır. Adətən kiçik kəsici qüvvələrin təsir etdiyi sahələrdə yerləşən hamar divarlı hissələr perforasiya edilə bilər ki, bu da material sərfini daha da azaltmağa və tətbiq sahəsini genişləndirməyə imkan verir.

Dəyişən dalğavari elementlərin istehsalı mövcud istehsal xətlərinin cüzi yenidən qurulmasını tələb edir. Kombinə olunmuş konstruksiyalar əlavə kapital qoyuluşları olmadan mövcud istehsal güclərində hazırlana bilər.

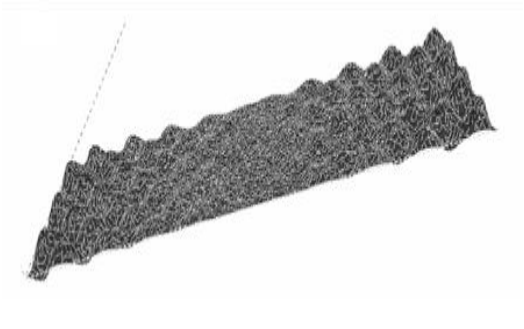
Qeyd etmək lazımdır ki, dəyişən dalğavari və kombinə olunmuş elementlər həm düzxətli (tirlər, sütunlar), həm də əyrixətli (tağlar) formada ola bilər.Nisbətən az material və vaxt sərfi ilə operativ analiz aparmaq üçün kompüter əsaslı riyazi modelləşdirmə geniş imkanlar yaradır. Bu məqsədlə əsas hesablamalar sonlu elementlər metodu vasitəsilə aparılmışdır.

Tədqiq olunan konstruksiyalar iki proqram kompleksində – SCAD və LIRA – paralel olaraq hesablanmış, nəticələr isə müqayisə edilərək analiz edilmişdir.

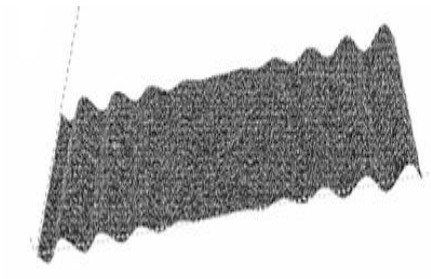
Analiz üçün ilkin şərtlər

Aparılan analizdə əsas məqsəd dəyişən dalğavari quruluşun ənənəvi dalğavari quruluşla müqayisədə effektivliyinin əsaslandırılması, mümkün material qənaətinin müəyyən edilməsi və sonlu elementlər metoduna əsaslanan iki proqram kompleksinin nəticələrinin müqayisəsidir.

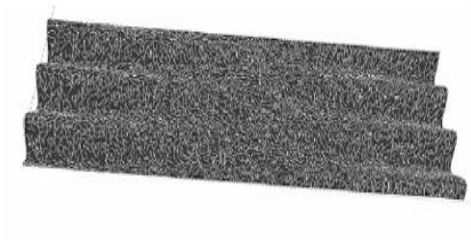
a)



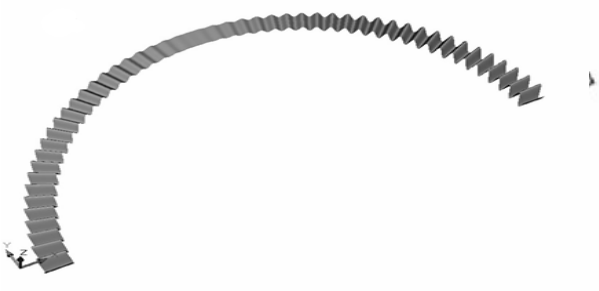
b)



c)



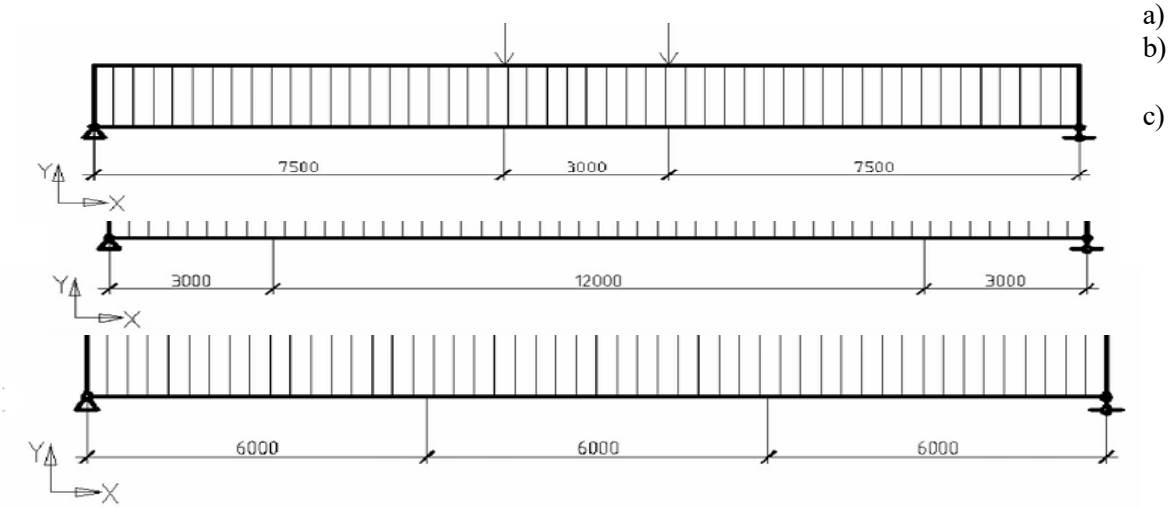
e)



Şək il 1. Divarın dəyişən dalğavari formalarının variantları

a) İ.K. Poqadayev tərəfindən təklif edilmiş “həcmli” divarın iki simmetrik yarısından birinin dəyişən variantı;

b) ayrı-ayrı götürülmüş dalğa üzrə uzunluğu və yarımdalğa hündürlüyü sabit olan dəyişən dalğavari divar;
c) uzununa istiqamətdə dəyişən dalğavari divar;
d) dəyişən konoid qabıq (N.P. Selivanovun tir divarı variantı);
e) yuxarı hissəsində sönümlənmə sahəsi olan dairəvi konturlu dəyişən dalğavari tağ konstruksiyası



Şəkil 2. Hesab sxemi
a) təmiz əyilmə zonası – 3 m; b) təmiz əyilmə zonası – 6 m; c) təmiz əyilmə zonası – 12 m.

Tirlərin qurşaqları, bərkidilmə şərtləri və yüklənməsi eyni qəbul edilmişdir. Tətbiq olunan cəmlənmiş qüvvələrin qiyməti 5,8 ton təşkil edir.

Dalğanın yarımperiodunun hündürlüyü ilə uzunluğu arasındakı nisbət adətən 0,15 qəbul edilmişdir. Bu seçim METALBUILD 2006 konfransında təqdim olunan tədqiqatlara əsaslanır. Həmin nisbətdə düzxətli elementin dalğavari divarı həm yerli, həm də ümumi dayanıqlığını eyni vaxtda itirir və dayanıqlıq parametri vahidə yaxın olur.

Tirlərdə dayaq sərtlik qabırğaları nəzərdə tutulmamışdır.

Aparılmış hesablamaların nəticələri

Müqayisə olunan konstruksiyaların hesab nəticələrinin təhlili göstərir ki:

- dəyişən dalğavari divarda normal gərginliklər $\boldsymbol{\sigma_x}$, ənənəvi dalğavari divarla müqayisədə orta hesabla 30% artır;
- $\boldsymbol{\sigma_y}$ gərginlikləri təxminən 15% artır;
- toxunma (kəsici) gərginliklərinin $\boldsymbol{\tau_{xy}}$ müsbət qiymətləri 13% azalır, mənfi qiymətləri isə 16% artır.

Təsdiq olunmuşdur ki, divarın hündürlüyü üzrə toxunan gərginlikləri demək olar ki, bərabər paylanır və kifayət qədər dəqiqliklə məlum düstur üzrə təyin edilə bilər.

$$\tau = \frac{Q}{t_w \cdot h_w} \leq R_s.Y_c \quad (1)$$

Dəyişən dalğavari tirin sıxılan qurşağında:

- $\boldsymbol{\sigma_x}$ normal gərginlikləri ənənəvi dalğavari tirlə müqayisədə orta hesabla 19,5% artır;
- $\boldsymbol{\sigma_y}$ gərginlikləri 28% artır;
- $\boldsymbol{\tau_{xy}}$ toxunan gərginlikləri 34% artır.

Sonlu elementlər metodu ilə aparılan hesablamalar göstərmişdir ki, tirin qurşağı dalğaların təsiri ilə ötürülən daxili qüvvələrin təsiri altında öz müstəvisində dəyişən əyilməyə məruz qalır (yəni istiqamət və qiymət dəyişir).

Ənənəvi dalğavari divarda təmiz əyilmə zonasinda normal və toxunan gərginlikləri sıfıra yaxın olur. Dəyişən dalğavari divarda isə bu zona sahə etibarilə xeyli kiçikdir və faktiki olaraq gərginlik işarələrinin dəyişdiyi sərhəd boyunca yerləşir.

Bu fakt dalğavari sahələrin böyük kəsici qüvvələrin təsir etdiyi zonalarda rasional şəkildə cəmləşdirilməsi barədə nəzəri fərziyyələri təsdiq edir və beləliklə dalğavari elementlərin potensial imkanlarından daha səmərəli istifadə olunduğunu göstərir.

Dəyişən dalğavari divarda σ_x gərginliklərinin paylanmasının təhlili göstərir ki, aşırımın orta hissəsində (təmiz əyilmə zonasında), burada dalğavari forma zəiflədiyinə görə, divar daha çox qurşaqların işinə qoşulur.

Müqayisə olunan konstruksiyaların deformasiya qabiliyyəti divarın müstəvisində yüklənmə növündən asılıdır və verilmiş şəraitdə demək olar ki, eynidir.

Tirin ümumi dayanıqlığının itməsi, divarın yerli dayanıqlığını itirməsi nəticəsində baş verir və bu, dayağa yaxın sahələrdə dalğaların qabarması (şişməsi) ilə müşahidə olunur, yəni maksimal kəsici qüvvələrin təsir etdiyi zonada. Bu hal həm ənənəvi, həm də dəyişən dalğavari divarlar üçün xarakterikdir.

Bunun qarşısını almaq üçün praktikada tirlərin son hissələrində sərtlik qabırğaları ilə gücləndirilməsi tövsiyə olunur.

Ənənəvi dalğavari tirin dayanıqlıq ehtiyatı əmsalının dalğanın həndəsi parametrlərindən asılı olaraq dəyişməsi Cədvəl 1-də verilmişdir.

2b sxeminə uyğun dəyişən dalğavari divarlı tir üçün dayanıqlıq ehtiyatı əmsalı, ənənəvi dalğavari tirlə müqayisədə orta hesabla 7% daha yüksək olmuşdur (Cədvəl 2).

Təmiz əyilmə zonası uzunluğu 3 m, 6 m və 12 m olan hallarda, demək olar ki, eyni dayanıqlıq ehtiyatı əmsalı şərti daxilində aparılmış iqtisadi müqayisənin nəticələri Cədvəl 3-də təqdim edilmişdir.

Dalğavari tirin dayanıqlığının dalğanın həndəsi parametrlərindən asılı olaraq dəyişməsi

(təmiz əyilmə zonası – 6 m olan hal üçün)

Cədvəl 1

Ənənəvi dalğavari

Dayanıqlıq ehtiyatı əmsalı k_ust	Dalğanın yarımuzunluğu l, sm	Dalğanın yarımhündürlüyü f, sm	f/l nisbəti
0,77	80	12	0.15
1,06	43	3.5	0.08
1,62	43	6.5	0.15
1,66	36	5	0.14

Dəyişən dalğavari

Dayanıqlıq ehtiyatı əmsalı k_ust	Başlanğıc yarımuzunluq l_n, sm	Başlanğıc yarımhündürlük f_n, sm	f_n/l_n nisbəti
1.77	36	5	0.14

Analiz edilən konstruksiyaların dayanıqlıq hesablamalarının nəticələri

(təmiz əyilmə zonası – 6 m olan hal üçün*)*

Cədvəl 2

Proqram kompleksi	Dayanıqlıq ehtiyatı əmsalı		Nəticələrin fərqi %		Dəyişən dalğavarinin effektivliyi (Ənənəvi ilə müqayisədə), %
	Ənənəvi dalğavari	Dəyişən dalğavari	Ənənəvi	Dəyişən	
Lira v 9.4	1.6565	1.7746	0.013	0.505	7.13
SCAD v 11.1	1.6563	1.7656			6.60

İqtisadi müqayisənin nəticələri

Cədvəl 3

Dalğavari növü	Dayanıqlıq əmsalı k_ust	Divar qalınlığı t_v, m	Divarın açılmış uzunluğu, m	Material qənaəti [%] (təmiz əyilmə zonası) 3 m		
				3 m	6 m	12 m
Ənənəvi dalğavari (ED)	1.52	0.004	18.7733	-	-	-
Dəyişən dalğavari (DD)	1.53	0.0363	18.3215	12.91	13.85	7.86

Nəticə

Beləliklə, divarın dəyişən dalğavari konstruktiv forması verilmiş yüklənmə növündə metal sərfini orta hesabla 8%-dən 14%-ə qədər və daha çox azaltmağa imkan verir. Bu zaman analoji ənənəvi daığavari konstruksiya ilə müqayisədə ümumi dayanıqlıq şərtinin təmin olunması saxlanılır.

Tədqiqatlar sonlu elementlər üsulu əsasında işləyən iki proqram kompleksində – SCAD və LIRA-da paralel aparılmışdır. Bu proqram kompleksləri vasitəsilə əldə olunan nəticələr bir-birinə çox yaxındır. Ən normal və kəsici gərginliklərin qiymətlərində fərq ənənəvi dalğalanma üçün 0.13%-dən çox deyil, dəyişən dalğalanma üçün isə 1.82%-ə qədərdir. Dayanıqlıq əmsalının qiymətlərində fərq müvafiq olaraq 0.013% və 0.505% təşkil edir. Proqram komplekslərində yalnız hesablama sxemi eyni qəbul edilmiş, digər xüsusiyyətlər, yüklər və sərhəd (bərkitmə) şərtləri isə hər bir proqramda ayrıca təyin olunmuşdur.

Aparılmış hesablamaların nəticələrinin təhlilinə əsasən qeyd etmək lazımdır ki, istifadə olunan proqram kompleksləri bir-birinə yaxın nəticələr verir və fərqlər cüzi faizlərlə məhdudlaşır. Bu isə hesablamanın nəzəri əsaslarının düzgünlüyünü və təklif olunan konstruktiv həllin effektivliyini təsdiqləyir.

Təqdim olunan tədqiqat və əldə olunan nəticələr dalğavari konstruktiv elementlərin təkmilləşdirilməsinə yönəlmiş kompleks işin bir hissəsi kimi qiymətləndirilməlidir. Gələcəkdə qoyulmuş məsələlərin dəmir-beton, plastiklər və digər konstruksiya materiallarından hazırlanmış konstruktiv formalar üçün ümumiləşdirilməsi (ekstrapolyasiyası) nəzərdə tutulur.

Dəyişən dalğalanma, nəzərdən keçirilən konstruksiyaların istehsal prosesinin əhəmiyyətli dərəcədə mürəkkəbləşməsinə səbəb olmadan material qənaətinə imkan verdiyi üçün mühüm amil hesab olunur. Bu tip elementlər orta aşırımlı bina və qurğularda geniş tətbiq olunduğundan (tikinti sahəsi baxımından), onların geniş yayılması gözlənilir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Бирюлев В.В. Проектирование металлических конструкций. Специальный курс. – Л.: Стройиздат, 1990.
2. Горев В.В., Филиппов В.В., Тезиков Н.Ю. «Математическое моделирование при расчетах и исследованиях строительных конструкций», М.: Высшая школа, 2002.
3. Погадаев И.К. Напряженно-деформированное состояние стальных балок с гибкими подкрепленными стенками и разработка методов их расчета и проектирования. Дис. на соиск. уч. ст. д. т. н. Тверь, 1994.
4. Степаненков А.Н. Стальные двутавровые стержни с волнистой стенкой. Хабаровск: ХГТУ, 1999.
5. Металлические конструкции. Т.2. Стальные конструкции зданий и сооружений (справочник проектировщика). Под общ. ред. Кузнецова В.В. М.: АСВ, 1998.

MÜASİR TİKİNTİDƏ DALĞAVARİ GÖVDƏLİ İKİTAVRLI ŞÜALARDAN İBARƏT ÇƏRÇİVƏ KARKASLARIN TƏTBİQ HALLARI

Pirəliyeva Nəzrin,
Bakı Mühəndislik Universiteti,
Memarlıq və inşaat fakultəsi, İnşaat mühəndisliyi bölməsi,
npireliyeva1@std.beu.az,
Bakı,Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalədə gofra (dalğalı) konstruksiyaların əsas anlayışı, onların növləri, başlıca üstünlükləri və çatışmazlıqları, həmçinin müasir tikintidə dalğalı gövdəli I-şüaların tətbiqinə dair müxtəlif həyata keçirilmiş nümunələr və onların standart I-şüalarla müqayisəsi müzakirə olunur. Göstərilir ki, dalğalı gövdəli I-şüaların istifadəsi düz gövdəli I-şüalarla müqayisədə bir sıra üstünlüklərə malikdir. Dalğalı gövdəli şüanın daşıma qabiliyyəti ümumiyyətlə standart I-şüaya nisbətən daha yüksəkdir.**Açar sözlər:** dalğavari divarlı ikitavrlar, çərçivə karkasları, dalğavari tirlərin tətbiqi, müasir tikinti.

Applications of Frame Structures Composed of Corrugated Web I-Beams in Modern Construction

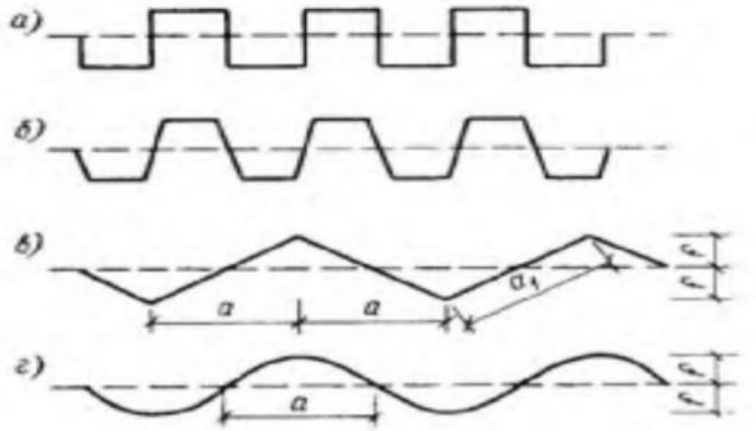
Abstract: This article discusses the basic definition of corrugated structures, their types, main advantages and disadvantages, as well as various realized cases of using I-beams with a corrugated wall in modern construction, their comparison with standard I-beams. It is shown that the use of I-beams with corrugated wall has several advantages compared to I-beams with a flat wall. The load-bearing capacity of a beam with a corrugated wall is generally higher than in a standard I-beam.**Keywords:** corrugated web I-beams, frame structures, application of corrugated beams, modern construction.

Giriş

Dalğavari divarlı ikitavrlar sərbəst kəsikli başlıq hissələrindən və əyilmiş (dalğavari) metal divardan ibarət konstruksiyadır. Dalğavari divar eninə sərtlik qabırğaları funksiyasını yerinə yetirərək divarın dayanıqlığını təmin edir.

Dalğavarilər aşağıdakı növləri ilə seçilir (şəkil 1):

- düzbucaqlı;
- trapetsiyavari;
- üçbucaqlı;
- dalğavari (sinusoidal).



Şəkil 1. Gövdələrin (divarların) dalğavarilənmə növləri:
a — düzbucaqlı;
b — trapetsiyavari;
c — üçbucaqlı;
d — sinusoidal (dalğavari).

Bu tirlərin başlıq hissələri, bir qayda olaraq, düzbucaqlı kəsikli yayma poladdan hazırlanır, lakin əyilmiş elektrik-qaynaq boru kəsiklərindən və dəmir-beton elementlərdən istifadə halları da mövcuddur.

Dalğavari divarlı ikitavrlardan ibarət konstruksiyalar binaların və qurğuların örtük və arakəsmələrinin daşıyıcı elementləri (şəkil 2), kranaltı tirlər, kran-balkalar və körpü tipli kranların elementləri kimi tətbiq olunur.



Şəkil 2. Dalğavari divarlı ikitavr tirlərdən ibarət çərçivə karkası

Dalğavari divarlı ikitavrların **kifayət qədər hərtərəfli tədqiq olunmaması** və **zəruri normativ ədəbiyyatın olmaması** səbəbindən onların istifadəsi hazırda məhduddur.
Dalğavari konstruksiyaların əsas üstünlükləri aşağıdakılardır:

- eyni kəsiyə malik **düz divarlı konstruksiyalarla müqayisədə daha böyük sərtlik;**
- **polad sərfiyyatının az olması** (nazik təbəqəli yayma poladdan istifadə və köndələn sərtlik qabırğalarının sayının azalması hesabına) və nəticədə **öz çəkisinin az olması,** bu isə **40 m-ə qədər aşırımları örtməyə** imkan verir;
- divar ilə başlıq hissələrini birləşdirən **kəmər qaynaq tikişlərinin** yerinə yetirilməsi daha mürəkkəb olsa da, **əmək sərfi düz divarlı yığıma ikitavrların hazırlanması ilə müqayisədə 12–15% azdır;**
- **yığım və montaj proseslərinin avtomatlaşdırılması** dalğavari tirlərin hazırlanmasında tələb olunan **bahalı və uzunmüddətli ilkin yığım və qaynaq prosesini azaltmağa** imkan verir;
- **enerjiyə qənaət və istilik itkilərinin azalması**. Adi **fermaların** tətbiqi zamanı, fermaların böyük hündürlüyü səbəbindən metal konstruksiyaların tutduğu əlavə məkanın da qızdırılması tələb olunur. Dalğavari tir texnologiyasında isə bu çatışmazlıq aradan qaldırılır;
- təbii zahiri forması bu konstruksiyalardan memarlıq elementi kimi istifadə etməyə imkan verir. Lakin dalğaların üzərində toplanan toz və çirk otağın ekoloji təmizliyini və estetik görünüşünü azalda bilər.

Çatışmazlıqlara gəldikdə isə aşağıdakı məqamları qeyd etmək olar:

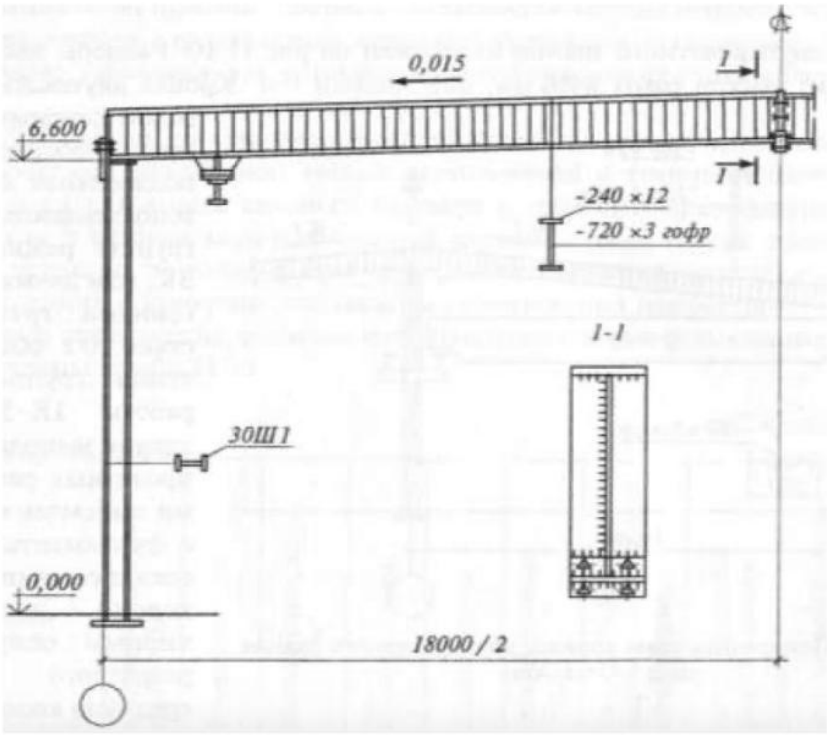
- avadanlığın yüksək dəyəri səbəbindən istehsal xərclərinin artması;
- sıxılmaya işləyərkən möhkəmliyinin nisbətən aşağı olması səbəbindən dalğavari divarlı ikitavrların sütun kimi istifadəsi tövsiyə edilmir;
- normativ ədəbiyyatda kifayət qədər məlumatın olmaması səbəbindən layihələndirmə zamanı çətinliklərin yaranması.

Dalğavari tirlərin tikintidə tətbiqinin başlanğıcı

Dalğavari konstruksiyalar yalnız **son illərdə geniş tətbiq olunmağa başlamışdır**. Bunun əsas səbəbi ondan ibarətdir ki, **qaynaq robotlarının və metalın bükülməsi və verilməsi proseslərinin avtomatlaşdırılmasından əvvəl** dalğavari **divarlı tirlərin** istehsalı olduqca **əmək tutumlu** idi. Əl üsulu ilə istehsal zamanı konstruksiyaların keyfiyyəti kifayət qədər yüksək olmadığından, əsasən **üçbucaqlı formalı kəsiyə malik tirlər** hazırlanırdı.Dalğavari **divarlı tirlərin** tarixi **SSRİ dövrünün 1930-cu illərinə** gedib çıxır. Lakin o dövrdə **metal emalı texnologiyaları primitiv olduğuna görə** ilk dalğavari tirlər **taxtadan hazırlanırdı.** Onlar haqqında ilk elmi qeydlər **1960-cı illərdə** meydana çıxmışdır. 1963-cü ildə **G. A. Ajermachev** tərəfindən bir elmi iş nəşr olunmuşdur [5]. Həmin işdə müəllif **dalğavari divarlı tirlərin düz gövdəli tirlərlə müqayisədə daha yüksək sərtliyə malik olmasının ehtimal olunan səbəblərini** izah etmişdir. Təxminən həmin dövrdə **Avropada dalğavari divarlı ikitavrlar çərçivə karkaslarının elementləri kimi** tətbiq olunmağa başlamışdır.İki onillik sonra isə onlar **körpülərin tikintisində** də istifadə olunmağa başlamışdır. XX əsrin **1980-ci illərində** Avropa təcrübəsi **Yaponiya** tərəfindən mənimsənilməyə başladı. ABŞ-da isə **polad divarlı tirlər** haqqında ilk məlumat **1970-ci ilin mart ayına** aiddir. Həmin dövrdə bu sahədə **ilk patent** də qeydiyyata alınmışdır.

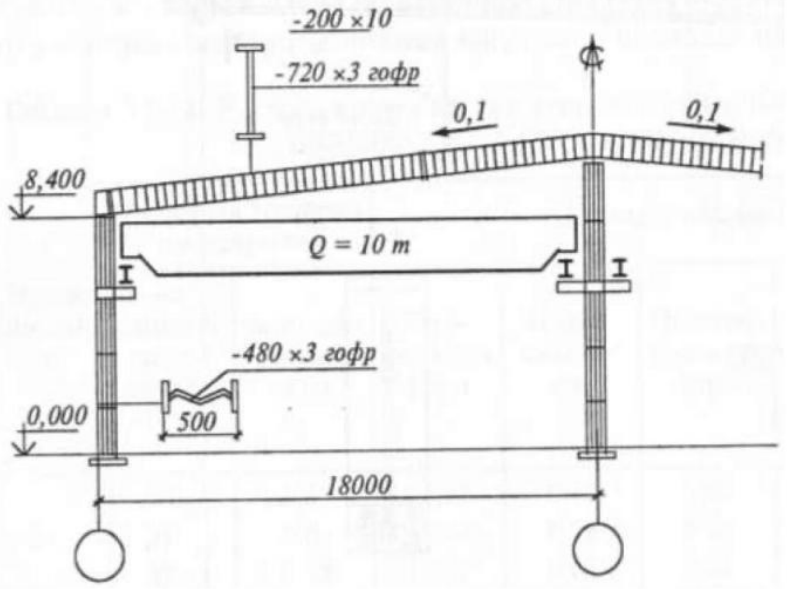
Dalğavari **SIN-tirlərin** istifadə edildiyi ilk tikililər **Avropada** inşa olunmuşdur. Bunun səbəbi məhz burada **dalğavari tirlərin istehsalı üçün ilk avtomatlaşdırılmış istehsal xəttinin yaradılması** idi. 1998-ci ildə **"Metro" şirkəti** Polşada, **Katovitse** şəhəri yaxınlığında sahəsi **55 min m²** olan ilk ticarət mərkəzini açırdı. Şirkət tender elan etmişdi və əsas şərt işlərin **15 noyabra qədər** tamamlanması idi, çünki "Metro" mağazanı **Milad bayramlarından əvvəl** açmaq istəyirdi. Podratçı **mağazanı 3 ay ərzində tikməli idi,** əks halda şirkətin itirəcəyi Milad satışlarına görə böyük **cərimələr** tətbiq olunacaqdı. Tikinti konstruksiyalarının ümumi çəkisi **2100 ton** təşkil edirdi. Tenderi **Avstriyanın "Zeman" şirkəti** qazandı. Şirkət özünün **patentləşdirilmiş dalğavari divarlı tirlərin** istifadəsini təklif etdi və bu, konstruksiyanın çəkisini **700 ton azaltmağa,** yəni **2100 ton əvəzinə 1400 ton** olmasına imkan verdi.

Dalğavari divarlı ikitavrlardan ibarət **ilk yerli konstruksiyalar 1987-ci ildə** meydana çıxmışdır. Bunlar **"Alma-Ata" konstruksiyaları** idi və **18 m aşırımlı, qızdırılan, bir və iki aşırımlı, bir mərtəbəli binaların çərçivə karkaslarını** təşkil edirdi.Bir aşırımlı çərçivələrdə **dalğavari divarlı rigellər, dayaqlar isə rəflərin paralel kənarlarına malik ikitavrlar** kimi istifadə olunmuşdur (şəkil 3).



Şəkil 3. "Alma-Ata" tipli bir aşırımlı binanın karkasının eninə çərçivəsi

"Alma-Ata" tipli **iki aşırımlı çərçivə konstruksiyalarında** rigellər **gövdəsi köndələn istiqamətdə dalğavarilənmiş dalğavari-tirlərdən,** dayaqlar isə **uzununa istiqamətdə dalğavarilənmiş divara malik qaynaq olunmuş ikitavrlardan** hazırlanmışdır (şəkil 4).



Şəkil 4. "Alma-Ata" tipli iki aşırımlı binanın karkasının eninə çərçivəsi

Dalğavari şüaların müasir tətbiqi

MDB ölkələrində **dalğavari divarlı tirlərin istehsalında lider Ukraynadır,** baxmayaraq ki, orada **dalğavari divarlı tirlərin istehsalı üçün yalnız bir müəssisə xüsusi istehsal xətti ilə təchiz olunmuşdur.** Dalğavari gövdəli **ikitavr tirlər** aşağıdakı obyektlərin tikintisində istifadə olunur:

- sənaye obyektləri,

- anbarlar,
- istehsalat sexləri,
- **yanacaqdoldurma məntəqələri (YDM),**
- kənd təsərrüfatı təyinatlı obyektlər.

Bu müəssisənin uğuru ondan ibarətdir ki, o, **layihələndirmə, metal konstruksiyaların hazırlanması və onların montajını müstəqil şəkildə həyata keçirir.**

1986–2006-cı illər ərzində **Qazaxıstanın "CNİİP Proektstalkonstruksiya" institutu** tərəfindən bir sıra layihələr həyata keçirilmişdir. Bunlara aşağıdakılar daxildir:

- **Aşqabad hava limanı,**
- **Almatı şəhərində ət kombinatının binası,**
- ticarət mərkəzinin binası,
- **9 mərtəbəli yaşayış binası,**
- təyyarələr üçün **anqar**,
- sement zavodunun xammal anbarı üçün **kranaltı tirlər**,
- **boru kəmərləri üçün estakadalar,**
- **11 mərtəbəli ofis binasının günbəz konstruksiyası** və s.

30 il ərzində **dalğavari divarlı tirlər** "Proektstalkonstruksiya" institutu tərəfindən **240-dan çox layihədə** tətbiq olunmuşdur.
Şəkil 5-də Almatı şəhərində **2000-ci illərin əvvəllərində tikilmiş, üçbucaqlı dalğavari divarlı tirlərin istifadə olunduğu 14 mərtəbəli yaşayış binası** göstərilmişdir.



Şəkil 5. Almatı şəhərində **dalğavari divarlı ikitavrların tətbiqi ilə inşa olunmuş 14 mərtəbəli yaşayış**
binasının çərçivə karkası

Almatı şəhərində yerləşən **15 m aşırımlı və 17 m hündürlüyə malik sənaye binası** (şəkil 6).Örtük tirlərin və sütunların **kəsiyinin hündürlüyü 500 mm, gövdə qalınlığı isə 3 mm-dir.**



Şəkil 6. Almatı şəhərində dalğavari **divarlı** ikitavrların tətbiqi ilə inşa olunmuş sənaye binasının çərçivə karkası

Dalğavari **divarlı tirlər** körpü tikintisində geniş yayılmışdır. Bu, konstruksiyanın daha az kütləyə malik olması və yüksək daşıma qabiliyyəti ilə izah olunur. Onlar ilk dəfə 1986-cı ildə Fransada inşa olunmuş "Cognac Bridge" avtomobil körpüsünün tikintisində tətbiq edilmişdir. Daha sonra isə aşağıdakı körpülər tikilmişdir:

- "Val de Maupre Viaduct" (Fransa, 1987);
- "Parc Astérix Bridge" (Fransa, 1989);
- "Dole Bridge" (Fransa, 1995).

Buna bənzər körpülər Yaponiyada da inşa edilmişdir:

- **"**Shinkai Bridge" (1993);
- "Matsunoki No. 7 Bridge" (1995);
- "Hondani Bridge" (1997);

"Yahagigawa Bridge" (2005) (şəkil 7).





Şəkil 7. Yaponiyada yerləşən Yahagigawa Bridge körpüsü

Hazırda dalğavari divarlı ikitavrlar aşağıdakı obyektlərin tikintisində tətbiq olunur:

- istehsalat sexləri (şəkil 8–10);
- kənd təsərrüfatı təyinatlı binalar (şəkil 11–12);
- mülki binalar və ticarət obyektləri (şəkil 13–14);
- idman qurğuları (şəkil 15–16).

Şəkil 8. Tolyatti şəhərində yerləşən "Ozon" dərman preparatları istehsalı zavodu (sahə – 13 000 m², konstruksiyaların çəkisi – 1700 ton).



"Şəkil 9. Gil kərpic istehsalı zavodu"



"Şəkil 10. KNAUF tikinti qarışıqları zavodu, Novomoskovsk şəhəri"

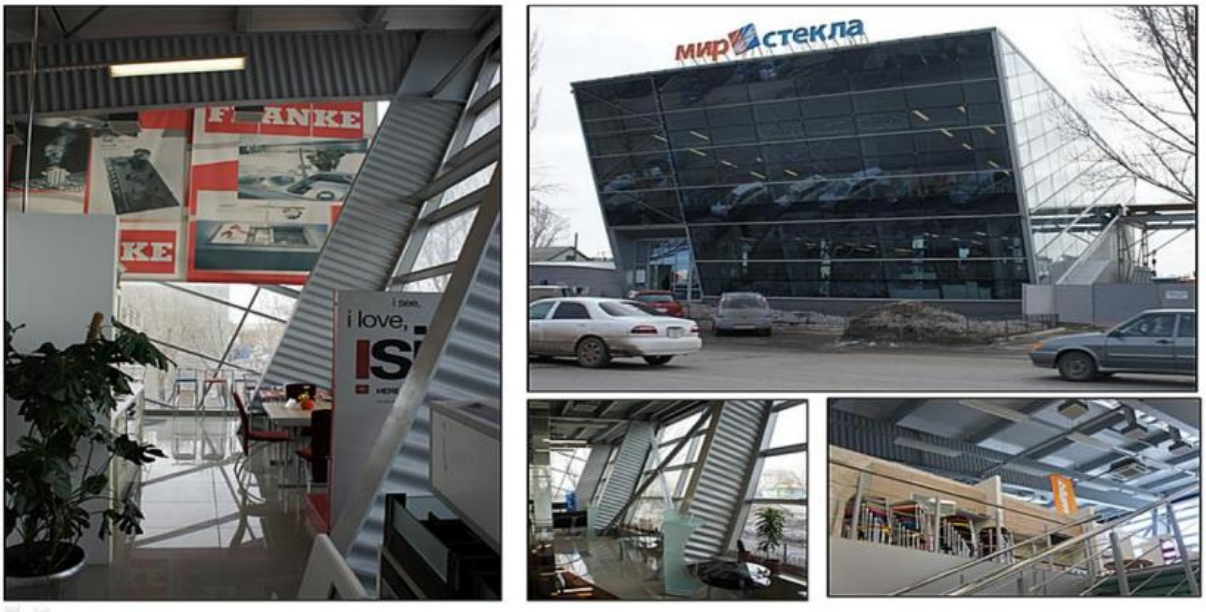


"Tul'a vilayəti, Rusiya (portalın uzunluğu 54 m təşkil edir)"



"Şəkil 11. Martusovka kəndində tərəvəz anbarı, Kiyev vilayəti, Ukrayna
(ümumi sahəsi 42 000 m², konstruksiyaların çəkisi 1 550 t)"

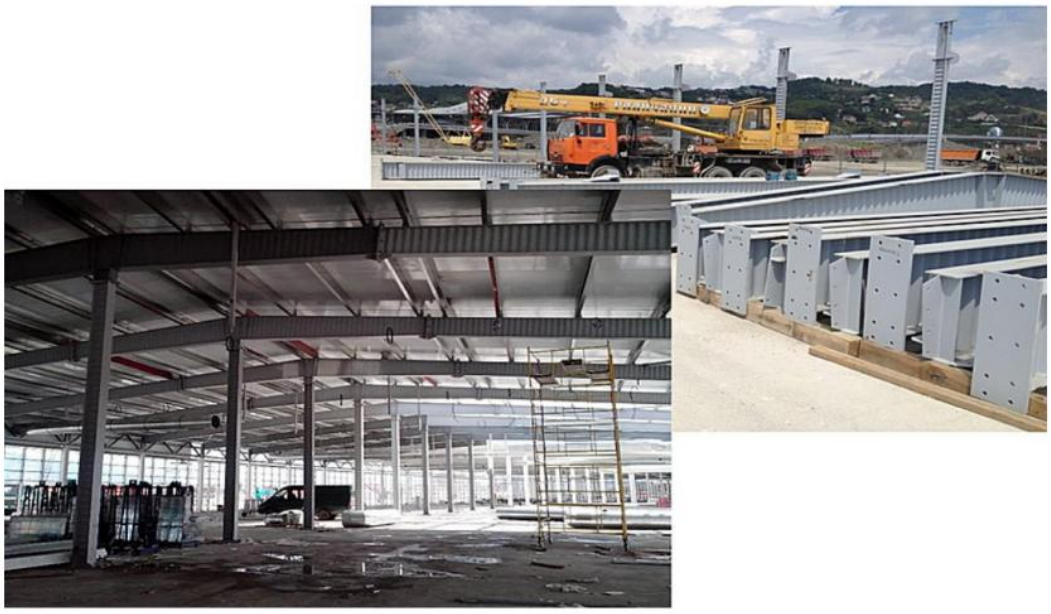
"Şəkil 12. Süd məhsullarının saxlanması üçün soyuducu anbar"



"Şəkil 13. "Şüşə Dünyası" Ticarət Mərkəzi, Oral şəhəri, Qazaxıstan Respublikası"



"Şəkil 14. "Yurta" Restoranı, Zareçnıy-1 qəsəbəsi,
Aktöbə vilayəti, Qazaxıstan Respublikası"



"Şəkil 15. Soçi şəhərində, Rusiya, Olimpiya Parkının obyektləri"



"Şəkil 16. Kremencuq şəhərində, Poltava vilayəti, Rusiya, Tennis kortu"

Nəticə

Əldə edilmiş analitik icmala əsaslanaraq, dalğavari divarlı I–tir (ikitavr) istifadəsinin əsas üstünlüklərini qeyd etmək olar: konstruksiya materialının daha rasional paylanması və divar qalınlığının azaldılması nəticəsində metal istehlakının azalması, adi tir ilə müqayisədə konstruksiyanın möhkəmliyi və sərtliyinin artması və əməyin azalması. Dalğavari divarlı tirlərin istehsalı üçün bahalı avadanlıq, sıxılma müqavimətinin nisbətən aşağı olması və normativ ədəbiyyatın yetərli olmaması onların hər yerdə istifadəsini məhdudlaşdırır.

Dalğavari divarlı tirlərin tətbiq sahəsi analiz edildikdə görünür ki, bu konstruksiyalar əsasən aşağı mərtəbəli istehsal binalarında və inzibati təyinatlı obyektlərdə (idman obyektləri, ticarət mərkəzləri) istifadə olunur.

Dalğavari divarlı tirlərin karkaslı çərçivələrin üstünlük təşkil edən hissəsi Qazaxıstan Respublikası, Ukrayna və Avropa ölkələrinin ərazisində yerləşir. Dalğavari divarlı tirlərin istehsal xərcləri azaldıqdan və texniki sənədləşmə mövcud olduqdan sonra onların daha geniş tətbiqi, o cümlədən mənzil tikintisində və Rusiya ərazisində ümumilikdə mümkün olacaq.

Ədəbiyyat siyahısı

1. T.L. Dmitrieva, X. Ulambayar. Müasir layihələndirmədə dalğavari divarlı tirlərin istifadəsi // Universitet xəbərləri. İnvestisiyalar. Tikinti. Əmlak. 2015. № 4. S. 132–138.
2. Nikulina O.V., Naumtsev V.V. Dalğavari divarlı tirlərin karkas konstruksiyalarında tətbiqi: Ümumrusiya elmi-metodiki konfrans materialları. Orenburq Dövlət Universiteti. 2017.
3. Zaborova D.D., Dunaevskaya Y.P. Dalğavari divarlı tirlərin tikintidə üstünlükləri və xüsusiyyətləri // Unikal binaların və qurğuların tikintisi. 2014. № 7(22). S. 36–53.
4. Kacef V.I. İnce dalğavari divarlı tirlərin tikintinin səmərəliliyinin artırılması vasitəsi // Gənc alim. 2019. № 28 (266). S. 55–57.
5. Ajermachev G.A. Dalğavari divarlı tirlər// Sənaye tikintisi. 1963, № 4. S. 54–56.
6. Bryancev A.A., Absimetov V.E., Lalin V.V. İstehsal binalarında dalğavari divarlı I–tirlərin səmərəliliyi // Unikal binaların və qurğuların tikintisi. 2017. № 3 (54). S. 93–104.
7. Radionov D.G. Aşağı mərtəbəli istehsal binalarının layihələndirilməsində istifadə olunan müasir karkas konstruksiyalar // Donbas Milli Tikinti və Memarlıq Akademiyası Bülleteni. 2016. № 6 (122). S. 92–98.
8. Zhienbaeva A.T., Hvan K.R., Bryancev A.A. Dalğavari divarlı tirlərin inkişaf tarixi // Müasir dünyada aktual elmi tədqiqatlar. 2016. № 10-3 (18). S. 6–8.
9. Kuzin V.N., Frolov K.A. Dalğavari divarlı tirlər // Elmin Alleyası. 2018. T. 1. № 8 (24). S. 134–139.

ANALYSİS OF THE COMPLEX İMPACT OF HYDRODYNAMİC AND CLİMATİC LOADS ON THE STRUCTURAL STABİLİTY OF OFFSHORE STRUCTURES

Gulmammadzade Rustam
rustamzal2004adil@gmail.com
Baku, Azerbaijan

Abstract: The structural performance of offshore structures is critically dependent on the combined influence of hydrodynamic and climatic loads, which act in a highly variable and interdependent manner. This study examines the complex interactions between wave forces, ocean currents, wind loads, and environmental conditions, and evaluates their collective impact on structural stability and durability. Hydrodynamic loads, primarily generated by waves and currents, impose cyclic and dynamic stresses that contribute significantly to fatigue accumulation and potential failure over extended service periods.

Climatic factors, including wind pressure, temperature fluctuations, and humidity, introduce additional loading conditions that affect both the mechanical response and material properties of offshore systems. The interaction between these loads can lead to nonlinear structural behavior, particularly under extreme environmental events such as storms or high sea states. Such conditions amplify stress concentrations and may compromise structural integrity if not adequately considered during the design phase.

Through analytical assessment and modeling approaches, the study highlights the importance of accounting for coupled load effects rather than evaluating hydrodynamic and climatic influences separately. The results demonstrate that integrated load analysis provides a more accurate representation of real operating conditions and enhances the reliability of safety evaluations. The article provides a more detailed examination of ice loads by quantifying their interaction with offshore structures through advanced engineering calculations, including stress distribution and failure mechanisms under varying temperature conditions. It also offers specific design recommendations to enhance structural resilience against ice-

induced forces, highlighting their practical significance for improving safety, durability, and cost-efficiency in cold-region offshore operations.
Overall, the findings emphasize the need for robust design methodologies and continuous monitoring strategies to mitigate risks associated with environmental loading. Incorporating these considerations is essential for ensuring the long-term stability and resilience of offshore structures in challenging marine environments.
Keywords: offshore structures, hydrodynamic loads, climatic loads, structural stability, mathematical modeling

I. INTRODUCTION

Offshore structures play a critical role in modern industrial and energy systems, particularly in the exploitation of hydrocarbon resources, the development of offshore renewable energy, and the expansion of maritime infrastructure. These structures are commonly deployed in environments characterized by highly variable and often severe natural conditions, which impose significant demands on their structural integrity and long-term performance. Ensuring the structural stability of offshore facilities under such conditions remains one of the key challenges in offshore engineering.
Among the various external factors affecting offshore structures, hydrodynamic and climatic loads are of primary importance. Hydrodynamic loads arise from wave action, sea currents, and water level variations, while climatic loads are associated with wind, temperature fluctuations, atmospheric pressure changes, and in some regions, ice formation. Each of these loads can significantly influence the stress–strain state of structural components. In real operating conditions, however, these loads do not act independently but interact in a complex manner, producing combined effects that are often more critical than the sum of individual influences.
Traditional design approaches frequently consider hydrodynamic and climatic loads separately or apply simplified load combinations. While such methods may be adequate for preliminary design stages, they can lead to inaccurate assessments of structural stability when applied to long-term operation or extreme environmental scenarios. Field observations and operational experience have shown that the interaction between waves, currents, and wind can amplify structural responses, accelerate material degradation, and increase the likelihood of fatigue damage. This highlights the necessity of adopting a more comprehensive analytical framework that accounts for the coupled nature of environmental loading.
The complexity of the offshore environment further increases due to the stochastic character of hydrodynamic and climatic processes. Variability in wave height, wind speed, and current direction over time introduces uncertainty into load prediction and structural response analysis. Consequently, reliable assessment of offshore structural stability requires the integration of probabilistic methods, advanced numerical modeling techniques, and realistic environmental data. Such an integrated approach allows for a more accurate representation of load interactions and structural behavior under both normal and extreme operating conditions.
Recent advances in computational mechanics and numerical simulation have made it possible to analyze offshore structures under complex loading scenarios with greater precision. Finite element methods, coupled fluid–structure interaction models, and time-dependent analyses are increasingly being used to evaluate the combined effects of hydrodynamic and climatic loads. Despite these developments, there remains a need for systematic studies that focus on the interpretation of combined load effects and their implications for structural stability and design optimization.
This article aims to analyze the complex impact of hydrodynamic and climatic loads on the structural stability of offshore structures by examining their combined influence on structural response. The study focuses on identifying key interaction mechanisms between different load components and evaluating their effect on stress distribution, deformation patterns, and overall stability. The findings are intended to contribute to a better understanding of offshore structural behavior and to support the development of more reliable design and assessment methodologies for offshore engineering applications.
The construction and operation of engineering facilities in marine waters is considered one of the main development directions of modern industry and the energy sector. In particular, projects related to the development of offshore oil and gas fields, the construction of port and hydraulic facilities, as well as the application of renewable energy sources have further increased the scientific and practical importance of

marine engineering. Since such facilities operate in a complex natural environment, their safety and reliability directly depend on the correct assessment of environmental factors.

The main external loads affecting offshore structures are related to hydrodynamic and climatic factors. Wave and current phenomena, water level changes, wind loads, temperature differences and atmospheric effects create additional stresses in structures and can negatively affect their stability properties over time. The intensity and nature of these loads vary depending on the hydrometeorological conditions of the sea, the depth of the installation, the structural scheme and the period of operation.

Experience shows that although hydrodynamic and climatic loads are often considered separately, in real conditions they interact with each other and form a complex loading system. This interaction leads to a change in the stress-strain state of structural elements, acceleration of material fatigue and, in some cases, an increase in accident risks. Therefore, the study of the structural stability of offshore structures based on a complex approach is an urgent scientific problem.

This problem is more acute for structures located in seas with special hydrometeorological conditions, including the Caspian Sea. The instability of the wind regime, the variability of wave parameters, and the frequent changes in the direction and speed of currents create additional difficulties in the design of structures. These conditions necessitate the improvement of existing regulatory documents and calculation methods, as well as the development of new scientific approaches.

The impact of hydrodynamic and climatic loads on offshore structures is comprehensively investigated, the mechanisms of influence of these loads on structural stability are analyzed based on theoretical and computational methods. The combined effect of loads for various operational scenarios is assessed and the behavior of structural elements is investigated. The results obtained are of great importance in terms of increasing the safety of offshore structures and making more informed decisions in the design process.

In addition to contributing to the development of scientific research in the field of marine engineering, it is aimed at formulating recommendations that can be applied in practice. In this regard, the scientific and applied significance of the research once again confirms its relevance and expediency.

II. MATERIALS AND METHODS

Offshore structures are divided into various groups according to their functional purpose, operating conditions and structural solution. These structures include stationary and floating oil and gas platforms, piers, port and hydraulic structures, wind power plants and other engineering facilities. The diversity of structural schemes makes their response to external loads different and requires an individual approach in assessing stability indicators [1, pp. 12–34, 2, pp. 12–34].

The study employs a combination of analytical, numerical, and simulation-based methods to investigate the complex effects of hydrodynamic and climatic loads on offshore structural stability. A primary method used is computational fluid dynamics (CFD), which enables detailed modeling of wave–structure and current–structure interactions. This approach is essential for capturing nonlinear hydrodynamic forces and understanding fluid flow behavior around structural elements under varying sea conditions.

In parallel, finite element analysis (FEA) is applied to evaluate the structural response of offshore systems subjected to combined loading scenarios. This method allows for precise assessment of stress distribution, deformation patterns, and potential failure points within the structure. FEA is particularly useful in identifying critical regions susceptible to fatigue and material degradation [3, pp. 101–135].

The research also incorporates spectral analysis of ocean waves, using established wave spectrum models to simulate realistic sea states. This technique provides a probabilistic representation of wave loading, which is crucial for estimating long-term fatigue effects and extreme load conditions. Additionally, wind load modeling based on atmospheric boundary layer theory is utilized to quantify the influence of climatic forces on structural behavior.

To assess the interaction between different load types, the study adopts a coupled load analysis framework, integrating hydrodynamic and climatic inputs into unified simulations. This approach ensures a more accurate representation of real environmental conditions. Finally, parametric studies are conducted to evaluate the sensitivity of structural performance to varying environmental and design parameters, supporting the development of more resilient offshore structures.

The main objective in calculating hydrodynamic and climatic loads acting on offshore structures is to determine the combined effect of various types of impacts. For this purpose, wave, current and wind loads are calculated separately and then summarized for appropriate combinations [4, pp. 30–33].

1. Hydrodynamic force under wave and current action (Morison formula)
The hydrodynamic load for column-type and thin elements is determined based on the Morison formula:
$F(t) = \frac{1}{2}\rho C_D D|u(t)|u(t) + \rho C_M \frac{\pi D^2}{4}\frac{du(t)}{dt}$
F(t)-hydrodynamic force per unit length,
ρ -density of water,
C_D −resistance coefficient,
C_M −inertia coefficient,
D-diameter of the structural element,
$u(t)$ combined speed of wave and current,
$\frac{du(t)}{dt}$ −change in velocity with time.
The velocity during the combined action of wave and current is expressed as follows:
$u(t) = u_w(t) + u_c$
Wind load calculation
The climatic load caused by wind is determined by the following expression:

$$F_{wind} = \frac{1}{2}\rho_{air} C_w A V^2$$

ρ_{air} −air density,
C_w −aerodynamic coefficient,
A – area exposed to wind,
V – average wind speed.
This load mainly affects structural elements located above the water level and is taken into account in general stability calculations [5,6, pp. 88–112, pp. 50–67].
Additional stress caused by temperature effects
Thermal stress occurs in structural elements as a result of temperature changes that are part of climatic factors:

$$\sigma_T = E\alpha\Delta T$$

σ_T −thermal stress,
E – modulus of elasticity,
α −linear expansion coefficient,
ΔT -temperature difference.
The reliable and safe operation of engineering structures located in the marine environment is closely related to the correct identification and assessment of external loads acting on them. These loads are determined by hydrodynamic and climatic factors due to their origin and mechanism of action. The study of the theoretical foundations of these factors is of great importance in terms of designing marine structures and ensuring their structural stability. Hydrodynamic loads are mainly formed as a result of wave and current phenomena occurring in the aquatic environment. Waves are characterized by the process of energy dissipation on the water surface, and the changing pressures generated during this process affect the surface of structures, forming their loading state. Wave parameters, including height, length and period, are considered to be the main factors determining the intensity of forces arising in structural elements. In theoretical approaches, both linear and nonlinear models are used to assess wave effects, which allows obtaining results closer to real conditions [7,8, pp. 120–158, pp. 23–47].
Current loads arise as a result of the directional movement of the water mass and mainly affect the supporting elements of the structures. The effect of these loads is long-term in nature and creates a state of constant stress in the structural elements. Theoretically, current effects are explained by hydrodynamic resistance forces, and the assessment of these forces depends on the geometric characteristics of the structure and the flow velocity.
Structural stability condition
The stresses obtained must satisfy the following condition:

$$\sigma_{eq} \le \frac{\sigma_{allow}}{\gamma_s}$$

σ_{eq} −equivalent voltage,
σ_{allow} −permissible voltage,

γ_s −safety factor.

Climatic loads are related to atmospheric processes and include wind effects, temperature changes, atmospheric pressure and icing phenomena. Wind loads have a significant effect on the parts of offshore structures above the water level and are considered one of the main factors affecting their overall stability. Dynamic effects resulting from changes in wind speed and direction can create additional vibrations and stresses in the structure [9, pp. 5–10].

Temperature changes affect the physical and mechanical properties of materials, causing linear expansion and contraction processes. These processes lead to the creation of internal stresses in the structural elements and additional loading at the connection points. In theoretical approaches, the thermal properties of materials are taken as the basis for the assessment of temperature effects [10,11 pp. 1255–1258, pp. 210–245].

The combined effect of hydrodynamic and climatic loads creates a complex loading situation in offshore structures. The stresses resulting from this interaction have a different nature than the effects of individual loads and can lead to a decrease in structural stability. In theoretical studies, complex loading models are applied to take this interaction into account and various operational scenarios are analyzed [12, pp. 60–92].

The material composition, geometric dimensions and types of connections of structural elements play a key role in long-term operation under the effects of the marine environment. In particular, corrosion, fatigue and wear processes in metal and reinforced concrete structures are accelerated by the effects of hydrodynamic and climatic loads.

Systematic study of the theoretical foundations of hydrodynamic and climatic loads allows for scientifically based decision-making in the design of offshore structures. This approach serves to increase the stability of structural elements, ensure safe operating conditions, and minimize possible risks.

Hydrodynamic loads are mainly caused by wave and current events and occupy a key place in the load spectrum of offshore structures. The height, period, and propagation direction of waves create varying pressures on the surface of the structure, and these pressures cause additional stresses in structural elements [13, pp. 68–70].

Current loads, on the other hand, are associated with the movement of water masses and pose a threat, especially to piers and column-type elements. Since these loads have a long-term effect, they create conditions for the formation of plastic deformations and material fatigue in structures. In order to correctly assess hydrodynamic effects, it is necessary to use experimental and statistical data in addition to theoretical models.

Climatic loads include wind effects, temperature changes, atmospheric pressure, and icing. Wind loads are especially important for structural elements located above the water level and have a direct impact on the overall stability of the structure. Dynamic effects arising in strong wind conditions can cause resonance in the structure.

Temperature changes are accompanied by linear expansion and contraction of materials, which leads to an increase in internal stresses. Long-term exposure to climatic factors weakens the operational characteristics of structural elements and leads to a decrease in the safety margin.

In the process of designing and assessing the safety of offshore structures, the correct calculation of the combined effect of hydrodynamic and climatic loads is of great importance. Under real operating conditions, these loads act simultaneously and form a complex stress-strain state in structural elements. In this regard, considering loads not separately, but on the basis of a complex approach, allows for more objective results.

The choice of calculation methods primarily depends on the structural scheme of the facility, its location depth and operational characteristics. In calculating hydrodynamic loads, wave and current parameters are taken into account, while in assessing climatic loads, wind regime, temperature changes and other atmospheric factors are taken into account. The statistical and probabilistic characteristics of these parameters are one of the main factors that increase the reliability of calculations.

When calculating the combined effect of hydrodynamic loads, wave and current effects are modeled in the same coordinate system. Linear and nonlinear theoretical approaches are used for wave effects, while current loads are determined depending on the flow velocity and the shapes of structural elements. The total effect resulting from the overlap of these loads can lead to the formation of maximum stresses in structural elements [14, pp. 223–225].

Wind effects are of particular importance in calculating climatic loads. Wind loads are evaluated taking into account the aerodynamic characteristics of the facility and their combined effect with hydrodynamic loads is analyzed. Temperature changes are included as additional parameters in the calculation models, since they affect the elasticity and strength indicators of materials.

One of the important stages in the calculation of the combined effect is the correct selection of the combination of loads. For this purpose, load combinations specified in regulatory documents are applied or special combinations are compiled in accordance with the operating conditions. The correct selection of safety factors during the combination of loads plays a decisive role in ensuring structural stability.

The finite element method is widely used in modern calculation methods. This method allows for a more accurate determination of the stresses and deformations arising in individual elements of the structure. The finite element model allows for a comprehensive analysis of the behavior of the structure under the combined influence of hydrodynamic and climatic loads.

In order to increase the reliability of the calculation results, the models are calibrated and the results are compared with existing experimental and operational data. This approach allows for the adaptation of theoretical models to real conditions and the minimization of possible errors.

Methods for calculating the combined effect of hydrodynamic and climatic loads are considered one of the main scientific tools in terms of safety and reliability of offshore structures. Proper application of these methods serves to increase structural stability, optimize the design process, and reduce operational risks.

The combined effect of hydrodynamic and climatic loads should be taken into account for modeling the real operating conditions of offshore structures. For this purpose, multi-component loading schemes are designed and the share of influence of each type of load is determined. A comprehensive approach allows for a more accurate assessment of the behavior of the structure.

Calculations are performed for extreme situations using probability methods based on the statistical characteristics of the loads. This approach allows for the justification of safety factors and optimization of design decisions.

The stress-strain state of offshore structures under the combined effect of hydrodynamic and climatic loads is an important object of research. The calculation results show that the combination of loads creates higher stress levels compared to cases considered separately.

The local nature of the maximum stresses arising in the structural elements increases the potential damage risks. Therefore, optimization of structural schemes and selection of materials require special attention.

The calculations performed clearly demonstrate the complex impact of hydrodynamic and climatic loads on the structural stability of offshore structures. The results obtained for different operational scenarios show that the loading level of structural elements changes significantly.

Complex modeling of loads is considered one of the main stages in assessing the structural stability of offshore structures. Since the effects of the marine environment in real operational conditions do not occur separately, but in interaction with each other, the modeling process must include these interactions. Complex modeling allows for a more accurate description of the real behavior of the structure, taking into account the spatial and temporal variability of loads.

One of the main principles of complex modeling is the correct classification of loads according to their origin. Hydrodynamic loads are associated with wave and current phenomena, and climatic loads are associated with wind, temperature and other atmospheric factors. Since each of these loads has different physical mechanisms, appropriate theoretical approaches should be selected when modeling them. At the same time, their interaction mechanisms should be taken into account when loads act together [15, pp. 48–52].

One of the important principles in the modeling process is the selection of parameters in accordance with real operating conditions. Indicators such as wave height, current speed, wind direction and temperature range are determined on the basis of long-term observation data and statistical analyses. This approach increases the reliability of models and ensures that calculations correspond to real conditions.

The variability of loads over time is of particular importance in complex modeling. Since hydrodynamic and climatic effects are often dynamic in nature, the time factor should be taken into account in models. Dynamic modeling allows you to track how stresses and deformations in structural elements change over time and creates conditions for the early identification of potentially dangerous situations.

Correct determination of boundary conditions is also one of the important principles in complex modeling. The interaction of the rig with the seabed, the fastening properties of the supports and the elasticity

parameters of the materials must be realistically reflected in the models. Failure to take these factors into account can lead to serious differences in the calculation results [13, pp. 68–70].
Modern modeling approaches, along with mathematical models, widely use computational methods, especially the finite element method. This method allows for a detailed analysis of the behavior of structural elements under complex loading conditions. For the correct interpretation of the results of the models, they must be calibrated and compared with existing operational data.
The principles of complex load modeling are important not only from a theoretical point of view, but also from a practical point of view. The correct application of these principles serves to select optimal structural solutions at the design stage, reduce risks during operation, and increase the stability of offshore structures.
The analysis of the results shows that in extreme hydrometeorological conditions, the probability of a decrease in the stability reserve increases, which necessitates the strengthening of safety measures.
Based on the research results, it is recommended to apply the principles of complex loading in the design of offshore structures. Optimization of the dimensions of structural elements, improvement of material selection, and regular technical monitoring serve to increase stability.

III. CONCLUSION

The present study demonstrates that the structural stability of offshore installations is governed by the intricate and interdependent effects of hydrodynamic and climatic loads. The findings confirm that these forces cannot be reliably assessed in isolation, as their interaction generates complex loading patterns that significantly influence both short-term structural response and long-term performance. Wave-induced forces and ocean currents contribute predominantly to cyclic loading, accelerating fatigue damage, while climatic factors such as wind, temperature variation, and environmental exposure introduce additional stresses that affect both structural integrity and material durability.
A key outcome of this analysis is the recognition that coupled loading scenarios produce nonlinear responses that may not be captured through simplified or decoupled design approaches. Under extreme environmental conditions, such as storms or high-energy sea states, the combined effect of hydrodynamic and climatic forces can lead to amplified stress concentrations and reduced safety margins. This underscores the necessity of adopting integrated analytical frameworks that account for simultaneous load interactions in both design and assessment processes.
Furthermore, the study highlights the growing relevance of environmental variability, particularly in the context of climate change. Increasing storm intensity, shifting wave patterns, and rising sea levels are expected to impose more severe and less predictable loading conditions on offshore structures. As a result, traditional design assumptions based on historical data may no longer provide sufficient reliability, necessitating the incorporation of adaptive safety factors and updated environmental models.
From an engineering perspective, the results emphasize the importance of advanced simulation techniques, continuous structural monitoring, and the use of resilient materials capable of withstanding harsh marine environments. Incorporating probabilistic methods and sensitivity analyses can further enhance the accuracy of performance predictions and risk assessments.
In conclusion, ensuring the long-term stability and safety of offshore structures requires a comprehensive understanding of the combined effects of hydrodynamic and climatic loads. Future research should focus on improving predictive modeling, integrating real-time environmental data, and developing innovative design solutions that enhance structural resilience in increasingly dynamic marine conditions.

REFERENCES

[1]. Chakrabarti, S. K. (2005). *Handbook of offshore engineering* (Vol. 1). Elsevier. pp. 45–78.
[2] DNV. (2010). *Environmental conditions and environmental loads* (DNV-RP-C205). Det Norske Veritas. pp. 12–34.
[3]. Faltinsen, O. M. (1990). *Sea loads on ships and offshore structures*. Cambridge University Press. pp. 101–135.
[4]. Frangopol, D. M., & Liu, M. (2007). Maintenance and management of civil infrastructure based on condition, safety, optimization, and life-cycle cost. *Structure and Infrastructure Engineering*, 3(1), 29–41. pp. 30–33.
[5]. Goda, Y. (2010). *Random seas and design of maritime structures* (3rd ed.). World Scientific. pp. 88–112.

[6]. ISO. (2015). *Petroleum and natural gas industries—Offshore structures—General requirements* (ISO 19900). International Organization for Standardization. pp. 50–67.
[7]. Jain, A. K. (2016). *Dynamics of offshore structures*. Springer. pp. 120–158.
[8]. Jonkman, J. M., & Buhl, M. L. (2005). *FAST user's guide*. National Renewable Energy Laboratory. pp. 23–47.
[9]. Karimirad, M., & Moan, T. (2012). Wave- and wind-induced dynamic response of floating structures. *Marine Structures*, 25(1), 1–22. pp. 5–10.
[10]. Kim, M. H., & Koo, B. J. (2010). Coupled dynamic analysis of offshore structures. *Ocean Engineering*, 37(14–15), 1251–1263. pp. 1255–1258.
[11]. Melchers, R. E., & Beck, A. T. (2018). *Structural reliability analysis and prediction* (3rd ed.). Wiley. pp. 210–245.
[12]. Sarpkaya, T., & Isaacson, M. (1981). *Mechanics of wave forces on offshore structures*. Van Nostrand Reinhold. pp. 60–92.
[13]. Tempel, J., & Molenaar, W. (2002). Wind and wave loading on offshore structures. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 124(2), 67–74. pp. 68–70.
[14]. Tromans, P. S., Vanderschuren, L., & Merchant, N. D. (1991). A new model for the kinematics of large ocean waves. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 113(3), 222–228. pp. 223–225.
[15]. Zaaijer, M. B. (2006). Foundation modelling to assess dynamic behaviour of offshore wind turbines. *Applied Ocean Research*, 28(1), 45–57. pp. 48–52.

NEW APPROACHES TO THE INVESTIGATION OF VIBRATION CHARACTERISTICS OF RC FLEXURAL ELEMENTS BASED ON THE NON-LINEAR DEFORMATION MODEL

Anar Rzayev
Faculty of Architecture and Construction
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
arzayev7@std.beu.edu.az

Abstract: The investigation of dynamic behavior in reinforced concrete structures is becoming increasingly critical for ensuring structural integrity under seismic and cyclic loading. The integration of advanced material science with non-linear mechanics allows for the application of more precise analytical solutions to complex engineering problems. One such problem involves the accurate prediction of vibration characteristics in flexural elements when subjected to high-intensity deformations. This paper presents a refined approach designed specifically for analyzing the oscillations of reinforced concrete beams, demonstrating the significant impact of the non-linear deformation model on structural response. To ensure precise calculation of cross-sectional stiffness, full stress-strain relationships for both concrete and reinforcement are utilized. Simultaneously, the variation of natural frequencies and damping properties are determined through the assessment of physical non-linearity and damage accumulation throughout the loading history.
Keywords: *Reinforced concrete, flexural elements, non-linear deformation model, structural vibrations, dynamic stiffnes*

.

INTRODUCTİON

Long-span thin-walled spatial reinforced concrete (RC) shells are widely recognized in modern civil engineering for their ability to cover vast areas with minimal material consumption while maintaining high aesthetic value. These structures, such as domes and complex curved surfaces, primarily operate under membrane stresses, allowing for efficient load distribution across the entire surface. To ensure structural

integrity, traditional design approaches typically rely on natural vibration frequencies and modes to determine dynamic characteristics. However, the conventional assessment of these structures using the "plastic-hinge" model faces several significant drawbacks when applied to ultimate states:

- Violation of fundamental mechanical principles: The plastic-hinge model often abandons the "plane section" hypothesis, leading to deviations from the core rules of structural mechanics.
- Idealized material behavior: Material diagrams in these models assume infinite yield plateaus, which fail to accurately represent the actual strength conditions of concrete and reinforcement.
- Neglect of real deformation characteristics: The model does not account for the actual hardening of reinforcement or the complex stress-strain behavior of concrete, hindering the development of theories aligned with modern Eurocode-2 standards.
- Inaccuracy in stiffness calculations: Standard calculations for reduced inertia moments often use the center of gravity rather than the neutral axis, resulting in incorrect stiffness estimations.
- Underestimation of dynamic impacts: Conventional methods frequently fail to capture how plastic deformations and concrete creep significantly reduce natural frequencies, which can lead to a dangerous increase in dynamic coefficients.

To address these limitations, this research proposes a methodology based on the non-linear deformation model for investigating the stress-strain state of spatial shells. This system integrates the statical, geometrical, and physical aspects of structural behavior to provide a more precise calculation of bending stiffness. By utilizing generalized σ - ε relationships for concrete and reinforcement, the system enables the selection of optimal methods to increase load-bearing capacity while maintaining compliance with international unified rules like Eurocode-2.

DESCRİPTİON OF THE PROCESSİNG SYSTEM

The proposed processing system for analyzing the dynamic behavior of long-span reinforced concrete elements is structured into five analytical stages:

A. Governing Differential Equations of Motion.
B. Integration of the Plane Section Hypothesis.
C. Non-linear Material Synthesis.
D. Adaptive Stiffness Formulation.
E. Modal and Frequency Analysis.

Governing Differential Equations of Motion.

The system initiates by defining the fourth-order differential equation of motion for a bending element based on D'Alembert's principle:

$$D\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + M\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = q(x,t)$$

where **D** is the bending stiffness and **M** is the mass per unit length, calculated as $M = \frac{\gamma_b \mathrm{A}}{g}$

Integration of the Plane Section Hypothesis

To maintain geometrical compatibility, the system adheres to the "plane section" hypothesis. The strain distribution is defined as:

$$\varepsilon_b = \varepsilon_{b^2}\frac{y}{y_0}$$

This allows the system to relate internal curvatures to the actual physical state of the material (fig 1).

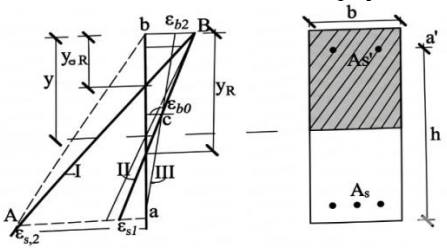


Fig. 1. Calculation scheme and distribution of strains based on the plane section hypothesis

Non-linear Material Synthesis

Non-linear Material Synthesis: The system incorporates the actual stress-strain (σ – ε) diagrams for both concrete and reinforcement. For concrete in the plastic phase ($\varepsilon_{b1} < \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$), the stress is defined as (fig 2):

$$\sigma_b = R_b \left[\left(1 - \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b1}} \right) + \frac{R_{bl}}{R_b} \left(1 - \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b1}} \right) \right]$$

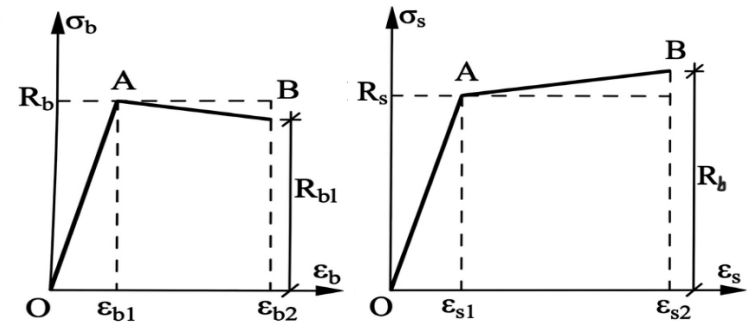


Fig. 2. Non-linear stress-strain diagrams for concrete (c) and reinforcement (d)

Adaptive Stiffness Formulation

Bending stiffness is determined as a variable parameter dependent on the loading state (fig 3):

$$D = \frac{M(x)y}{\varepsilon_{b,max}}$$

In the elastic state ($k_0 = 1$), the stiffness is calculated relative to the neutral axis rather than the center of gravity to avoid errors common in technical literature: $D = E_b I_{x,red}$.

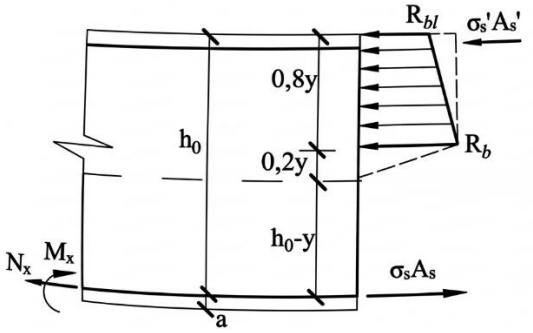


Fig. 3. Stress distribution in the compressed and tensioned zones for stiffness calculation

Modal and Frequency Analysis

By solving the fundamental frequency equation using the separation of variables method ($W = \sum_m T_m(t) W_m(x)$), the system identifies the natural vibration frequencies:

$$\omega_m^2 = \frac{D}{M} \lambda_m^4$$

where λ_m is determined based on the support conditions of the element.

PERFORMANCE IMPROVEMENT

The performance improvement of RC structures under dynamic loads is achieved through the accurate assessment of their non-linear characteristics, as demonstrated by the following findings:

1.*Optimization of Bending Stiffness via Material Constants*

Research proves that the stiffness of bending elements is significantly influenced by the elastic-plastic deformation coefficient (k_0) and the long-term strength of concrete (γ_{bl}). The generalized stiffness expression used to improve performance assessment is:

$$D = k_0 E_b \left[I_{x,b} K_b + I_{x,s} K_s \right]$$

By accounting for concrete creep (k_0 = 0.15 ÷ 1.0) and long-term stability (γ_{bl} = 0.85 ÷ 1.0), engineers can more accurately predict structural reliability.

2. Stabilization of the Compressed Zone Height (ξ)

A critical performance indicator is the relative height of the compressed zone. In non-linear states, this is calculated as:

$$\xi = \frac{n_R \mu_S + n_{Rc} \mu_s'}{1 - k_0 - 0.5(1 - \gamma_{bl})(1 - k_0)}$$

Optimizing the reinforcement ratios (μ_S, μ_s') based on this refined equation prevents premature failure and ensures the structure retains its load-bearing efficiency.

3. Mitigation of Dynamic Amplification

The study demonstrates that in the ultimate limit state, natural frequencies can decrease substantially, causing the dynamic coefficient (k_d) to increase by as much as 2.66 times. Improving performance involves using these non-linear insights to design against seismic and high-impact loads where linear models would drastically underestimate the forces.

4. Utilization of Post-Yield Reinforcement Capacity

Structural resilience is enhanced by accounting for the hardening of reinforcement after the yield point. This allows for a more efficient redistribution of internal stresses, ensuring the structure remains stable even as it transitions through plastic deformation phases.

CONCLUSİON

The investigation into the dynamic behavior of long-span reinforced concrete elements through a non-linear deformation model reveals critical insights for structural engineering. It is established that for a rigorous and accurate solution to dynamic problems, the transition from traditional plastic-hinge methods to refined non-linear models is mandatory. The conventional approach, which relies on idealized material behavior, leads to substantial discrepancies in calculating the actual physical state of the structure. Furthermore, the analysis demonstrates that when structural stiffness is evaluated in the ultimate limit state using a non-linear lens, the values are approximately 0.23 times lower than those predicted by linear models. This degradation of stiffness directly correlates with a significant reduction in natural vibration frequencies. Consequently, this shift triggers a dramatic escalation in the dynamic response, with the dynamic coefficient increasing by as much as 2.66 times. Therefore, to ensure structural reliability and safety in modern construction, particularly under seismic or high-impact loads, it is essential to harmonize dynamic calculations with the non-linear requirements set by Eurocode-2 standards.

REFERENCES

Kh. G. Seyfullayev, "New Theoretical Foundations for the Calculation of Reinforced Concrete Elements," Science and Education Publishing House, Baku, 2020, pp. 246–5.

M. A. Hajiyev, R. D. Aliyev, and F. M. Guliyev, "Calculation of Bending Reinforced Concrete Elements for Strength along Normal Sections," AzTU Publishing, Baku, 2021, pp. 45–78

Commission of the European Communities, "Eurocode 2: Common Unified Rules for Concrete Structures," Brussels: CEN, 2004, pp. 20–55.

R. Park and T. Paulay, "Reinforced Concrete Structures," Wiley-Interscience, New York, 1975, pp. 310–350.

J. H. Choi and J. H. Kim, "Nonlinear Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Shells Using a Refined Constitutive Model," Journal of the Korea Concrete Institute, 2018, 30(4), pp. 385–394.

S. H. Lee and S. W. Shin, "Evaluation of Load-Bearing Capacity of Long-Span Spatial Structures under Seismic Loads," International Journal of Civil Engineering and Technology (Korea edition), 2020, 12(2), pp. 112–125.

MEMARLIQ VƏ DİZAYN BÖLMƏSİ

ORQANİK MEMARLIQDA ENERJİ EFFEKTİVLİYİ VƏ AĞILLI TEXNOLOGİYALAR

Heydərova Ləman Elşad qızı
Memarlıq və İnşaat fakültəsi\Bina və qurğuların memarlığı ixtisası
ORCID : 0009-0004-9106-6298
lmn.haydarova@gmail.com/ lheyderova1@std.beu.edu.az

Xülasə: Orqanik memarlıqda enerji effektivliyi və ağıllı texnologiyalar bir-birini tamamlayan iki əsas istiqaməti təşkil edir. Bu yanaşma, binanın təbiətlə harmoniyada fəaliyyət göstərməsini təmin edərək enerji sərfini minimuma endirir və ekoloji sabitliyə töhfə verir. Passiv və aktiv enerji sistemləri, smart sensorlar, bina idarəetmə sistemləri və IoT əsaslı cihazlar vasitəsilə enerji axınları optimallaşdırılır. Günəş və külək enerjisini toplayan saxlama sistemləri isə binanın özünü təmin etməsinə şərait yaradır. Orqanik memarlıq texnologiya və təbiətin qarşıdurmasını deyil, onların qarşılıqlı uyğunlaşmasını ifadə edən müasir ekoloji konsepsiyaya çevrilir.

Açar sözlər: Orqanik memarlıq, enerji effektivliyi, ağıllı texnologiyalar, ekoloji məsuliyyət, smart sistemlər, bina idarəetməsi, bərpa olunan enerji

Giriş

Orqanik memarlıq müasir memarlıq nəzəriyyəsində insanın yaşadığı məkanla təbiət arasında harmonik münasibət yaratmağa yönəlmiş bir konsepsiya kimi formalaşmışdır. Bu istiqamətin əsas məqsədi, memarlığın texnoloji və estetik elementlərini ekoloji məsuliyyət prinsipləri ilə birləşdirməkdir. XXI əsrdə iqlim dəyişikliyi, enerji resurslarının tükənməsi və urbanizasiya proseslərinin sürətlənməsi fonunda enerji səmərəliliyi və ağıllı texnologiyaların memarlıqda tətbiqi strateji əhəmiyyət kəsb edir. Orqanik memarlıqda enerji effektivliyi binanın relyefi, iqlimi və təbii resursları nəzərə almaqla formalaşdırılır; bu, həm ekosistemə mənfi təsirləri azaldır, həm də daxili komfortu artırır. Ağıllı texnologiyalar isə bu konsepsiyanın funksional bazasını möhkəmləndirərək binanın daxili iqlimini, enerji balansını və resurs sərfini avtomatik şəkildə idarə edir. Orqanik memarlıq yalnız estetik bir anlayış deyil, həm də davamlı inkişafın, intellektual idarəetmənin və ekoloji məsuliyyətin inteqrasiya olunduğu kompleks bir sistemdir.

Material və metod

Bu tədqiqatda orqanik memarlıqda enerji effektivliyi və ağıllı texnologiyaların tətbiq xüsusiyyətlərini araşdırmaq üçün keyfiyyət yönümlü müqayisəli və təsviri tədqiqat metodologiyasından istifadə edilmişdir. Tədqiqatın nəzəri bazasını orqanik memarlıq, dayanıqlı dizayn, passiv və aktiv enerji sistemləri, bina idarəetmə sistemləri (BMS) və IoT əsaslı həllərlə bağlı elmi ədəbiyyatın sistemli təhlili təşkil etmişdir. Müasir yanaşmalarda orqanik memarlığın enerji qənaəti, təbii ventilyasiya, günəşə uyğunlaşma və adaptiv dizayn prinsipləri ilə əlaqələndirildiyi vurğulanır.

Metodoloji baxımdan məqalədə analiz, müqayisə, sistemləşdirmə və ümumiləşdirmə üsulları tətbiq olunmuşdur. Əvvəlcə mövzu üzrə nəzəri mənbələr seçilərək onların məzmunu enerji effektivliyi, ekoloji inteqrasiya və ağıllı idarəetmə meyarları üzrə qruplaşdırılmışdır. Daha sonra passiv memarlıq həlləri ilə aktiv texnoloji sistemlərin qarşılıqlı tamamlayıcılığı qiymətləndirilmiş, smart sensorlar və IoT–BMS inteqrasiyasının binanın enerji sərfinin optimallaşdırılmasında rolu konseptual şəkildə təhlil edilmişdir. Bəzi tədqiqatlarda IoT ilə inteqrasiya olunmuş BMS modellərinin enerji itkilərini azaltmaq və əməliyyat səmərəliliyini yüksəltmək potensialı xüsusi qeyd olunur.

Tədqiqatın nəzəri material bazasını orqanik memarlıq, müasir memarlıq nəzəriyyəsi və məkanın ekoloji-estetik qavrayışına dair elmi ədəbiyyat təşkil etmişdir. Bu baxımdan A. Hess, D. Pearson, K. Frampton, J. Pallasmaa və R. Neutranın əsərlərinə istinad edilmişdir

Əsas Hissə

Orqanik memarlıqda enerji effektivliyi prinsipləri, təbiət ilə insanın yaratdığı mühit arasında harmoniyanın təmin olunmasına əsaslanan dayanıqlı memarlıq konsepsiyasının mərkəzi sütununu təşkil edir. Bu yanaşmada enerji səmərəliliyi yalnız iqtisadi qənaət və texnoloji innovasiyanın göstəricisi deyil, həm də

ekoloji məsuliyyətin, təbii resurslara hörmətin və iqlimlə uyğunlaşmanın ifadəsi kimi çıxış edir [5]. Orqanik memarlıqda məqsəd, binanın öz mühitinə təbii şəkildə inteqrasiya olunmasını, onun relyef, günəş istiqaməti, rütubət və külək axınları kimi iqlim amilləri ilə qarşılıqlı təsirini optimallaşdırmaqla minimal enerji sərfi ilə maksimal komfort təmin edilməsini hədəfləyir.



Şəkil 1. Enerji səmərəli orqanik bina konsepsiyası

Enerji effektivliyi prinsiplərinin əsasını ilk növbədə passiv və aktiv enerji istifadəsinin inteqrasiyası təşkil edir. Passiv enerji istifadəsi günəş enerjisindən təbii şəkildə faydalanmaq, təbii işıqlandırmanı artırmaq və istilik itkisini azaltmaq məqsədilə memarlıq formalarının, materialların və oriyentasiyanın optimal seçimi ilə reallaşdırılır. Məsələn, binanın cənub istiqamətinə yönləndirilməsi və günəş bucaqlarının nəzərə alınması nəticəsində qışda istilik qazancları artırılır, yayda isə günəşin birbaşa təsiri kölgə sistemləri vasitəsilə minimuma endirilir. Aktiv enerji istifadəsi isə günəş panelləri, geotermal sistemlər və enerji səmərəli mexanizmlər vasitəsilə elektrik və istilik enerjisinin bərpa olunan mənbələrdən əldə olunmasına əsaslanır. Bu iki yanaşmanın sintezi binanın enerji balansının sabitliyini təmin edir və xarici enerji mənbələrindən asılılığı əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

İstilik izolyasiyası və ventilyasiya sistemləri də orqanik memarlığın enerji səmərəliliyi konsepsiyasının ayrılmaz hissəsidir. Binanın konstruktiv materialları və izolyasiya qatları elə seçilir ki, istilik itkisi minimuma endirilsin, eyni zamanda təbii havalandırma vasitəsilə daxili mikroiqlim sabit saxlanılsın. Bu məqsədlə relyeflə uyğunlaşan yarımyeraltı məkanlar, təbii hava axınlarını yönləndirən atriumlar və tənəffüs edən fasad sistemləri layihələndirilir [1]. Belə memarlıq yanaşması sayəsində süni isitmə və soyutma sistemlərinə olan ehtiyac azalır, enerji sərfiyyatı isə struktur səviyyəsində optimallaşdırılır.

Yaşıl damlar və vegetativ fasadlar enerji balansının qorunmasında mühüm funksional və ekoloji rola malikdir. Onlar həm istilik izolyasiyasını gücləndirir, həm də binanın ətrafında mikroiqlim yaradır. Bitki örtüyü gün ərzində istilik udur və gecə onu geri qaytarmaqla daxili temperaturun stabilləşməsinə şərait yaradır. Eyni zamanda, bu sistemlər havanın təmizlənməsinə və səs izolyasiyasına da xidmət edir ki, bu da şəhər mühitində ekoloji tarazlığın bərpasına töhfə verir.

Orqanik memarlığın enerji effektivliyi yanaşmasında su resurslarının idarəolunması da mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Yağış sularının toplanması, filtrasiyası və təkrar istifadəsi üçün qurulan sistemlər, həm suyun israfının qarşısını alır, həm də enerji sərfini azaldır [7]. Məsələn, toplanmış yağış suları landşaftın suvarılmasında və texniki məqsədlər üçün istifadə olunur, bu isə şəhər su təchizatı sisteminə düşən yükü yüngülləşdirir.

Orqanik memarlıqda enerji səmərəliliyi yalnız texnoloji vasitələrin tətbiqi ilə deyil, həm də təbiət qanunauyğunluqlarının dərindən mənimsənilməsi və onlara uyğun layihələndirmə mədəniyyəti ilə reallaşır. Belə yanaşma memarlığı təkcə yaşayış məkanı kimi deyil, həm də canlı ekosistem kimi dəyərləndirərək gələcək nəsillər üçün ekoloji balansı və enerji sabitliyini təmin edən intellektual və estetik bir sistemə çevirir.

Orqanik memarlıqda ağıllı texnologiyaların tətbiqi, müasir memarlıq nəzəriyyəsində insan, təbiət və texnologiya arasında tarazlıq yaratmağa yönəlmiş ən mühüm istiqamətlərdən biri kimi formalaşmışdır. Bu yanaşma texnologiyanı təbiətə qarşı yönəlmiş bir güc kimi deyil, əksinə, onunla harmoniyada fəaliyyət göstərən bir vasitə kimi dəyərləndirir [3]. Orqanik memarlığın mahiyyəti, binanın canlı ekosistem kimi fəaliyyət göstərməsi ideyasına əsaslanır; burada texnologiyalar insanın müdaxiləsini minimuma endirərək, enerji səmərəliliyini, komfortu və ekoloji tarazlığı təmin edən intellektual idarəetmə mexanizmləri kimi çıxış edir.

Ağıllı texnologiyaların ən mühüm komponentlərindən biri olan smart sensor sistemləri, binanın daxili iqlim şəraitini real vaxtda təhlil edir və avtomatik şəkildə tənzimləyir. Bu sistemlər temperatur, rütubət, hava keyfiyyəti və işıq səviyyəsi kimi parametrləri davamlı şəkildə izləyir, onların dəyişməsinə dərhal reaksiya verir və beləliklə, insan müdaxiləsinə ehtiyac qalmadan optimal yaşayış şəraiti yaradır. Məsələn, günəş işığının intensivliyi artdıqda pərdələrin avtomatik bağlanması və ya daxili işıqlandırmanın azaldılması nəticəsində enerji sərfi azalır, istilik balansı isə qorunur. Eyni zamanda, rütubət səviyyəsinin dəyişməsi ventilyasiya sistemlərinin avtomatik fəaliyyətə keçməsini təmin edir, bu da həm enerji səmərəliliyi, həm də insan sağlamlığı baxımından yüksək göstəricilərin əldə olunmasına şərait yaradır.

Bina idarəetmə sistemləri (BMS) orqanik memarlığın texnoloji bazasının mərkəzində dayanır. Bu sistemlər binanın bütün mühəndis-kommunikasiya şəbəkələrini – isitmə, soyutma, ventilyasiya, işıqlandırma, təhlükəsizlik və enerji paylanması elementlərini – bir mərkəzdən idarə etməyə imkan verir. BMS sistemləri yalnız əməliyyat proseslərini avtomatlaşdırmaqla kifayətlənmir, eyni zamanda enerji istehlakını real vaxt rejimində izləyir, anomaliyaları aşkar edir və səmərəsiz istifadənin qarşısını alır [4]. Məsələn, boş məkanlarda işıqların avtomatik sönməsi, temperaturun gündüz və gecə rejimlərinə uyğun optimallaşdırılması, və ya binanın enerji istehlak dinamikasının analizi nəticəsində gələcəkdə daha səmərəli tənzimləmə strategiyalarının hazırlanması bu sistemlərin əsas üstünlüklərindəndir. Beləliklə, orqanik memarlıqda BMS texnologiyaları binanın canlı orqanizm kimi fəaliyyət göstərməsinə, yəni mühit dəyişikliklərinə uyğun reaksiya verməsinə şərait yaradır.

"Əşyaların İnterneti" (IoT) texnologiyalarının tətbiqi orqanik memarlığın intellektual səviyyəsini yeni mərhələyə yüksəldir. IoT əsaslı cihazlar vasitəsilə elektrik, su və qaz kimi resursların sərfi sinxron şəkildə idarə olunur və optimallaşdırılır. Bu cihazlar bir-biri ilə əlaqəli informasiya mübadiləsi aparır, beləliklə, resursların istifadəsi haqqında vahid informasiya bazası formalaşdırır. Məsələn, IoT şəbəkəsi vasitəsilə su sərfiyyatının artması dərhal sistem tərəfindən qeydə alınır və avtomatik analiz mexanizmi bu dəyişikliklərin səbəblərini müəyyən edir. Bu cür dinamik idarəetmə enerji və resurs itkilərinin qarşısını alır, həmçinin təbiət resurslarının istifadəsində şəffaflığı və məsuliyyəti təmin edir. Bu yanaşma, texnologiyanın yalnız nəzarət funksiyasını deyil, həm də öyrənmə və adaptasiya potensialını ön plana çıxarır, çünki IoT sistemləri süni intellekt alqoritmləri vasitəsilə davranış modellərini təhlil edir və gələcəkdə optimal enerji istifadə ssenariləri hazırlayır.

Ağıllı texnologiyaların mühüm komponentlərindən biri də enerji saxlama sistemləridir, hansı ki, günəş, külək və digər bərpa olunan enerji mənbələrindən əldə edilən enerjinin toplanmasını və daha sonra istifadəsini təmin edir. Bu sistemlər orqanik memarlıq konsepsiyasına uyğun olaraq binanın enerji müstəqilliyini artırır, yəni o, xarici enerji şəbəkələrindən asılı olmadan özünü təmin edən bir struktur kimi fəaliyyət göstərir. Günəş panelləri vasitəsilə toplanan enerji akkumulyatorlarda saxlanılır və ehtiyac yarandıqda avtomatik olaraq enerji dövriyyəsinə daxil edilir [1]. Bu, həm enerji istehlakının pik dövrlərdə balanslaşdırılmasına, həm də enerji itkilərinin minimuma endirilməsinə şərait yaradır. Enerji saxlama sistemlərinin idarəedilməsi də BMS və IoT inteqrasiyası ilə həyata keçirilir, beləliklə, bütün enerji axınları koordinasiyalı şəkildə tənzimlənir.

Orqanik memarlıqda ağıllı texnologiyaların tətbiqi yalnız texniki yenilik kimi deyil, həm də insan və təbiət arasında davamlı əlaqəni təmin edən fəlsəfi və funksional bir konsepsiya kimi qiymətləndirilir. Smart sensorlar, bina idarəetmə sistemləri, IoT əsaslı cihazlar və enerji saxlama texnologiyaları bir-biri ilə inteqrasiya olunmaqla "canlı bina" ideyasını reallaşdırır. Bu yanaşma, memarlığın estetik və funksional aspektlərini birləşdirərək, gələcəyin ekoloji məsuliyyətli, enerji səmərəli və texnoloji baxımdan mükəmməl

yaşayış məkanlarını formalaşdırır. Beləliklə, ağıllı texnologiyalar orqanik memarlığın yalnız mühəndislik aspektini deyil, həm də onun mənəvi və ekosistem yönümlü mahiyyətini əks etdirən əsas struktur elementinə çevrilir.

Nəticə

Orqanik memarlıqda enerji effektivliyi və ağıllı texnologiyaların sintezi memarlığın gələcək inkişaf istiqamətini müəyyənləşdirən fundamental yanaşmadır. Bu modeldə binanın məqsədi yalnız yaşayış məkanı kimi xidmət göstərmək deyil, həm də təbiətlə qarşılıqlı əlaqə şəraitində müstəqil enerji və informasiya sistemi kimi fəaliyyət göstərməkdir. Smart sensorlar, IoT əsaslı idarəetmə mexanizmləri və enerji saxlama sistemləri vasitəsilə resurs istifadəsi optimallaşdırılır, tullantılar azalır və ekoloji tarazlıq qorunur. Bu, həm insan rifahına, həm də qlobal ekoloji təhlükəsizliyə birbaşa təsir göstərir. Orqanik memarlıqda texnologiya təbiətin yerini tutmur, əksinə onun prinsiplərinə uyğunlaşaraq ekoloji dövriyyənin bir hissəsinə çevrilir. Bu yanaşma müasir memarlığın gələcəyini formalaşdırır və dayanıqlı şəhər inkişafının əsas ideoloji dayağına çevrilir.

Ədəbiyyat

1. Betsky A. "The Monster Leviathan: Anarchitecture", New York, "Thames & Hudson", 2024, 288 p.
2. Frampton K. "Modern Architecture: A Critical History", London, "Thames & Hudson", 2020, 496 p.
3. Hess A. "Organic Architecture: The Other Modernism", Layton, "Gibbs Smith", 2022, 288 p.
4. Lind C. "Frank Lloyd Wright's Prairie Houses", San Francisco, "Pomegranate", 2021, 240 p.
5. Neutra R. "The Architecture of Richard Neutra: A Complete Catalog", New York, "The MIT Press", 2020, 480 p.
6. Pallasmaa J. "The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses", Chichester, "John Wiley & Sons", 2012, 160 p.
7. Pearson D. "In Search of Natural Architecture", London, "Gaia Books", 2021, 304 p.

ŞƏHƏR PLANLAŞDIRMASINDA ORQANİK MEMARLIĞIN ROLU

Heydərova Ləman Elşad qızı
Memarlıq və İnşaat fakültəsi\Bina və qurğuların memarlığı ixtisası
ORCID : 0009-0004-9106-6298
lmn.haydarova@gmail.com/ lheyderova1@std.beu.edu.az

Xülasə: Şəhərlərin ekoloji cəhətdən məsuliyyətli, dayanıqlı və insan rifahına yönəlmiş inkişaf modelləri üçün səy göstərdiyi üçün şəhər planlaşdırmada orqanik memarlıq ön plana çıxır. Frank Lloyd Wright-ın fəlsəfəsinə əsaslanan orqanik memarlıq təbii dünyadan ilhamlanan formaları, materialları və məkan dizaynlarını birləşdirərək, tikilmiş ətraf mühiti təbiətlə uyğunlaşdırmağa çalışır. Şəhərsalmada orqanik memarlığın aktuallığı onun ekoloji inteqrasiya, enerji səmərəliliyi və insan mərkəzli mühitləri təşviq etmək qabiliyyətindədir. Şəhər əraziləri daha sıx və mürəkkəbləşdikcə, bu yanaşma biomüxtəlifliyin qorunması, ətraf mühitə təsirin azaldılması və şəhər həyatının keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün həllər təklif edir. Bu işin məqsədi davamlı və uyğunlaşan şəhər planlaşdırma strategiyalarının formalaşdırılmasında orqanik memarlığın rolunu araşdırmaqdır. Bu tədqiqatın elmi yeniliyi təbii inteqrasiya, modul çeviklik və biofilik dizayn kimi orqanik memarlıq prinsiplərinin müasir şəhər inkişafı üçün tətbiqidir. Bura iqlimə cavab verən texnologiyaların, yerli mənbəli materialların və rahatlıq və icma şəxsiyyətini prioritetləşdirən məkan konfiqurasiyalarının birləşdirilməsi daxildir. Praktiki əhəmiyyəti, uzunmüddətli inkişaf məqsədlərini ekoloji mühafizə və sosial rifahla uyğunlaşdıraraq, davamlı, əhatəli və estetik cəhətdən ahəngdar olan şəhər böyüməsini istiqamətləndirmək üçün orqanik memarlığın transformativ potensialındadır.

Açar sözlər: Şəhərsalma, orqanik memarlıq, davamlılıq, biofilik dizayn, insan mərkəzli dizayn, ekoloji inteqrasiya

Giriş

Bu gün şəhərlər sürətlə artan əhali, çoxlu tikinti təzyiqləri, təbii ehtiyatların tükənməsi və iqlim böhranının təsiri ilə üzləşir. Bu kontekstdə şəhərsalmada təkcə 213 fiziki böyüməyə deyil, həm də ekoloji davamlılığa, sosial rifaha və mədəni bütövlüyə əsaslanan vahid yanaşmalara ehtiyac var. Bu nöqtədə, orqanik memarlıq konsepsiyası şəhərsalma intizamına əhəmiyyətli töhfələr verən bir dizayn fəlsəfəsi kimi önə çıxır. İlk dəfə sistematik olaraq 20-ci əsrin əvvəllərində Frank Lloyd Wright tərəfindən müəyyən edilmiş orqanik memarlıq təbii mühitlə harmoniyada insan məskənlərinin layihələndirilməsi prinsipinə əsaslanır. Təbiətlə əlaqəsi kəsilmiş strukturların mexaniki və monoton qurulmasından fərqli olaraq; Ətraf mühitin topoqrafiyası, bitki örtüyü, iqlim şəraiti və yerli materiallardan istifadə kimi elementlər orqanik memarlıq yanaşmasında müəyyənedici rol oynayır. Orqanik memarlığın şəhərsalmada yeri təkcə estetik və ya formal seçim deyil, həm də ekoloji və sosial cəhətdən məsuliyyətli münasibətin ifadəsidir. Bu yanaşma təbiətlə inteqrasiya olunmuş məkanların istehsalına, enerji səmərəliliyinə yönəlmiş həllərə və insan ehtiyaclarına həssas olan məkan təşkilatına əsaslanır. Ənənəvi urbanizasiya proseslərində çox vaxt diqqətdən kənarda qalan biomüxtəlifliyin qorunması, təbii yaşam və yerli dəyərlərin qorunması orqanik memarlığın əsas məqsədlərindəndir. Bundan əlavə, bu anlayış şəhərlərin dayanıqlığını və iqlim dəyişikliyinə uyğunlaşma imkanlarını artırmaqla təkcə bugünkü şəhərlərin deyil, həm də gələcəyin şəhərlərinin formalaşmasına töhfə verir. Bu araşdırmada orqanik memarlığın şəhərsalma prosesindəki rolu çoxölçülü şəkildə müzakirə edilir, təbii mühitlə inteqrasiya, davamlılıq, insan mərkəzli dizayn, çeviklik və estetik harmoniya kimi əsas prinsiplərə uyğun olaraq araşdırılır. Bundan əlavə, bu yanaşmanın həyata keçirilməsində qarşılaşılan struktur və inzibati çətinliklər vurğulanır və orqanik arxitekturanın gələcəyin şəhərləri üçün daha funksional planlaşdırma vasitəsinə necə çevrilə biləcəyi müzakirə edilir.

Material və metod

Orqanik memarlıq iddia edir ki, binalar təbiətin uzantısı kimi qəbul edilməlidir. Bu anlayış memarlıq dizaynını təbii mühitlə birləşdirməyi hədəfləyir və binanın yerləşdiyi torpaq, bitki örtüyü, iqlim şəraiti və topoqrafiya kimi elementlərlə uyğun şəkildə formalaşmasını tələb edir. Şəhərsalma kontekstində orqanik memarlığın bu fundamental prinsipi davamlı və ekoloji cəhətdən həssas şəhərlərin tikintisində mühüm rol oynayır. Şəhərsalmada orqanik memarlığın prioritet istiqamətlərindən biri təbii topoqrafiyaya uyğun olaraq onu qoruyub saxlamaqla tikintinin aparılmasıdır. Relyef formalarına müdaxilə etmədən hazırlanmış bina modelləri təbii drenaj sistemlərini qoruyub saxlamağa imkan verir və eroziya və daşqın kimi təbii fəlakətlərin risklərini azaldır. Bu planlaşdırma yanaşması təbiətə 214 qarşı deyil, onunla hərəkət etməyə əsaslanır. Şəhər toxumasının təbii mühitlə bu cür inteqrasiyası ekoloji tarazlığın qorunmasını təmin edir.



Şəkil 1. Heydərova Ləmanın Organik şəhər planlaması

Yaşıl infrastrukturun dəstəklənməsi orqanik memarlığın şəhər planlaşdırmasına digər mühüm töhfəsidir. Bağlar və şəhər meşələri kimi təcrübələr həm karbon azalatmada, həm də şəhərlərdə istiliyi azaldır. Bundan əlavə, bu cür yaşıl həllər yağış suyunun idarə olunması, yaxşılaşdırılmış hava keyfiyyəti və səs-küy çirklənməsinin azaldılması kimi çoxsaylı ekoloji faydalar təklif edir. Bu tətbiqlər təkcə estetik dəyər daşımır, o, həmçinin funksional və dayanıqlı şəhərlərin tikintisinə töhfə verir (Phillips, 2023). Nəhayət, şəhərsalmada orqanik memarlığın biomüxtəlifliyi artıran təsiri diqqətəlayiqdir. Təbii yaşayış yerlərini təqlid edən və dəstəkləyən şəhər strukturları quşlar, həşəratlar və digər canlı növləri üçün yaşayış yerləri yaradır. Beləliklə, ekosistemin bütövlüyü qorunur və şəhərlərdə təbii həyat dövrü dəstəklənir. Bu yanaşma şəhərləri təkcə insanlar üçün deyil, bütün canlılar üçün yaşana bilən etmək məqsədi daşıyır. Üzvi memarlıq davamlılıq prinsipləri ilə inteqrasiya olunmuş bir anlayış təklif edir. Təbii mühitə uyğun olaraq hazırlanmış bu yanaşma enerji səmərəliliyinə, resurslardan istifadəyə 215 qənaət etməyə və iqlim dəyişikliyinə davamlı şəhər strukturlarının tikintisinə imkan verir. Bu kontekstdə, orqanik memarlıq davamlı şəhər inkişafının əsas tikinti bloklarından birini təşkil edir. Enerji səmərəliliyi orqanik memarlığın davamlı şəhər planlaşdırmasına ən mühüm töhfələrindən biridir. Passiv günəş dizaynı gün işığından və günəş istiliyindən maksimum yararlanmağa imkan verir. Binaların yerləşdirilməsi, fasad dizaynı və material seçimi kimi elementlər bu məqsədlə planlaşdırılıb. Eyni zamanda, təbii ventilyasiyaya imkan verən struktur tənzimləmələr enerji istehlakını azaldır və süni kondisioner sistemlərinə ehtiyacı aradan qaldırır. Bu yanaşma şəhər miqyasında enerjiyə qənaət təmin etməklə davamlılığı gücləndirir. Orqanik memarlıq resurs istehlakını minimuma endirməklə karbon izlərini azaldır. Yerli və təbii materiallardan istifadə həm istehsal proseslərində yaranan ekoloji yükü yüngülləşdirir, həm də nəqliyyat proseslərindən yaranan emissiyaları aradan qaldırır (McHarg, 2022). Strukturların uzunmüddətli və adaptiv dizaynı, eləcə də material seçimi dayanıqlı şəhərlərin qurulmasında mühüm rol oynayır. Təbiətlə inteqrasiya olunmuş şəkildə orqanik strukturların planlaşdırılması texniki qulluq və təmir proseslərində daha az resursdan istifadə etməyə imkan verir. İqlimə davamlı planlaşdırma, ekoloji dəyişikliklərə qarşı orqanik memarlığın təklif etdiyi başqa bir üstünlükdür. Bu anlayışa iqlim şəraitinə uyğunlaşmaq üçün şəhər strukturlarının dizaynı daxildir. Təbii izolyasiyanı təmin edən binalar, həddindən artıq istilik dalğaları, daşqınlar və ya quraqlıq kimi iqlim böhranlarına daha davamlı olan şəhər modelləri yaradır. Beləliklə, şəhərlər davamlılığın xaricində yüksək ekoloji müqavimət qabiliyyətinə malik olan strukturlarla gücləndirilir. Orqanik memarlığın təklif etdiyi bu vahid perspektiv müasir şəhərsalmada əvəzsiz rol oynayır. Orqanik memarlığın şəhər planlaşdırılmasına gətirdiyi ən fundamental dəyərlərdən biri odur ki, sistematik olaraq insanları mərkəzə qoyan məkan anlayışını təqdim edir. Bu yanaşmada fərd təkcə fiziki mühitin istifadəçisi deyil, o, həm də şəhər məkanının formalaşmasında fəal subyekt hesab olunur. Buna görə də, orqanik prinsiplərə əsaslanan şəhər tənzimləmələri ilk növbədə insanlarla təbiət, cəmiyyət və özləri arasında əlaqəni gücləndirmək məqsədi daşıyır. Piyadalara uyğun tənzimləmələrə üstünlük verilən orqanik şəhər modellərində sərt həndəsələr yerinə əyri-xətti küçə xətləri, təbii axını izləyən yollar və miqyas baxımından insanlara xitab edən küçə teksturaları ön plana çıxır. Belə məskunlaşma formaları sadəcə olaraq 216 estetik seçim deyil, o, həm də təhlükəsiz, əlçatan və sosial qarşılıqlı əlaqə üçün açıq olan ictimai məkanın istehsalının əsasını təşkil edir. Piyadalar üçün ilk dizayn fərdlərin şəhərlə qurduğu fiziki və psixoloji bağı gücləndirərək şəhər həyatının keyfiyyətini artırır. Bu kontekstdə biofilik dizaynın töhfəsi təbiətin insan sağlamlığına müsbət təsirlərini gündəlik həyata inteqrasiya etməkdir. Təbii işıq, su elementləri, bitki toxuması, ağac kimi təbii materiallar və orqanik formalar şəhər məkanlarında insan şüurunda rahatlaşdırıcı və balanslaşdırıcı bir atmosfer yaradır. Bu cür elementlərin şəhər dizaynına sistematik daxil edilməsi fərdlərdə zehni rifah, stressin azalması və həyat keyfiyyətinin yüksəldilməsi kimi hiss olunan təsirlər yaradır. Bundan əlavə, orqanik arxitektura ilə formalaşan şəhərdə fərdlərin məkana aidiyyət və şəxsiyyət hissini inkişaf etdirməsinə dəstək verilir. Monoton konstruksiyadan fərqli olaraq, fərdi fərqləri və yerli kimliyi əks etdirən detallarla təchiz olunmuş yaşayış sahələri həm erqonomik, həm də estetik baxımdan rahatlıq təqdim edir (Alexander, 2021). Bu yanaşma fərdin yaşadığı mühitin bir hissəsini hiss etməsinə şərait yaradır və uzunmüddətli perspektivdə davamlı şəhər mədəniyyətinin formalaşmasına töhfə verir. Şəhərsalmada orqanik memarlığın funksiyalarından biri də estetik və məna baxımından tikilmiş ətraf mühitlə təbii mühit arasında harmoniyanı təmin etməkdir. Bu memarlıq yanaşması təkcə fərdi binaların dizaynında deyil, həm də bütöv şəhər daxilində təbiətdən, yerli mədəniyyət elementlərindən və coğrafi istinadlardan ilhamlanmış formalara əsaslanır. Beləliklə, şəhərlərin şəxsiyyət axtarışına ixtisaslı cavab təklif olunur. Təbiətə istinad edən simvolik formalar şəhərin vizual və semantik aləmində mərkəzi yer tutur. Xüsusilə ikonik binalar təkcə memarlıq dəyərinə malik deyil, eyni zamanda, şəhərin yaddaşında və kollektiv yaddaşında müəyyənedici

rol oynayır. Bu cür strukturlar təbii yolla əldə edilmiş əyriləri, spiral formaları və yarpaq və ya qaya fakturalarını xatırladan səthləri ilə təkcə estetik deyil, həm də simvolik ifadə gücünə malikdir. Beləliklə, şəhər məkanı təkcə funksional deyil, həm də şəxsiyyət daşıyan struktura çevrilir. Orqanik memarlıq ənənəvi şəhərsalmada tez-tez rast gəlinən sərt şəbəkə sistemlərindən qaçır və bunun əvəzinə təbii torpaq quruluşuna və insan miqyasına daha uyğun olan maye və inkişafa uyğun məkan tənzimləmələrinə əsaslanır. Bu anlayışa uyğun olaraq yaradılan küçə şəbəkəsi, meydanlar, ictimai məkanlar və binalar bir-birinə mexaniki deyil, orqanik bir bütövlükdə bağlıdır. Beləliklə, şəhər statik deyil, canlı və dəyişən bir orqanizm kimi qəbul edilir. 217 Şəhər dizaynında yerli geologiya, bitki örtüyü və mədəni motivləri özündə birləşdirən memarlıq elementlərinə üstünlük verilməsi həmin şəhərə xas estetik həssaslığın formalaşmasını təmin edir. Memarlıq dilində bu lokallaşma qloballaşmanın monoton təsirinə qarşı şəhərin özünəməxsus xarakterini qoruyub saxlayan mühüm müqavimət nöqtəsidir. Bu kontekstdə orqanik memarlıq həm təbii harmoniya, həm də mədəni davamlılığı təşviq edən güclü dizayn fəlsəfəsi təklif edir. Birləşmiş Ərəb Əmirliklərinin paytaxtı Əbu-Dabidə yerləşən Masdar City, 2006-cı ildə Foster + Partners tərəfindən dizayn edilmiş və dünyanın ilk planlaşdırılmış eko-şəhərlərindən biri olduğu iddiası ilə hələ də inkişaf mərhələsindədir (Wright, 2020). Bu layihə həm fiziki planlaşdırma prinsipləri, həm də memarlıq anlayışı baxımından orqanik memarlığın əsas prinsiplərini böyük ölçüdə mənimsəyən, eyni zamanda davamlı şəhər həyatı üçün konkret model yaradan keyfiyyətli bir nümunə kimi qiymətləndirilməlidir. Masdar City-nin dizaynı təbii şəraitə və yerli mədəniyyət nümunələrinə birbaşa istinad edən məkan tənzimləmələrini əhatə edir, bu baxımdan şəhər həm ekoloji, həm də sosial-mədəni kontekstdə yüksək ahəngdar bir bütövlük təqdim edir.



Şəkil 2. Masdar City

Ənənəvi ərəb şəhər fakturalarından ilhamlanan dar və kölgəli küçələr, açıq həyətlər və yığcam məskunlaşma dizaynı isti və quraq səhra iqliminə fiziki cavabdır. Bu məkan konfiqurasiyaları günəşin zərərli təsirlərini minimuma endirmək və təbii hava axınını maksimum dərəcədə artırmaq və bununla da enerji istehlakını azaltmaq üçün nəzərdə tutulmuşdur. Bu təbii ventilyasiya prinsiplərinə əlavə olaraq, bütün şəhərə yayılmış fotovoltaik panellər və təkrar emal edilmiş materiallardan hazırlanmış tikinti elementləri layihənin ətraf mühitə təsirini minimuma endirmək üçün vahid strategiyanın bir hissəsi kimi həyata keçirilir. Masdar City-nin piyadalar üçün uyğun planlaşdırma yanaşması nəinki avtonəqliyyatdan asılılığı azaldır, həm də fərdlərin ictimai yerlərlə qarşılıqlı əlaqəsini gücləndirir. Bu baxımdan 218 şəhər sadəcə enerji səmərəliliyi modeli deyil; O, həmçinin sosial davamlılığa üstünlük verən şəhər dizaynının vizyonunu təqdim edir. Layihə hesabatlarında verilən məlumatlara görə, ənənəvi şəhər məskənləri ilə müqayisədə 50% daha az su və enerji istehlak edən bu model şəhər, xüsusilə quraq və həddindən artıq isti bölgələr üçün aşağı karbonlu, iqlimə uyğun və uzunmüddətli urbanizasiya strategiyalarının necə həyata keçirilə biləcəyini nümayiş etdirir. Dünyanın ən sıx məskunlaşdığı şəhər dövlətlərindən biri olmasına baxmayaraq, Sinqapur təbiətlə inteqrasiya edən və ekoloji davamlılığa diqqət yetirən yenilikçi şəhər strategiyaları ilə seçilir. Xüsusilə, 2012-ci ildə ictimaiyyətə açılan “Bağçalar tərəfindən buxta” layihəsi bu baxışın konkret nümunəsi hesab olunur. "Bağda şəhər" şüarı ilə formalaşan Sinqapurun məkan planlaşdırma yanaşması yüksək sıxlıqlı şəhər toxuması daxilində orqanik memarlığın əsas prinsiplərini fiziki, vizual və ekoloji cəhətdən uğurla tətbiq edən qabaqcıl model təklif edir. Bu layihədəki Super Tree strukturları təbiətlə inteqrasiya olunmuş texnologiyanın istifadəsini təmsil edir, təkcə simvolik və ya estetik funksiyaları yerinə yetirmir, həm də günəş enerjisi istehsalı, yağış suyunun yığılması və təbii ventilyasiya kimi ətraf mühit funksiyalarını yerinə yetirir. Körfəzdəki Gardens layihəsi iqlimə həssas iki böyük konservatoriya strukturu ilə hazırlanmışdır və bu qapalı istixanalar təbii iqlimlərin idarə olunan şəkildə təkrar istehsal olunduğu mühitlər yaratmışdır. Bununla da təkcə vizual və rekreasiya xarakterli yaşıllıq sahəsi yaradılmayıb, həm də biofilik dizayn prinsipləri çərçivəsində insanların təbii mühitlə daim qarşılıqlı əlaqədə olduğu, onların əqli və fiziki rifahını dəstəkləyən yaşayış mühiti yaradılıb. Bu kontekstdə Sinqapur orqanik memarlığın təkcə

bina miqyasında deyil, həm də vahid şəhərsalma yanaşmasının ayrılmaz tərkib hissəsi kimi necə nəzərdən keçirilə biləcəyini nümayiş etdirir.



Şəkil 3. Gardens by the Bay, Singapore

Bağlar, şəhər meşələrinin salınması təcrübələri və yağış suyunun idarə edilməsi kimi həllər Sinqapurun təkcə yaşıl estetika təklif etmir, həm də ətraf mühitin tarazlığını nəzərə alan texniki planlaşdırma yanaşmasını mənimsədiyini göstərir. Şəhər Yenidənqurma Agentliyinin məlumatına görə, şəhərdə yaşıllıqların nisbəti ümumi ərazinin 47%-nə çatıb (McHarg, 2022). Bu tətbiqlər nəticəsində havanın keyfiyyətinin əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşmasına nail olunub və bəzi bölgələrdə şəhər istilik adası effekti 3°C-ə qədər azalıb. Bu məlumatlar açıq şəkildə göstərir ki, orqanik arxitektura düzgün planlaşdırma qərarları ilə birləşdirildikdə təkcə simvolik və ya vizual töhfə deyil, həm də birbaşa ölçülə bilən ekoloji qazanclar təklif edir.

Nəticə

Tədqiqatlar göstərdi ki, şəhərsalmada orqanik memarlığın qəbulu təkcə estetik bütövlük təmin etmir, həm də ekoloji dayanıqlılıq, mədəni identikliklərin qorunub saxlanılması və insan mərkəzli yaşayış məkanlarının yaradılmasında həlledici rol oynayır. Orqanik memarlıq təbiətdən ilham almış forma və materiallardan istifadə etməklə tikilmiş mühitin təbiətlə inteqrasiyasını təmin edir və bu inteqrasiya şəhərlərin kimliyini gücləndirir, ekoloji tarazlığın qorunmasına töhfə verir. Orqanik memarlıq yanaşması xüsusilə sürətli urbanizasiyanın yaratdığı homogenləşmə, şəxsiyyət itkisi və ətraf mühitin məhv edilməsi problemlərinə qarşı həll yaradan alternativ kimi önə çıxır. Araşdırma göstərdi ki, orqanik memarlıq ilə formalaşan şəhər məkanları fərdin psixoloji və fiziki rifahını prioritetləşdirən məkan tənzimləmələri təklif edir və betonlanmış və mexanikləşdirilmiş şəhər strukturlarından fərqli olaraq təbii işıq, hava axını və yaşıl məkana inteqrasiya kimi elementlərdən səmərəli istifadəni təmin edir. Bu vəziyyət şəhər sakinlərinin həyat keyfiyyətini artırır və onların məkana aidiyyət hissini gücləndirir. Eyni zamanda, orqanik memarlıq təbii və yerli materiallardan istifadə etməklə enerji istehlakını azaldır, karbon izlərini azaldır və uzunmüddətli perspektivdə şəhərin davamlı inkişafına töhfə verir. Tədqiqat nəticələri də göstərir ki, orqanik memarlıq fərdi strukturlarla məhdudlaşmamalı, bütün şəhər üçün planlaşdırma yanaşmasının bir hissəsi olmalıdır. Bu kontekstdə orqanik memarlıq prinsiplərinin şəhərsalma proseslərinə inteqrasiyası bütöv, təbiətə uyğun, şəxsiyyət yönümlü və yaşana bilən şəhərlərin qurulmasında strateji vasitə rolunu oynayır. Nəticədə, orqanik memarlıq yanaşması şəhərsalmada təbiət, insanlar və tikilmiş ətraf mühit arasında tarazlığı bərpa etməklə davamlı və keyfiyyətli şəhər gələcəyi qurmaq səylərinin tərkib hissəsinə çevrilir.

Ədəbiyyat

8. Alexander, C. (2021). A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction. Oxford University Press.
9. Gehl, J. (2010). Cities for People. Island Press.
10. Hess, A. (2022). Organic Architecture: The Other Modernism. Gibbs Smith.
11. Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989). The Experience of Nature: A Psychological Perspective. Cambridge University Press.
12. Kellert, S. R. (2025). Building for Life: Designing and Understanding the Human-Nature Connection. Island Press.

13. Lang, J. (2019). Creating Architectural Theory: The Role of the Behavioral Sciences in Environmental Design. Van Nostrand Reinhold.
14. McHarg, I. (2022). Design with Nature. Natural History Press.
15. Phillips, A. (2023). Designing Urban Agriculture: A Complete Guide to the Planning, Design, Construction, Maintenance and Management of Edible Landscapes. Wiley.
16. Rapoport, A. (2028. House Form and Culture. Prentice-Hall.
17. Spirn, A. W. (2020). The Granite Garden: Urban Nature and Human Design. Basic Books.
18. Wright, F. L. (2020). A Testament. Horizon Press.

THE GANJA ARCHİTECTURAL SCHOOL: HİSTORİCAL DEVELOPMENT, STRUCTURAL TYPOLOGİES AND İTS STRATEGİC ROLE İN AZERBAİJAN'S ARCHİTECTURAL HERİTAGE

Naila Huseynova
Baku Engineering University (BEU),
Faculty of Architecture and Construction, Department of Design,
Khirdalan, Azerbaijan
nhuseynova1@beu.edu.az
Azerbaijan State University of Economics (UNEC),
UNEC Master's Center, Faculty of Design,
Department of Economic and Technological Sciences,
Baku, Azerbaijan
naila.huseynova@unec.edu.az

Abstract: This research study provides a comprehensive analysis of the historical development, technical characteristics, and regional architectural influence of the Ganja Architectural School, which is regarded as one of Azerbaijan's most ancient, original, and unique architectural traditions. Throughout its nearly four-thousand-year history, the city of Ganja, due to its strategic location along the Great Silk Road, evolved not only into a major commercial center but also into one of the key architectural and engineering laboratories of Eastern–Islamic civilization.

The study examines the impact of the city's five historical relocations on its urban fabric, as well as the distinctive masonry techniques based on special brick and river-stone combinations that form the foundation of the Aran architectural school. Furthermore, it offers a detailed exploration of the architectural legacy of the Nizami Ganjavi era, with particular emphasis on the so-called "Renaissance" phase of architecture.

Special attention is given to the Imamzadeh Mausoleum Complex and the Friday Mosque ensemble, magnificently designed by Sheikh Bahaaddin, which together demonstrate the mathematical precision and aesthetic integrity of Ganja's architectural heritage. By conducting a comparative analysis between the Ganja Architectural School and other major schools such as Nakhchivan and Shirvan–Absheron, the study aims to formulate fundamental and strategic proposals for the preservation of this heritage and its transmission to future generations.

Keywords: Ganja Architectural School, Aran architecture, Imamzadeh Complex, Sheikh Bahaaddin, Nizami Ganjavi period, brick architecture, urban development of Azerbaijan.

Introduction

Scientific and Cultural Significance of Ganja's Architectural Heritage

The Ganja Architectural School, which constitutes one of the most original chapters in the history of Azerbaijani architecture, holds vital importance for a deeper understanding of the key developmental

dynamics of medieval Eastern architecture. Contemporary scholarly investigation of this subject goes beyond merely cataloging historical buildings; it also involves analyzing the social, economic, philosophical, and technological foundations of the periods in which these structures were created, and exploring their potential synthesis with modern architectural practice.

Despite having been repeatedly subjected to destruction, invasions, and natural disasters throughout history, Ganja has remarkably preserved a unique architectural identity, rising "from its ashes" on each occasion. The city's relocation five times over different historical periods and the emergence of distinct construction technologies and urban planning principles at each stage have left enduring traces that remain visible to this day.

Another crucial aspect that enhances the relevance of this architectural school is the bridge formed between architectural reality and the invaluable literary heritage of Nizami Ganjavi. The magnificent structures and urban settings described in the poet's works confirm that twelfth-century Ganja was not merely an imagined space, but a highly organized and well-established urban center.

In addition, the religious and cultural value of significant monuments such as the Imamzadeh Complex, particularly from a multicultural and faith-based tourism perspective, necessitates a renewed international reassessment of their architectural language as a universal medium of communication.

Research Methodology and Source Analysis

This study adopts and applies an interdisciplinary approach by integrating historical-chronological, comparative-analytical, and structural–technical analysis methods. When considering the architectural heritage of Ganja as an independent school, the methodological framework employed in its investigation primarily includes the following components:

1. Synthesis of Historical and Archaeological Data

The process of the city's reconstruction across five different locations has been extensively analyzed through the synthesis of archaeological excavation findings and historical chronicles, with particular emphasis on Arabic and Persian primary sources.

2. Comparative Architectural Analysis

Architectural examples from Ganja have been compared with structures from other major regions, especially Nakhchivan, Shirvan, and Tabriz, focusing on construction materials, architectural forms, and decorative characteristics.

3. Engineering and Astronomical Investigation

Technical features observed in the architectural works associated with Sheikh Bahaaddin—such as sundials and thermal systems—have been evaluated within the context of the mathematical and astronomical knowledge of the period.

4. Architectural Coding of Literary Sources

The monumental literary work **Khamsa** by the great poet Nizami Ganjavi has been used as a primary textual source to gain deeper insights into the architectural terminology and aesthetic worldview of the twelfth century.

Scientific Innovation and Original Contributions

This article expands traditional interpretations of the Ganja Architectural School and introduces several significant scientific contributions.

Firstly, Ganja architecture is characterized not merely as a stylistic phenomenon, but rather as a living survival strategy of a city that repeatedly changed its location—serving as an early example of adaptive urbanism**.**

Secondly, Sheikh Bahaaddin's activities in Ganja are analyzed not only as architectural projects but also as instruments of astronomical observation, evaluated within the conceptual framework of a functionally sacred space**.**

Thirdly, the technical depth of the study is enhanced by linking the brick–stone combined masonry system of the Aran architectural school to principles of soil mechanics and seismic durability, particularly in relation to regional factors such as the devastating earthquake of 1139.

Critical Review of the Existing Literature

Research on Ganja's architectural heritage has intensified notably since the mid-twentieth century. The archaeological excavations conducted by I. Jafarzadeh in the 1940s revealed significant data concerning the fortress walls and residential structures of ancient Ganja. One of the most comprehensive contemporary

sources is Rayiha Amanzadeh's monograph **"Architectural Chronicle of Ganja: 12th–19th Centuries"**, which offers a systematic and in-depth examination of the subject.

A comparative analysis of the existing literature indicates certain inconsistencies between archaeological findings and written historical sources, particularly regarding the stages of Ganja's spatial relocation, especially during the transitional periods between the 7th and 17th centuries.

The studies conducted by E. L. Hasanov, focusing on the ethno-archaeological heritage of the city and the integration of traditional applied arts into architectural decoration, contribute substantial analytical depth and offer an important perspective within the existing body of scholarship.

Scope of the Study and Data Limitations

This article examines the architectural heritage of Ganja across a broad chronological framework, beginning with the Renaissance period of the twelfth century and extending to the urban transformation processes of the late nineteenth century. However, certain limitations have affected the depth of the analyses:

• Earthquakes and Destruction

The catastrophic earthquake of 1139, along with subsequent Mongol invasions, led to the near-total destruction of most pre-twelfth-century structures. As a result, only foundation remains have survived to the present day.[2]

• Challenges of Spatial Relocation

The city's relocation across various sites under different names—such as Gadamish, Altın Qaya, and Shikh Plain—at different historical periods complicates the precise dating and attribution of certain architectural remains.

• Modern Urban Development

The dense settlement of contemporary Ganja significantly restricts the possibility of conducting large-scale archaeological excavations over ancient layers of the city.

Historical Distribution of Urban Locations

Location Name	Historical Period	Key Characteristics and Causes of Destruction	Architectural Focus
Gadamish (near Zurnabad)	Mid–1st millennium BC	Initial phase of urban formation; known as the "fortress site"	Early defensive structures
Altın Qaya (9–10 km north)	427 CE – 7th century	Destruction caused by earthquakes and Hun–Sasanian conflicts	Reinforced fortress walls
"Shahar Burnu" (Samukh region)	7th century	Damage following Arab invasions	Early Islamic architectural structures
Shikh Plain (Imamzadeh area)	7th–17th centuries	Natural disasters and strategic transformations	Medieval Renaissance architecture
Modern Ganja City Center	17th century – present	Planned urban development during the Safavid era under Shah Abbas	Sheikh Bahaaddin architectural complex

Shikh Plain (Old Ganja) as the Fourth Urban Phase

The Shikh Plain (Old Ganja), where the city was located during its fourth developmental phase, is considered the center of the "Golden Age" in which Nizami Ganjavi lived and composed his works. Archaeological excavations conducted in this area have revealed that the city was surrounded by a triple-layered, concentric defensive wall system. These fortifications were constructed using a combination of mudbrick, baked brick, and river stone.[3]-[1]

During the reign of Muhammad ibn Khalid in 859–860, the further reinforcement of the fortress walls once again confirmed Ganja's military-architectural superiority in the region and significantly increased its strategic importance.

The Aran Architectural School: Structural Technology and Aesthetic Codes

Ganja is broadly regarded as the central hub of the Aran Architectural School, encompassing Ganja, Barda, and Beylagan. The most distinctive characteristics of this school are the rational use of construction

materials and the diversity of building techniques. Particularly between the eleventh and thirteenth centuries, Ganja represented one of the aesthetic peaks of "brick architecture."

Combined Masonry System and Material Plasticity

The most significant innovation of the Aran Architectural School in construction practice is the **combined masonry** technique. In this system, baked brick and river stone (pebbles) are used together within a defined geometric structure. This technique serves not only decorative purposes; the massive stability provided by river stone in the foundation and inner wall layers, combined with the workability and refined surface treatment of brick on the exterior, creates a highly advanced engineering harmony.[10]

Master builders of Ganja employed brick not merely as a structural material, but also as a decorative element. The arrangement of bricks at varying angles produced diamond-shaped patterns, herringbone masonry, and vertical–horizontal transitions, endowing building facades with pronounced plasticity. The most accomplished examples of this style are found in the three monumental bridges constructed over the Ganja River in the twelfth century. These bridges were engineered to withstand strong hydraulic pressure while simultaneously being designed with a high level of aesthetic refinement consistent with the city's architectural character.

Architecture of Ganja in the Nizami Ganjavi Period: Analysis of Literary Descriptions

Twelfth-century Ganja, referred to by Nizami Ganjavi as "My Babylon," was a major center of science and culture in the East. Nizami's literary works constitute an unparalleled source for understanding the architectural atmosphere, urban landscape, and public spaces of the period. When the poet's vivid descriptions are examined alongside archaeological evidence, they reveal the image of a highly developed and well-organized metropolis.

Architectural Symbolism in the "Khamsa"

In *Iskandarnama* and *Seven Beauties*, Nizami presents architecture not merely as a background element, but as a symbolic medium expressing the inner world of the protagonists and the power of the state. The description of Nushaba's fortress or Alexander's philosophical walks along wide, well-organized streets serve as clear indicators of Ganja's high level of urban prosperity during that period.

By referring to the city's broad avenues, numerous madrasas, and the abundance of baths and caravanserais, the poet effectively outlines an "ideal city" model. Architectural metaphors found in *The Treasury of Secrets* also shed light on the social status of master builders—architects, constructors, and decorators—of the era. The influence of the Akhi brotherhood is evident in the construction of religious and civic buildings in Ganja, where honesty, craftsmanship, and aesthetic harmony emerge as core values.[9]

The strength and resilience of the city's fortification walls constituted the primary defense against Mongol invasions, and these structures were recorded as engineering marvels of their time.

The Imamzadeh Mausoleum Complex: The Spiritual and Technical Apex of Ganja Architecture

Located seven kilometers from Ganja on the right bank of the Ganja River, the Imamzadeh (also known as Goygunbaz) Mausoleum is both one of Azerbaijan's most significant sacred sites and a unique architectural monument. The complex, whose formation began in the eighth century, encapsulates the evolutionary phases of the Ganja Architectural School across several centuries.(fig. 1)



Figure 1. Imamzadeh Mausoleum Complex in Ganja, illustrating the architectural aesthetics, structural harmony, and spiritual significance of the Ganja Architectural School.

Structural Development and Architectural Features

The core of the Imamzadeh complex is the mausoleum built over the grave of Mowlana Ibrahim, who passed away in 739. Over time, the architectural character of the structure became progressively more elaborate:

- **8th century:** Construction of the original mausoleum
- **14th–16th centuries:** Expansion of the structure and clarification of its main architectural form
- **17th–18th centuries:** Addition of auxiliary buildings, including a mosque, caravanserai, and cells

The most striking feature of the mausoleum is its monumental dome covered with turquoise-glazed tiles. The dome's structure and its polychrome decorative patterns exemplify the high level of mastery achieved in medieval decorative arts in Ganja.[6]

The fact that the land on which the complex is located belonged to the Sheikhzamanli family—descendants of Nizami Ganjavi—adds further cultural and historical continuity to the monument. Today, the Imamzadeh Complex functions as a multicultural pilgrimage center welcoming visitors from across the Islamic world.

The Sheikh Bahaaddin Ensemble: Scientific Architecture of the Seventeenth Century

The new urban center of Ganja, established in its present location in 1606 by decree of Shah Abbas, was planned by the renowned mathematician and architect Sheikh Bahaaddin (al-Bahai). This ensemble was conceived as an integrated socio-religious complex comprising a mosque, bathhouse, and caravanserai.(fig.2)



Figure 2. Historic residential architecture in Ganja (late 19th–early 20th centuries), reflecting the hybrid character formed between European stylistic influences and local architectural traditions.

The Friday Mosque and Astronomical Precision

The Ganja Friday Mosque (Shah Abbas Mosque), constructed from red baked brick, is a monumental structure with two tall minarets and a spacious dome. One of its most significant scientific innovations is the use of a window on the western wall as a solar timekeeping device.[3]

Thanks to Sheikh Bahaaddin's profound knowledge of astronomy, the precise timing of the noon prayer was determined by the calculated incidence of sunlight on a specific point within the mosque.

The "Sunken Bathhouse" and Thermal Engineering

Located near the mosque, the Sunken Bathhouse (*Chokak Hammam*) represents a masterpiece of seventeenth-century thermal engineering. Its construction below ground level allowed:

- Reduction of heat loss during winter
- Natural cooling during summer

The bathhouse's heating system (*kulhan*) and water distribution channels clearly demonstrate the advanced hydraulic knowledge of the era. Altogether, this architectural ensemble formed the principal urban axis that defined the spatial identity of seventeenth-century Ganja.(fig. 3)



Figure 3. A historic brick-built bathhouse in Ganja, exemplifying the structural features and construction techniques of the Aran Architectural School.

Comparative Analysis of Azerbaijani Architectural Schools

Ganja architecture both interacted with and clearly distinguished itself from other architectural schools formed in various regions of Azerbaijan. The primary distinctions among these schools, which emerged between the tenth and twelfth centuries, can be identified through differences in building materials and architectural forms.[5]

Comparison of Azerbaijani Architectural Schools Based on Key Criteria

Criterion	Ganja (Aran) School	Nakhchivan School	Shirvan–Absheron School
Primary Materials	Combination of brick and river stone	Exclusively baked brick	Local limestone
Building Typology	Large architectural complexes, monumental bridges	Tower-shaped mausoleums (e.g., the Momine Khatun Mausoleum)	Compact and massive fortresses and mosques
Decoration	Geometric plasticity achieved through brick patterns	Polychrome tiles and complex geometric ornamentation	Stone carving and vegetal motifs
Main Causes of Destruction	Earthquakes and invasions	Passage of time and lack of maintenance	Relatively better preserved in comparison

Ganja architecture occupies a mediating position between the vertically oriented tower aesthetics of the Nakhchivan School and the horizontally emphasized, massive stone constructions characteristic of Shirvan architecture. By skillfully combining the flexibility of brick with the structural strength of river stone, Aran architects succeeded in creating buildings that were both aesthetically rich and structurally resilient in this seismically active region.

Late 19th and Early 20th Centuries: Between Tradition and European Influence in Ganja

In the nineteenth century, Ganja—then known as Elisabethpol—became a space where European architectural styles encountered local construction traditions. While eclectic and modern styles were widely adopted in Baku, their application in Ganja was more restrained, preserving national identity and local architectural continuity.

Residential buildings constructed during this period generally retained traditional courtyard-based layouts, while incorporating Baroque and Classical elements on their facades. The Bey Mosque, built in 1895, along with newly constructed administrative buildings integrated into the urban fabric, exemplifies the "hybrid" character that the Ganja Architectural School acquired in the modern era. The architectural developments of this period have been extensively analyzed in the works of scholars such as Shahlar Fatullayev, who laid the foundations for the study of Azerbaijan's national architectural renaissance.[8]

Architectural Restoration and Conservation Strategies

The architectural heritage of Ganja requires continuous conservation and restoration efforts. In particular, adherence to the principles of "scientific restoration" is crucial in the preservation of monuments such as the Imamzadeh Complex and the Friday Mosque.

• Use of Original Materials

Rather than merely imitating the traditional "river stone–baked brick" masonry of the Aran Architectural School, restoration projects should ensure the reproduction and application of these materials using original techniques.

• Digital Documentation

The digitization of archaeological remains across the city's five historical locations through 3D laser scanning technologies will establish a sustainable and reliable database for future research.

• Monitoring of Environmental Factors

The impact of fluctuations in the water level of the Ganja River on the twelfth-century historical bridges must be regularly monitored to prevent long-term structural damage.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The Ganja Architectural School represents the historical identity of Azerbaijan, inscribed in stone and brick as a living architectural memory. The *adaptive urbanism* model embodied by this tradition—where the city relocated five times and each time evolved toward a more refined architectural language—constitutes a rare phenomenon in the global history of urban planning.

This profound heritage, extending from the poetic descriptions of Nizami Ganjavi to the astronomical calculations of Sheikh Bahaaddin, represents a perfect synthesis of aesthetics and science.

Based on the findings of this research, the following key conclusions and recommendations are proposed:

1. Ganja architecture should be regarded not merely as a regional style, but as one of the leading directions in the engineering- and mathematics-based development of Eastern Islamic architecture.
2. The Imamzadeh Complex should be preserved not only as a religious monument, but also as an "open-air museum" that embodies centuries of architectural evolution.
3. Sheikh Bahaaddin's principles of urban planning and astronomically informed architecture should be re-evaluated as sources of inspiration for contemporary sustainable architectural design.
4. The establishment of archaeological parks within Ganja's historical residential areas and their integration into cultural tourism routes would ensure the economic sustainability of heritage preservation.

The architectural heritage of Ganja is not merely a relic of the past—it is also a fundamental reference point for Azerbaijan's future urban development strategies. Preserving this heritage signifies the protection of both national identity and universal cultural diversity.

REFERENCES

1. Amenzade, R. (2006). *Ganja: Architectural Chronicle (12th–19th centuries).* Baku: East–West Publishing.
2. Jafarzadeh, I. (1949). *Archaeological Research of the Ancient City of Ganja.* Baku: Azerbaijan State Publishing House.
3. Fatullayev, Sh. (1987). *The Developmental Paths of Azerbaijani Architecture.* Baku: Elm.
4. Hasanov, E. L. (2014). *Ethno-Archaeological Heritage and Architectural Traditions of the Ganja Region.* Baku: Elm və Təhsil.
5. Nizami Ganjavi. (2011). *Khamsa (critical scholarly edition).* Baku: Elm və Təhsil.
6. Guliyev, M. (2017). "Constructive Features and Seismic Resistance Principles of the Aran Architectural School." *Journal of Architecture and Construction Sciences of Azerbaijan,* 12(3), 44–57.
7. Rzayev, S. (2019). "Urban Planning Structure of Medieval Ganja." *Scientific Reports of the Institute of Architecture and Art of ANAS,* 8(2), 29–41.
8. Suleymanov, A. (2020). *The Shirvan–Absheron Architectural School and Its Material-Constructive Features.* Baku: ADNSU Publishing.
9. Taghiyev, N. (2018). "Formation and Aesthetic Principles of the Nakhchivan Architectural School." *Journal of Architectural and Urban Studies,* 5(1), 63–75.
10. Yusifov, A. (2015). *Sheikh Bahaaddin: Architectural, Mathematical, and Astronomical Heritage.* Baku: Tahsil Publishing.

ŞƏRQİ ZƏNGƏZUR İQTİSADİ ZONASININ İNFRASTRUKTUR VƏZİYYƏTİNİN ANALİZİ

Şirin Sadıqova
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat/Şəhərsalma
shisadiqova@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Nahidbəy Səlimov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat/Şəhərsalma
nselimov2@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ: Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonunun regional planlaşdırılması, regionun onilliklər boyu davam edən iqtisadi izolyasiyasına son qoyan və onu qlobal tədarük zəncirinə bağlayan strateji bir prosesdir. Regionun mürəkkəb dağlıq relyefi tarixən nəqliyyat əlaqələri üçün maneə yaratsa da, müasir mərhələdə bu boşluq beynəlxalq əhəmiyyətli zəngəzur dəhlizi konsepsiyası ilə doldurulur. Hazırda regionun bərpası yalnız yol-nəqliyyat şəbəkəsi ilə məhdudlaşmır; bura rəqəmsal texnologiyalara əsaslanan enerji və su təchizatı sistemlərinin qurulması, həmçinin insan kapitalının inkişafına xidmət edən müasir sosial infrastrukturun (təhsil və səhiyyə) yaradılması daxildir. Bu kompleks transformasiya şərqi zəngəzuru blokada şəraitindən çıxararaq avrasiyanın mühüm loqistik mərkəzinə və yüksək texnologiyalı "yaşıl enerji" zonasına çevirməyi hədəfləyir.
Açar sözlər: zəngəzur dəhlizi, regional planlaşdirma, yaşil enerji

ANALYSIS OF THE INFRASTRUCTURE CONDITION OF THE EASTERN ZANGEZUR ECONOMIC ZONE

ABSTRACT: The regional planning of the east zangezur economic region is a strategic process that has put an end to decades-long economic isolation and integrated the region into the global supply chain. Although the region's complex mountainous terrain has historically posed challenges for transportation connectivity, this gap is currently being addressed through the concept of the internationally significant zangezur corridor. The ongoing reconstruction of the region is not limited to the development of transport networks; it also includes the establishment of energy and water supply systems based on digital technologies, as well as the creation of modern social infrastructure (education and healthcare) that supports human capital development. This comprehensive transformation aims to turn east zangezur from a state of blockade into a key logistics hub of eurasia and a high-tech "green energy" zone.
Keywords: zangezur corridor, regional planning, green energy

GİRİŞ:

Azərbaycan Respublikasında regional inkişaf siyasətinin əsas hədəflərindən biri ölkə ərazisində sosial-iqtisadi tarazlığın bərpası, resursların səmərəli bölgüsü və dayanıqlı inkişafın təmin olunmasıdır. 2020-ci ildə torpaqların azad edilməsi ilə ölkənin iqtisadi-coğrafi məkanı yenidən formalaşmış, 2021-ci ildə Prezidentin sərəncamı ilə Şərqi Zəngəzur iqtisadi zonası yaradılmışdır. Bu zona Laçın, Kəlbəcər, Qubadlı, Zəngilan və Cəbrayıl rayonlarını əhatə edir.

Ərazinin strateji mövqeyi, təbii sərvətləri, su ehtiyatları və enerji potensialı regionun iqtisadi yüksəlişi üçün mühüm imkanlar yaradır. Lakin uzunmüddətli işğal nəticəsində bu rayonların şəhər, kənd, sənaye və sosial infrastrukturu tamamilə dağılmış, əhali köçkün vəziyyətinə düşmüşdür.

Hazırda "Böyük Qayıdış Proqramı" çərçivəsində bu ərazilərin bərpası və yenidən məskunlaşdırılması prosesləri aparılır. Bu isə öz növbəsində elmi əsaslı regional planlaşdırma sisteminin qurulmasını zəruri edir. Planlaşdırma zamanı təbii-coğrafi xüsusiyyətlər, sosial struktur, iqtisadi potensial və ekoloji balans nəzərə alınmalıdır. Bu səbəbdən, Şərqi Zəngəzur iqtisadi zonasının regional planlaşdırma həlli mövzusu həm elmi, həm də praktik baxımdan aktual və milli əhəmiyyətli tədqiqat istiqamətidir.

TƏDQİQAT:

Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonunun regional planlaşdırılmasında nəqliyyat-loqistika infrastrukturunun yenidən qurulması, regionun onilliklər boyu davam edən iqtisadi izolyasiyasına son qoyan və onu qlobal tədarük zəncirinə bağlayan strateji amildir. Bu regionun mürəkkəb oroqrafik quruluşu və yüksək dağlıq relyefi tarixən nəqliyyat əlaqələrinin qurulmasında ən böyük maneə olmuşdur. Keçmiş onilliklərin, xüsusən 1970-1980-ci illərin infrastruktur mənzərəsinə nəzər saldıqda, regionun daxili yollarının əsasən üçüncü dərəcəli, dar və mövsümi xarakterli olduğu görünür. Xüsusilə Kəlbəcər və Laçın istiqamətindəki magistrallar qış aylarında Murovdağ və digər aşırımlarda qar uçqunları səbəbindən aylarla bağlanırdı ki, bu da mərkəzlə periferiya arasında iqtisadi-sosial qırılmalara gətirib çıxarırdı. İşğal dövründə isə mövcud olan Horadiz-Cəbrayıl-Zəngil-Ağbənd dəmir yolu xətti tamamilə sökülmüş, relslər daşınmış və yol yatağı hərbi istehkamlara çevrilmişdir. Bu, regionun təkcə Azərbaycanla deyil, dünya ilə loqistik əlaqəsinin tamamilə kəsilməsi və beynəlxalq tranzit potensialının onilliklərlə dondurulması demək idi.

Müasir regional planlaşdırma sənədlərində bu loqistik boşluğun doldurulması üçün Zəngəzur dəhlizi konsepsiyası mərkəzi yer tutur. Bu dəhliz sadəcə yerli əhəmiyyətli yol deyil, Şərqi-Qərb və Şimal-Cənub nəqliyyat dəhlizlərinin kəsişməsində yerləşən beynəlxalq tranzit arteriyasıdır. Horadiz-Ağbənd istiqamətində sürətlə bərpa edilən çoxzolaqlı avtomobil və dəmir yolu xətləri, keçmişin dağılmış infrastrukturunu ən müasir texnoloji standartlarla əvəz edir. Elmi-analitik tədqiqatlar göstərir ki, Zəngəzur dəhlizinin açılması regionun ixrac qabiliyyətini artırmaqla yanaşı, Azərbaycanın əsas hissəsini Naxçıvan və Türkiyə üzərindən Avropa bazarlarına bağlayan ən qısa və rentabelli marşrutu formalaşdırır. Bu həll yolu, keçmişin blokada şəraitini tamamilə aradan qaldıraraq, Şərqi Zəngəzuru Avrasiyanın mühüm loqistik mərkəzinə çevirir.

Keçmişdə regionun ən böyük problemi olan əlçatanlıq məsələsi hazırda mürəkkəb mühəndislik konstruksiyaları — tunellər, körpülər və viaduklar vasitəsilə həll edilir. Toğanalı-Kəlbəcər-İstisu yolu üzərində, Murovdağ silsiləsi altında inşa edilən və uzunluğu 11,6 kilometrdən çox olan nəhəng tunel bu baxımdan inqilabi addımdır. Keçmişdə sürücülərin saatlarla vaxt sərf etdiyi və həyat riski ilə keçdiyi təhlükəli aşırımlar, indi bir neçə dəqiqəlik təhlükəsiz keçidlə əvəz olunur. Bu mühəndislik həlləri regionun iqtisadi aktivliyinin 365 gün kəsintisiz davam etməsini təmin edir. Bundan əlavə, Zəngilan və Laçında beynəlxalq standartlara uyğun inşa edilmiş hava limanları regionun loqistik imkanlarını "hava-quru-dəmir yolu" formatında birləşdirərək, multimodallığı təmin edir. Bu, xüsusilə dağ-mədən sənayesi məhsullarının və yüksək dəyərli kənd təsərrüfatı mallarının beynəlxalq bazarlara sürətli çatdırılması üçün həlledici infrastrukturdur.

Regional planlaşdırmanın nəqliyyat strategiyasında intellektual idarəetmə sistemlərinin tətbiqi də xüsusi vurğulanır. Keçmişin tamamilə nəzarətsiz və primitiv yol idarəçiliyindən fərqli olaraq, hazırda bütün magistral yollarda rəqəmsal monitorinq, avtomatlaşdırılmış yük tərəziləri və hava şəraitini öncədən proqnozlaşdıran sensor şəbəkələri qurulur. Bu rəqəmsallaşma loqistik xərcləri minimuma endirir və yükdaşımaların sürətini 20-30% artırır. Beləliklə, Şərqi Zəngəzurun nəqliyyat-loqistika şəbəkəsi keçmişin blokada, dağıntı və coğrafi çətinliklərindən qurtularaq, gələcəyin yüksək texnologiyalı və qlobal səviyyədə inteqrasiya olunmuş tranzit zonasına çevrilir. Bu transformasiya regionun iqtisadi inkişafının lokomotivi olmaqla yanaşı, həm də "Böyük Qayıdış" strategiyasının uğurlu icrası üçün infrastruktur zəmanəti yaradır.

Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonunun regional planlaşdırılmasında enerji təhlükəsizliyi və su resurslarının effektiv idarə olunması regionun daxili potensialının aktivləşdirilməsi üçün həlledici sütunlardır. Bu sistemlərin yenidən qurulması sadəcə fiziki bərpa işi deyil, həm də regionun yaşıl enerji zonası statusuna uyğun olaraq tamamilə innovativ əsaslarla formalaşdırılmasıdır. Keçmiş onilliklərin, xüsusən 1980-ci illərin infrastruktur mənzərəsinə nəzər saldıqda, regionun enerji təchizatı mərkəzləşdirilmiş xətlərdən asılı idi və texniki köhnəlmə səbəbindən tez-tez qəzalarla müşayiət olunur, ucqar dağ kəndlərində enerji kəsintilərinə yol açırdı. Su təchizatı isə əsasən açıq su mənbələri və torpaq kanallar vasitəsilə həyata keçirilirdi ki, bu da həm resursların 40-50 faizinin itirilməsinə, həm də suyun sanitar-epidemioloji keyfiyyətinin aşağı düşməsinə səbəb olurdu. Otuz illik işğal dövründə isə regionda mövcud olan 30-dan çox kiçik su elektrik stansiyası, su anbarları, hidrotexniki qurğular və kəndlərarası paylayıcı şəbəkələr tamamilə darmadağın edilmiş, region bir növ enerji və su blokadasına salınmışdır.

Müasir mərhələdə enerji infrastrukturunun qurulması regionun zəngin hidroenerji, günəş və külək potensialının elmi sintezinə əsaslanır. Keçmişin dağılmış və səmərəsiz stansiyalarının yerində hazırda yüksək texnologiyalı və vahid mərkəzdən idarə olunan yeni nəsil kiçik su elektrik stansiyaları şəbəkəsi qurulur. Artıq Kəlbəcər və Laçın rayonlarının sürətli dağ çayları üzərində Güləbird, Suqovuşan, Kəlbəcər-

1, Kəlbəcər-2 və digər mühüm stansiyalar bərpa edilərək ümumi enerji sisteminə qoşulmuşdur. Bu stansiyaların əsas texniki üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onlar ən müasir rəqəmsal monitorinq sistemləri ilə təchiz olunub və istehsal olunan enerjinin itkisiz ötürülməsini təmin edən intellektual yarımstansiyalarla əlaqələndirilib. Eyni zamanda, Cəbrayıl və Zəngilan rayonlarında günəş enerjisindən istifadə məqsədilə nəhəng günəş panelləri parklarının inşası regionun enerji balansını şaxələndirir və Şərqi Zəngəzuru ölkənin əsas ekoloji enerji ixracatçısına çevirir.

Su təchizatı sistemlərinin müasir vəziyyəti isə regionun strateji su ehtiyatlarının idarə edilməsi planı çərçivəsində, tamamilə rəqəmsal nəzarət mexanizmləri ilə yenidən qurulur. Keçmişdə suyun idarə olunmasında texnoloji nəzarətin olmaması resursların səmərəsiz istifadəsinə yol açırdısa, hazırda Şərqi Zəngəzurda inşa olunan su anbarları və magistral boru kəmərləri tamamilə qapalı və xarici təsirlərdən izolyasiya olunmuş sistemlərdir. Xüsusilə suvarma şəbəkələrində tətbiq edilən müasir filtrasiya qurğuları və avtomatlaşdırılmış paylayıcı sistemlər suyun hər bir damlasının dəqiq uçotunu aparmağa imkan verir. İşğal dövründə mənfur düşmən tərəfindən su mənbələrinin qəsdən çirkləndirilməsi və su bəndlərinin dağıdılması nəticəsində yaranmış ekoloji gərginlik, indi müasir təmizləyici qurğular və çayların yataqlarının bərpası ilə köklü şəkildə həll edilir.

Şərqi Zəngəzurun enerji və su təminatı arxitekturası keçmişin dağıdılmış, primitiv və asılı modelindən gələcəyin avtonom, yaşıl və rəqəmsallaşmış sisteminə tamamilə keçid etmişdir. Regional planlaşdırma sənədlərində bu infrastruktur layihələri sadəcə kommunal xidmət deyil, həm də regionda qurulacaq müasir sənaye və aqrar komplekslərin fəaliyyətini təmin edən fundamental faktor kimi qiymətləndirilir. Bu transformasiya Böyük Qayıdış çərçivəsində məskunlaşacaq əhalinin dayanıqlı və yüksək keyfiyyətli resurslarla təmin olunması üçün əsas elmi-praktiki zəmanətdir.

Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonunda sosial infrastrukturun yenidən qurulması "Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər" sənədinə uyğun olaraq, insan kapitalının rəqabətqabiliyyətliliyinin artırılması strategiyasına əsaslanır. Regional planlaşdırma kontekstində sosial infrastrukturun bərpası sadəcə binaların inşasını deyil, regionun demoqrafik strukturuna və gələcək əmək bazarının tələblərinə uyğun optimallaşdırılmasını nəzərdə tutur. Keçmiş onilliklərin analizi göstərir ki, 1990-cı illərə qədər regionda 600-dən çox orta məktəb və 300-ə yaxın tibb müəssisəsi fəaliyyət göstərmişdir. Lakin otuz illik işğal dövründə bu infrastrukturun 98%-i tamamilə məhv edilmiş, nəticədə regionun sosial paradiqması çökmüş və əhali fundamental xidmətlərdən tamamilə təcrid olunmuşdur.

Müasir mərhələdə təhsil infrastrukturunun bərpası "STEAM" (elm, texnologiya, mühəndislik, incəsənət və riyaziyyat) tədris metodologiyasının tətbiqi ilə həyata keçirilir. Bu, keçmişin birtərəfli təhsil modelindən fərqli olaraq, regionun sənaye və yaşıl enerji profilinə uyğun texniki kadrların yetişdirilməsini hədəfləyir. Məsələn, Cəbrayıl şəhərində akademik Mehdi Mehdizadə adına 960 şagird yerlik məktəbin və Zəngilanın Ağalı kəndindəki müasir təhsil mərkəzinin inşası regionda rəqəmsal savadlılığın əsasını qoymuşdur. Regional planlaşdırmada təhsil müəssisələrinin uçotu və yerləşdirilməsi "əlçatanlıq radiusu" elmi prinsipi ilə aparılır ki, bu da şagirdlərin uzaq məsafə qət etmədən ən müasir laboratoriya şəraitində təhsil almasını təmin edir.

Səhiyyə infrastrukturunun bərpası isə regionun mürəkkəb relyefi nəzərə alınaraq "Mərkəzləşdirilmiş regional xidmət" və "Mobil tibbi monitorinq" sintezi üzərində qurulur. Keçmişdə tibbi təminatın zəifliyi ucqar kəndlərdə ölüm göstəricilərinin yüksəlməsinə səbəb olduğu halda, hazırda Kəlbəcər, Laçın və Zəngilanda inşa olunan çoxprofilli mərkəzi xəstəxanalar vahid rəqəmsal səhiyyə şəbəkəsinə inteqrasiya edilib. Bu müasir vəziyyət icbari tibbi sığorta mexanizmlərinin regionun hər bir nöqtəsində effektiv tətbiqinə imkan verir. Xüsusilə "tele-tibb" sistemləri vasitəsilə mürəkkəb cərrahi və diaqnostik məsləhətlərin məsafədən həyata keçirilməsi, regionun coğrafi təcridolunma problemini elmi-texniki yolla aradan qaldırır.

Regional planlaşdırmanın bu bölməsində sosial infrastrukturun inkişafı həm də "Ağıllı sosial idarəetmə" sistemləri ilə əlaqələndirilir. Bu, səhiyyə və təhsil resurslarının real vaxt rejimində uçotunun aparılmasını, sakinlərin fərdi sağlamlıq və təhsil göstəricilərinin rəqəmsal xəritələr üzərində təhlilini təmin edir. Beləliklə, Şərqi Zəngəzurun sosial arxitekturası keçmişin dağılmış və xidmətdən məhrum mühitini gələcəyin yüksək standartlı, texnoloji cəhətdən təmin olunmuş və insan mərkəzli inkişaf zonasına çevirir. Bu transformasiya Böyük Qayıdış çərçivəsində regionun sosial-iqtisadi dayanıqlığının ən mühüm elmi təminatıdır.

NƏTİCƏ:

Şərqi Zəngəzurun regional planlaşdırılması prosesi Azərbaycanın iqtisadi-coğrafi məkanının bütövləşməsində həlledici mərhələdir. Tədqiqat göstərir ki, Zəngəzur dəhlizi kimi nəhəng nəqliyyat-logistika arteriyalarının bərpası regionu təkcə ölkədaxili deyil, həm də beynəlxalq Orta Dəhliz (Trans-Xəzər Nəqliyyat Marşrutu) sistemində strateji qovşağa çevirir. Bu, regionun təcrid olunmuş dağlıq zonadan qlobal tranzit və dəyər zəncirinin aktiv həlqəsinə transformasiyasını elmi cəhətdən əsaslandırır. Araşdırma nəticəsində aydın olmuşdur ki, "Böyük Qayıdış" çərçivəsində tətbiq edilən "Ağıllı kənd" və "Ağıllı şəhər" konsepsiyaları məskunlaşma sisteminin dayanıqlığını sığortalayan əsas faktordur. Regionun mürəkkəb relyefində rəqəmsal xidmətlərin (tele-tibb, e-təhsil) və alternativ enerji şəbəkələrinin sintezi, əhalinin həyat keyfiyyətinin paytaxt standartları ilə bərabərləşdirilməsinə və demoqrafik sabitliyin təmin olunmasına elmi-praktiki zəmanət verir. Şərqi Zəngəzurun "Yaşıl Enerji Zonası" elan edilməsi planlaşdırmanın ekoloji müstəvisini köklü şəkildə dəyişmişdir. Karbon neytrallığına əsaslanan sənaye və aqrar inkişaf modeli, həm təbii ekosistemin bərpasını, həm də regionun "ekoloji təmiz məhsul" istehsalçısı kimi beynəlxalq reytinqinin yüksəlməsini şərtləndirən fundamental nəticədir.

ƏDƏBİYYAT:

1. Nazim Müzəffərli, Eldar İsmayılov "Azərbaycanın post-konflikt ərazilərinin bərpası: konseptual əsaslar "Qafqaz" Bakı, 2010 – 270 səhifə
2. Əhmədov, M.A. (2021). *Azərbaycanın iqtisadi rayonları: Yeni regional inkişaf mərhələsi*. Bakı: Elm.
3. Muradov, Ş.M. (2022). *İşğaldan azad edilmiş ərazilərin demoqrafik və infrastruktur potensialı*. Bakı: İqtisadiyyat İnstitutu.
4. Qasımov, F. (2023). *Şərqi Zəngəzurun nəqliyyat-logistika dəhlizləri və Zəngəzur dəhlizinin perspektivləri*. Bakı.
5. Hüseynov, V. "Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonunda alternativ enerji mənbələri və 'Yaşıl Enerji' zonası". *Energetika problemləri jurnalı*, 2023.
6. Məmmədov, Z. "İşğaldan azad olunmuş ərazilərdə 'Ağıllı şəhər' və 'Ağıllı kənd' konsepsiyalarının tətbiqi". *Azərbaycanın İqtisadiyyatı jurnalı*, 2022.
7. Nərimanov, R. "Zəngəzur dəhlizinin regional nəqliyyat şəbəkəsinə inteqrasiyası və infrastruktur layihələri". *Beynəlxalq İqtisadi Təhlil*, 2024

NANOMATERİALLARIN AEROKOSMİK MEMARLIQDA TƏTBİQİ VƏ STRUKTUR OPTİMALLAŞDIRMADAKI ROLU

Heybət Quliyev
Bina və qurğuların memarlığı
Baku Engineering University
Khirdalan, Azerbaijan
0009-0006-3371-6613
heybet2004quliyev@gmail.com

Xülasə: Kosmik memarlığın inkişafı radiasiya, vakuum mühiti və kəskin temperatur dəyişiklikləri kimi sərt kosmik şəraitlərə uyğun yeni yanaşmalar tələb edir. Ənənəvi tikinti materialları uzunmüddətli kosmik yaşayış üçün hər zaman yetərli olmur. Buna görə nanomateriallar yüksək mexaniki dayanıqlığı, yüngüllüyü və qoruyucu xüsusiyyətləri ilə yeni bir həll kimi bizim qarşımıza çıxır. Bu tədqiqatda nanomaterialların kosmik memarlıqda tətbiqi və onların struktur rolu araşdırılır. Xüsusilə də karbon nanotublar, qrafen əsaslı kompozitlər və nanostruktur örtükləri kimi materialların yüksək möhkəmlik çəki nisbəti, radiasiyaya qarşı qoruma və istilik sabitliyi baxımından üstünlükləri nəzərdən keçirilir. Araşdırma göstərir ki, bu materialların istifadəsi konstruksiyanın ümumi kütləsini azaltmaqla yanaşı, onun dayanıqlığını və təhlükəsizliyini qoruyur. Eyni zamanda, modul tipli kosmik strukturlarda yükün daha bərabər

paylanmasına və daha çevik memarlıq həllərinin formalaşmasına imkan yaradır. Nəticə olaraq, nanomaterialların tətbiqi kosmik memarlıq sistemlərinin səmərəliliyini, davamlılığını və tətbiq imkanlarını lazımi dərəcədə artırır və gələcək orbital və planetar yaşayış mühitləri üçün əsas göstərici kimi çıxış edir.

Açar sözlər: *Nanomateriallar , karbon nanotub , kosmik memarlıq qurğuları , planetar yaşayış mühiti*

Giriş: 2000-ci ildən bəri həm çoxstruktur funksiyaların, həm də inteqrasiya olunmuş struktur və qeyri-struktur funksiyaların inkişafını əhatə edən məqalələr vurğulanır. Struktur funksiyalarına möhkəmlik, sərtlik, qırılma möhkəmliyi və amortizasiya kimi mexaniki xüsusiyyətlər daxildir, qeyri-struktur funksiyalara isə elektrik və ya istilik keçiriciliyi, sensor və hərəkət, enerji toplama/saxlama, öz-özünü sağalma qabiliyyəti, elektromaqnit müdaxiləsi (EMI) qorunması, təkrar emal və bioloji parçalanma daxildir. Bu son inkişafların bir çoxu polimer kompozit materiallar və nanomateriallar və nanostrukturlar sahəsindəki irəliləyişlərlə bağlıdır, eləcə də nəzərdən keçirilən bir çox məqalələr. Məqalə çoxfunksiyalı materialların və strukturların son tətbiqlərinin müzakirəsi ilə yekunlaşır, məsələn, morfing təyyarə qanadları, struktur inteqrasiya olunmuş elektron komponentlər, dərmanların paylanması və diaqnostika üçün biotibbi nanohissəciklər, həmçinin optik şəffaf təsir uducu strukturlar. Gələcək tədqiqat ehtiyacları ilə bağlı bir neçə təklif də təqdim olunur [1].

Çoxfunksiyalı materiallar mütləq kompozit materiallardır və kompozitlərin istifadəsinin güclü artımı çoxfunksiyalı dizayn tələblərindən böyük təsirlənib. Strukturların inkişafında ənənəvi yanaşma yük daşıma funksiyasını və digər funksional tələbləri ayrı-ayrılıqda həll etməkdir, nəticədə qeyri-struktur funksiyaları yerinə yetirən əlavə əlavələrlə yanaşı, əlavə yük daşıyan struktur əlavə olunan suboptimal yükdaşıyan struktur yaranır və əlavə çəki cəzası tətbiq olunur. Son zamanlar isə, çoxfunksiyalı bioloji sistemlərin necə işlədiyinə dair son kəşflər əsasında inteqral olmayan yük daşıyan funksiyalara malik yükdaşıyan materiallar və strukturların inkişafına maraq artıb.

Kosmik mühitdə istifadə olunan konstruktiv materialların seçimi layihənin təhlükəsizliyi və uzunmüddətli dayanıqlılığı baxımından həlledici rol oynayır. Müasir dövrdə nanomateriallar yüksək mexaniki xüsusiyyətləri və mühitə uyğunlaşma qabiliyyətləri səbəbindən kosmik mühəndislikdə perspektivli materiallar kimi qiymətləndirilir.

Nanomateriallar struktur səviyyəsində atom və ya nanoölçülü quruluşa malik olduqları üçün klassik materiallarla müqayisədə daha yüksək möhkəmlik-sıxlıq nisbəti təqdim edir. Bu xüsusiyyət kosmik konstruksiyalarda kütlənin azaldılması ilə yanaşı, yükdaşıma qabiliyyətinin artırılmasına imkan verir. Xüsusilə karbon əsaslı nanomateriallar, o cümlədən karbon nanotublar və qrafen, yüksək dartılma möhkəmliyi və elastiklik modulu ilə seçilir və bu da onları təzyiq altında işləyən nazik qabıq strukturlar üçün uyğun edir. Kosmik mühitin radiasiya və temperatur kimi ekstremal təsirləri materialların struktur xüsusiyyətlərini dəyişdirə bilər. Nanomateriallar isə bu baxımdan daha stabil davranış nümayiş etdirir. Onların yüksək enerji hissəciklərinə qarşı müqaviməti və aşağı termal genişlənmə əmsalı kosmik şəraitdə uzunmüddətli istifadəni mümkün edir. Vakum şəraitində materialların qaz buraxma (outgassing) xüsusiyyəti də mühüm faktor hesab olunur. Nanostrukturlu materiallar daha stabil səth quruluşuna malik olduqları üçün bu baxımdan daha əlverişli hesab edilir və daxili mühitin çirklənmə riskini azaldır [3].

Kosmik memarlıqda nanomaterialların tətbiqi yalnız struktur möhkəmliyi ilə məhdudlaşmır. Bu materiallar eyni zamanda çoxfunksiyalı sistemlərin yaradılmasına imkan verir. Məsələn, bəzi nanomateriallar həm mexaniki daşıyıcı element, həm də istilik keçirici və ya enerji ötürücü funksiyanı eyni anda yerinə yetirə bilir. Bu isə kosmik modulların ümumi sistem effektivliyini artırır.

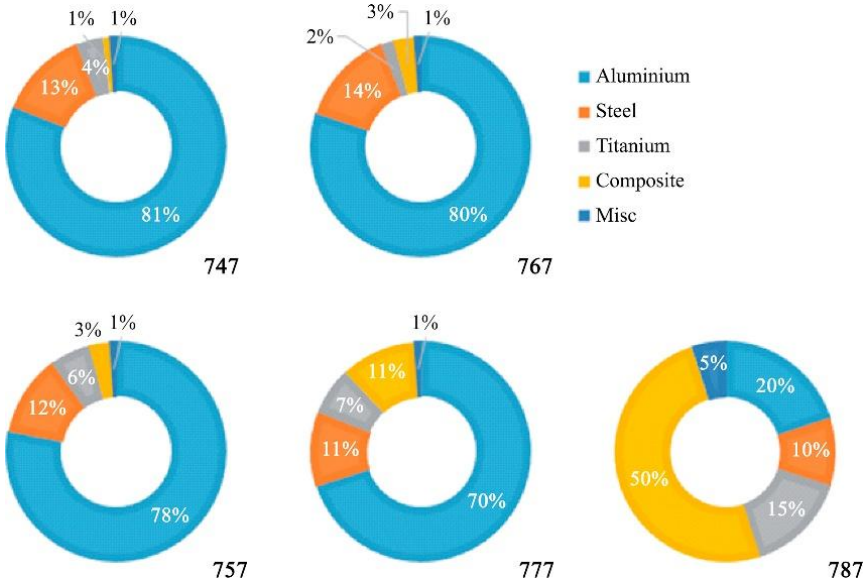
“Voyager H3yb3t” layihəsində nanomaterialların tətbiqi struktur optimallaşdırma prinsipi ilə əlaqələndirilir. Seçilmiş həndəsi formalar (kürə, silindr və torus) daxili təzyiq altında minimal səthi gərilmə yaratmağa yönəldildiyi halda, nanomaterialların istifadəsi bu strukturların daha nazik divar qalınlığı ilə eyni möhkəmliyi təmin etməsinə imkan verir. Bu isə həm material sərfiyyatının azalmasına, həm də kosmik obyektin ümumi kütləsinin minimuma endirilməsinə səbəb olur. Bundan əlavə, nanomaterialların tətbiqi radiasiya qorunması və termal balans sistemləri ilə inteqrasiya edilə bilər. Bu yanaşma kosmik yaşayış modullarının yalnız struktur baxımından deyil, həm də mühitə adaptasiya baxımından daha effektiv olmasını təmin edir. Beləliklə, nanomaterialların kosmik memarlıqda tətbiqi struktur möhkəmliyi, enerji effektivliyi və mühitə uyğunlaşma kimi əsas parametrlərin optimallaşdırılmasına xidmət edir və bu yanaşma gələcək kosmik yaşayış sistemlərinin formalaşmasında mühüm rol oynayır.

I. Yüngül materiallar

Aerokosmik materialların seçilməsi aerokosmik komponent və sistem dizayn dövrlərində həyati əhəmiyyət daşıyır. Bu, dizayn mərhələsindən utilizasiyaya qədər təyyarənin performansının bir çox aspektlərinə təsir edir, o cümlədən struktur səmərəliliyi, uçuş performansı, yük daşıma yükü, enerji sərfiyyatı, təhlükəsizlik və etibarlılıq, həyat dövrü dəyəri, təkrar emal və atılılıq Aerokosmik struktur materiallarının kritik tələblərinə mexaniki, fiziki və kimyəvi xüsusiyyətlər daxildir, məsələn, yüksək möhkəmlik, sərtlik, yorğunluğa davamlılıq, zədələnməyə davamlılıq; aşağı sıxlıq, yüksək istilik sabitliyi; yüksək korroziya və oksidləşmə müqaviməti, eləcə də xərclər, xidmət və istehsal imkanları kimi kommersiya meyarları .Əsas xidmət tələblərinin qarşılanmasından əlavə, aerokosmik struktur dizaynında struktur səmərəliliyinin artırılması getdikcə daha vacib olur, çünki yüngül strukturların tətbiqi təyyarənin performansına fayda gətirir, məsələn, enerji səmərəliliyi, sürətlənmə performansı, yük yükü, uçuş davamlılığı və həyat dövrü xərclərinin və istixana qazı emissiyalarının azalması. Əvvəlki tədqiqatlar göstərmişdir ki, struktur səmərəliliyini artırmağın ən effektiv yolu sıxlığı azaltmaqdır (sərtlik və möhkəmlik artırmaqla müqayisədə təxminən 3-5 dəfə daha effektiv), yəni yüngül materiallardan istifadə [2].

II. Ən çox istifadə olunan kommersiya aerokosmik struktur materialları

Alüminium ərintiləri, titan ərintiləri, yüksək möhkəmlikli poladlar və kompozitlərdir və ümumiyyətlə gövdələrin çəkisinin 90%-dən çoxunu təşkil edir . 1920-ci illərdən əsrin sonuna qədər, yüksək möhkəmliyi və sərtliyi sayəsində, xüsusilə alüminium ərintisi, təyyarə çərçivəsinin istehsalında əsas material olmuş, təhlükəsizlik və digər uçuş performansı ölçüləri təyyarə dizayn qərarlarında əsas rol oynamışdır. Yüngül alüminium ərintiləri aparıcı aviasiya struktur materialları idi (2000-ci ildən əvvəl mülki təyyarələrin ən çox gövdəsinin çəkisinin 70%—80%- ni təşkil edirdi və hələ də mühüm rol oynayır. 1960-cı illərin ortalarından 1970-ci illərdən etibarən yüksək performanslı kompozitlərin inkişafı səbəbindən aerokosmik strukturlarda istifadə olunan kompozitlərin payı artıb. Bəzi fərqli Boeing məhsullarının materiallarının paylanmasını göstərir [4]. Şəkil 1.



Şəkil 1. Boeing materiallarının paylanması diaqram

2.1. Aerokosmik metallar

2.1.1. Alüminium ərintiləri

Karbon lifləri kimi yüksək performanslı kompozitlər artan maraq görsə də, alüminium ərintiləri hələ də aerokosmik struktur çəkisinin əhəmiyyətli hissəsini təşkil edir, bu da bəzi tipik Boeing təyyarələri üçün materialların paylanması nümunələrində göstərildiyi kimi (Şəkil 1)-də göstərildiyi kimi. Nisbətən yüksək xüsusi möhkəmlik və sərtlik, yaxşı süviklik və korroziyaya davamlılıq, aşağı qiymət və yüksək istehsal qabiliyyəti və etibarlılığı qabaqcıl alüminium ərintilərini bir çox aerokosmik struktur tətbiqlərində, məsələn, gövdə dərisi, yuxarı və aşağı qanad örtükləri, qanad stringerləri və s. üçün yüngül materiallar arasında populyar edir. İstilik emalı texnologiyasının inkişafı yüksək möhkəmlikli alüminium ərintiləri təmin edir ki, bu da bir çox aerokosmik tətbiqlərdə qabaqcıl kompozitlərlə rəqabət aparmağa davam edir. Alüminium

ərintiləri tərkiblərin tənzimlənməsi və istilik emalı metodları vasitəsilə müxtəlif tətbiq tələblərinə cavab verən geniş çeşiddə material xüsusiyyətləri təqdim edə bilər. Aerokosmik sənayedə ən geniş istifadə olunan alüminium ərintiləri Al-Cu ərintiləri (2xxx seriyası), Al-Zn ərintiləri və Al-Li ərintiləridir.

2.1.2.Titan ərintiləri

Titan ərintilərinin digər metallara nisbətən bir çox üstünlükləri var, məsələn, yüksək spesifik möhkəmlik (məsələn, Beta C titan ərintisinin xüsusi möhkəmliyi, təxminən 260 kN·m/kg, CoMo polad 4130-dan təxminən üç dəfə və yüksək möhkəmlikli alüminium ərintisi 7075-T6-dan 1.27 dəfə çoxdur), yüksək sərtlik, yaxşı qırılma möhkəmliyi və yorulmaya davamlılıq, həmçinin çox yaxşı korroziyaya davamlılıq, istilik müqaviməti, kriogen kövrəkləşmə müqaviməti və aşağı termal genişlənmə (Ti-6Al-4V-nin material xüsusiyyətləri haqqında məlumat (Cədvəl 1)-də tapıla bilər). Bu üstünlüklər titan ərintilərini polad və alüminium ərintilərinə hava çərçivəsi və mühərrik tətbiqlərində əla alternativ edir. Lakin zəif istehsal qabiliyyəti və yüksək qiyməti (adətən kommersiya Al ərintilərindən təxminən 8 dəfə baha) titan ərintilərinin geniş istifadə olunmasına səbəb olur. Buna görə də, titan ərintiləri yüksək möhkəmlik tələb olunan, lakin məhdud yer olan yerlərdə və yüksək korroziyaya davamlılıq tələb olunan yerlərdə istifadə olunur. Hazırda aerokosmik sənayedə titan ərintilərinin tətbiqləri əsasən gövdə və mühərrik komponentlərindədir (ümumilikdə müvafiq olaraq çəkinin 7% və 36%-ni təşkil edir [4].

2.1.3. Yüksək möhkəmlikli polad

Polad bir çox sənaye tətbiqlərində ən çox istifadə olunan struktur materialdır, çünki yaxşı istehsal imkanları və əlçatanlığı, yüksək möhkəmlikli poladlar şəklində son dərəcə yüksək möhkəmlik və sərtlik, yüksək temperaturda yaxşı ölçü xüsusiyyətləri və kommersiya aerokosmik materialları arasında ən aşağı qiymətə malikdir. Lakin yüksək sıxlıq və digər çatışmazlıqlar, məsələn, korroziyaya və kövrəkliyə nisbətən yüksək həssaslıq, yüksək möhkəmlikli poladların aerokosmik komponentlərdə və sistemlərdə tətbiqini məhdudlaşdırır. Poladlar adətən kommersiya təyyarələrinin struktur çəkisinin təxminən 5%-dən 15%-ə qədərini təşkil edir və bu faiz davamlı olaraq azalır. Məhdudiyyətlərə baxmayaraq, yüksək möhkəmlikli poladlar hələ də yüksək möhkəmlik və sərtlik tələb olunan təhlükəsizlik üçün kritik komponentlər üçün seçimdir. Aerokosmik sahədə yüksək möhkəmlikli poladın əsas tətbiqləri dişlilər, rulmanlar və şassi tətbiqləridir . [2].

2.2. Aerokosmik kompozitlər

Liflə gücləndirilmiş polimer və fiber metal laminatlar (FML) kimi yüksək performanslı kompozitlər aerokosmik tətbiqlərdə daha çox diqqət çəkir və alüminium ərintiləri kimi əsas yüngül aerokosmik materiallarla rəqabət aparır. Ümumilikdə, aerokosmik kompozitlər orta temperaturda (təxminən −150-200 °C) əksər metallardan daha yüksək xüsusi möhkəmlik və xüsusi sərtliyə malikdirlər. Kommersiya karbonla gücləndirilmiş polimerin mexaniki xüsusiyyətləri Cədvəl 1-də tapıla bilər. Kompozitlərin digər üstünlüklərinə yorğunluğa davamlılığı, korroziya və rütubətə davamlılığı, eləcə də lay-up-ları optimal möhkəmlik və sərtlik üçün tələb olunan istiqamətlərə uyğunlaşdırmaq imkanı daxildir. Lakin kompozitlərin metallarla müqayisədə daha yüksək qiyməti kompozitlərin tətbiqi üçün əsas maneələrdən biridir.

Cədvəl 1. [6]. Kompozitlərin metallarla müqayisəsi.

Material sinfi	Nümunə	Dartılma gücü / MPa	Elastik modul/GPa	Sıxlıq/10^3(kq/m^3)	Xüsusi güc /(kN·m/kg)	Xüsusi sərtlik /10^{-3}(GPa·m^3/kg)
Al ərintiləri	AA2024-T3	483	73.1	2.78	173.7	26.3
	AA7075-T6	572	71.7	2.81	203.6	25.5
Ti ərintiləri	Ti-6Al-4V	1170	114	4.43	264.1	25.7
Poladlar	AISI 4130	703	193	7.86	89.4	24.6
Kompozitlər	CFRP	1500	135	1.6	937.5	83.75
	PARILTI	1214	66	2.52	481.7	26.2

Karbon lifli gücləndirilmiş polimer (CFRP), alüminium ərintilərindən başqa ən geniş istifadə olunan aerokosmik struktur materialıdır, əsas tətbiqlər qanad qutusunun struktur komponentləri, empennaj və gövdə, eləcə də idarəetmə səthləri (məsələn, sükan, elevator və aileronlar) kimi istifadə olunur. Şüşə liflə gücləndirilmiş polimer (GFRP) radomlarda və yarımstruktur komponentlərdə, məsələn, örtüklərdə istifadə olunur. Aramid lifli polimerlər yüksək zərbə müqaviməti tələb olunan yerlərdə istifadə olunur. Lif metal laminatlar (FML), xüsusilə şüşə lifli möhkəmləndirilmiş alüminium (GLARE), aerokosmik sənayedə (xüsusilə Airbus A380-də) tətbiqi olan digər kompozit növləridir, çünki monolit metallarla müqayisədə daha az sıxlıq, yüksək möhkəmlik, sərtlik və yorğunluğa davamlılıq kimi təkmilləşdirilmiş mexaniki xüsusiyyətlərə malikdir. GLARE-nin əsas tətbiqləri gövdə dəri və empennage-dir. [5- 7].

Nanotexnologiyanın inkişafı nanosəviyyədə çoxfunksiyalı xüsusiyyətlərin (fiziki, kimyəvi, mexaniki xüsusiyyətlər və s.) təkmilləşdirilməsi üçün imkan yaradır. Ənənəvi kompozitlərdən fərqli olaraq, nanokompozitlər sıxlıq artımından çox güzəşt etmədən, yalnız az miqdarda nanohissəcik əlavə etməklə (məsələn, qatlı silikat, funksionallaşdırılmış karbon nanotubları (CNT) və qrafit qırıntıları və s.) əlavə etməklə xüsusiyyətləri yaxşılaşdırmaq imkanı təqdim edir. Məsələn, kompozitlərin oksidləşmə müqavimətini artırmaq üçün nanohissəciklər, məsələn, silikat, CNT-lər, polihedral oligomerik silseskioksan (POSS) daxil edilə bilər ki, bunlar passivasiya qatları yarada bilər. Kompozit matrisə CNT-lər, silisium və qatlı silikatın əlavə olunması struktur sıradan çıxanda enerji itkisini təşviq edə bilər, beləliklə kompozitin möhkəmliyini artırır və yüksək zədəyə davamlı strukturlara tətbiq oluna bilər. Yüksək moduldan əlavə, davamlı CNT kimi yüksək möhkəmlikli nanohissəciklər (elastik modulu təxminən 1000 GPa) kompozitin sərtliyini və möhkəmliyini artıra bilər. Kompozitin istilik genişlənmə əmsalının azaldılması aşağı genişlənmə əmsalları və yaxşı matris bağlayıcı nanofillerlər, o cümlədən CNT-lər, karbon nanolifləri (CTF) və silikatı rezin matrisinə daxil etməklə əldə edilə bilər . Xülasə olaraq, nanokompozitlərin inkişafı ehtiyatlılığın aradan qaldırılması və çəkisinin azaldılması imkanı yaradır ki, bu da xüsusilə yüngül çəkidə aerokosmik komponentlərin xüsusiyyətlərinin təşviqində əhəmiyyətli potensial yaradır.

Forma yaddaşlı polimer kompozitləri (SMPC) temperaturun dəyişməsi, elektrik və ya maqnit sahəsi, müəyyən işıq dalğa uzunluqları və s. kimi müəyyən stimullar nəticəsində formalarını dəyişə bilən ağıllı materiallardır və materialda saxlanılan viskoelastik deformasiya nəticəsində yaranan daxili gərginliyi (viskoelastik deformasiya nəticəsində yaranan) sərbəst buraxırlar. SMPC-lərin aerokosmik komponentlər və sistemlərdə tətbiqlərinə morfinq qanadlı təyyarələrin qanad dərisi, peyklərin günəş panelləri və reflektor antenaları daxildir. SMPC-lərin form yaddaş ərintilərinə nisbətən üstünlükləri aşağı sıxlıq, daha yüksək forma deformasiyası və bərpa olunma qabiliyyəti, daha yaxşı emal və daha aşağı nisbətən aşağı xərcdir [5- 7].

Öz-özünü sağalan kompozitlər kompozit materialların zədələnməyə davamlılığını artırmaq üçün polimer matrisində mikrokapsullaşdırma sistemi və ya mikrovaskulyar şəbəkədə mozaikaya yerləşdirilmiş şəfa agentləri daxil etməklə inkişaf etdirilmişdir . Öz-özünə sağalma mexanizmi mikro-çatların mikrokapsullar və ya mikrovaskulyar sistem vasitəsilə yayılması ilə işə düşür, sağalma agentləri kapillyar təsiri ilə mikro-çatların yerlərinə buraxılır, bundan sonra mikro-çatlar polimerləşmiş sağalma agentləri ilə birləşir. Özünü sağaltma mexanizminin tətbiqi kompozitlərin (CFRP, nanokompozitlər və s. daxil olmaqla) zərər dözümlülüyünü və ömrünü artıra bilər.

2.3 Nanomaterial növləri və kosmik memarlıqda tətbiqi

Kosmik memarlıqda istifadə olunan nanomateriallar yüksək möhkəmlik, aşağı kütlə və ekstremal mühitə uyğunlaşma xüsusiyyətlərinə görə seçilir. Müasir tədqiqatlarda bir neçə əsas nanomaterial qrupu fərqləndirilir və bu materiallar kosmik konstruksiyalarda müxtəlif funksional məqsədlərlə tətbiq olunur.

1. Karbon əsaslı nanomateriallar

Bu sahədə ən geniş istifadə olunan materiallar hesab edilir. Xüsusilə karbon nanotublar (CNT – Carbon Nanotubes) yüksək dartılma möhkəmliyi və elastiklik modulu ilə seçilir. Bu materiallar klassik metallarla müqayisədə daha yüngül olmaqla yanaşı, daha yüksək yükdaşıma qabiliyyətinə malikdir. Bu xüsusiyyət onları kosmik modulların nazik qabıq strukturlarında istifadə üçün ideal edir.

2. Qrafen (Graphene)

Kosmik mühəndislikdə perspektivli materiallardan biri hesab olunur. Qrafen atom səviyyəsində təşkil olunmuş ikiölçülü karbon strukturu olmaqla yüksək istilik keçiriciliyi və elektrik keçiriciliyi ilə fərqlənir. Bu xüsusiyyətlər qrafeni həm struktur material, həm də enerji və istilik idarəetmə sistemlərində istifadə üçün uyğun edir . Nanokompozit materiallar isə müxtəlif materialların nano səviyyədə birləşdirilməsi ilə

əldə edilir və onların əsas üstünlüyü çoxfunksiyalı davranış göstərməsidir. Məsələn, karbon nanotub əsaslı kompozitlər həm mexaniki möhkəmlik, həm də radiasiya müqaviməti təmin edə bilir. Bu isə kosmik mühitdə struktur və qoruyucu funksiyaların birləşdirilməsinə imkan yaradır.

3. Metal əsaslı nanomateriallar

Xüsusilə nanostrukturlu alüminium və titan ərintiləri, kosmik konstruksiyalarda geniş istifadə olunur. Bu materiallar yüksək temperatur və radiasiya şəraitində daha stabil davranış nümayiş etdirir və strukturun uzunmüddətli dayanıqlığını təmin edir. Kosmik mühitdə materialların davranışı ilə bağlı aparılan tədqiqatlarda NASA tərəfindən karbon nanotublar və nanokompozit materialların kosmik tətbiqləri üzərində geniş araşdırmalar aparılmışdır.

Bir-birinə bağlı, uzun formatlı nanotube dəstələrindən ibarət olan Miralon vərəqlər, iplik, lent və dispersiya məhsulları şəklində istehsal olunur. O, son dərəcə yüngül, möhkəm, yumşaq və elektrik keçiricisidir və bir neçə material formatı və tətbiqləri arasında istilik daşınmasını mümkün edir.

Texnologiya nümayişlərinə aşağıdakılar daxildir:

- Növbəti nəsil iplik istehsalı
- Miralon kosmos, təyyarə və avtomobil tətbiqləri üçün istilik qalxanı kimi
- Vərəq və iplik məhsulu istehsal edən sobalar
- Miralon isidilən mebel və avadanlıqlar
- İşıqlandırma üçün tel kimi Miralon ipliyi

C formasında molekulyar karbon strukturlarının sintezi və digər fullerenlər qrafik karbon təbəqələrinə əlçatan olan strukturlara böyük maraq doğurmuşdur. Burada iynəvari borulardan ibarət yeni tip sonlu karbon strukturunun hazırlanmasını təqdim edirəm. Fulleren sintezi üçün istifadə olunan oxşar oxşar arc-discharge buxarlanma üsulu ilə istehsal olunan iynələr, ark boşalması üçün istifadə olunan elektrodun mənfi ucunda böyüyür. Elektron mikroskopiyası göstərir ki, hər iynə 2-dən təxminən 50-yə qədər olan koaksial qrafit təbəqə borularından ibarətdir. Hər borunun üzərində karbon-atom altıbucaqları iynə oxu ətrafında spiral şəklində düzülüb. Spiral pitch iynədən iynəyə və borudan boruya bir iynə daxilində dəyişir. Görünür, bu spiral quruluş böyümə prosesinə kömək edə bilər. Bu iynələrin formalaşması, diametri bir neçə ilə bir neçə on nanometr arasında dəyişir və bu, karbon strukturlarının mühəndisliyinin fullerenlərə aid olanlardan xeyli böyük miqyaslarda mümkün olduğunu göstərir.

Metal nanomateriallar, xüsusilə alüminium ərintiləri, bir əsrdən çoxdur ki, əsas aerokosmik materiallar olub və hələ də gövdə materiallarının əsas hissəsini təşkil edir. Metal nanomaterialların struktur nanomaterialları kimi bir çox üstünlükləri var, məsələn, nisbətən yüksək möhkəmlik və sərtlik, yaxşı zədələnməyə dözümlülüyü və qırılma müqaviməti, həmçinin yaxşı istehsal qabiliyyəti və s. Yaxşı inkişaf etmiş metal emalı texnologiyaları və xammalın mövcudluğu nisbətən aşağı xərc gətirir.

Yeni istilik emalı və metal emalı metodları ilə aerokosmik komponentlərin və sistemlərin yüngül optimallaşdırılması üçün yeni Al-Li ərintiləri və γ-TiAl ərintiləri kimi qabaqcıl yüngül metallar mövcuddur. Kompozitlər getdikcə rəqabətli olur və aerokosmik tətbiqlərdə metal nanomaterialların üstünlüyünü çətinləşdirir. Daha yüksək xüsusi möhkəmlik və sərtlik kompozitləri yüngül dizayn baxımından bir çox metaldan daha yaxşı seçim edir. CFRP-lər aerokosmik tətbiqlərdə ən geniş istifadə olunan kompozit materiallardır, alüminium ərintilərindən üç dəfə çox sərtlik və beş dəfədən çox xüsusi möhkəmliyə malikdirlər. Nanokompozitlərin xüsusiyyətləri ənənəvi materiallarla müqayisədə xeyli yaxşıdır. Lakin, metallarla müqayisədə daha yüksək xərc və zəif istehsal imkanları kompozitlərin geniş tətbiqini məhdudlaşdırır.

NASA-nın Advanced Materials proqramı çərçivəsində bu materialların həm struktur möhkəmliyi, həm də radiasiya qorunması baxımından effektivliyi öyrənilmişdir. NASA tərəfindən aparılan tədqiqatlara əsasən nanomateriallar kosmik mühitdə aşağı kütlə ilə yüksək möhkəmlik təmin etməklə yanaşı, temperatur dəyişikliklərinə və vakum şəraitinə daha yaxşı uyğunlaşır. Bu materialların istifadəsi kosmik aparatların ümumi kütləsini azaltmaqla buraxılış xərclərini də azalda bilər. Bundan əlavə, nanomateriallar radiasiya qorunması sistemlərində də istifadə olunur.

Karbon əsaslı materialların yüksək enerji hissəciklərini udma qabiliyyəti onların kosmik radiasiyaya qarşı effektiv qoruyucu material kimi istifadə olunmasına imkan yaradır. (NASA Space Radiation Shielding Research)

Beləliklə “Voyager h3yb3t” layihəsində nanomaterialların tətbiqi struktur optimallaşdırma prinsipi ilə birbaşa əlaqələndirilir. Seçilmiş həndəsi formalar daxili təzyiq altında minimal səthi gərilmə yaratmağa yönəldildiyi halda, nanomaterialların istifadəsi bu strukturların daha nazik və yüngül konstruksiya ilə eyni

möhkəmliyi təmin etməsinə imkan verir. Bu isə kosmik otel sisteminin həm mexaniki dayanıqlığını, həm də enerji səmərəliliyini artırır. Bununla belə, nanomaterialların kosmik memarlıqda tətbiqi yalnız material seçimi deyil, həm də struktur optimallaşdırma və enerji balansının təmin olunması baxımından strateji əhəmiyyət kəsb edir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Gibson, R. F. (2010). A review of recent research on mechanics of nanocomposites. *Composite Structures, 92*(12), 2793–2810.
2. A.P. Mouritz, Introduction to Aerospace Materials, Else vier, Cambridge, UK, 2012.
3. NASA. (2015). *Nanotechnology in Space Exploration*.
4. H.M. Flower, High Performance Materials in Aerospace, Springer Science & Business Media, 2012.
5. Fiber metal laminatlar: gələcək təyyarələr üçün qabaqcıl material J. Mater. Proses. Technol., 63 (1) (1997), s. 384-394
6. Aerokosmik tətbiqlər üçün çoxfunksiyalı nanokompozit strukturlarda çətinliklər və imkanlar MRS Bull., 32 (4) (2011), səh. 328-334
7. Karbon nanotub əsaslı liflər və kompozitlərin elmi və texnologiyasının qiymətləndirilməsi Kompos. Sci. Technol., 70 (1) (2010), s. 1-19
8. European Space Agency. (2020). *Advanced Materials for Space Applications*.
9. National Research Council. (2011). *Nanotechnology for the Intelligence Community*. National Academies Press.
10. NASA. (2015). *Nanotechnology in space exploration*. https://www.nasa.gov/nanotechnology
11. Iijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature, 354*, 56–58.

SƏNAYE MÜƏSSİSƏLƏRİNİN ŞƏHƏR PLANLAŞDIRILMASINA TƏSİRİ

Nigar Səlimova
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat fakültəsi
Xırdalan, Azərbaycan
nsalimova@beu.edu.az

Namiq Abbasov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat fakültəsi
Xırdalan, Azərbaycan
nabbasov1@beu.edu.az

Xülasə: Tədqiqatda sənaye müəssisələri ilə yaşayış zonaları arasındakı balans müzakirə edilmişdir. Bu prosesdə Sumqayıt şəhəri Hacı Zeynəlabdin qəsəbəsinin mövcud vəziyyəti tədqiq edilərək problemlərin həlli irəli sürülmüşdür. Burada torpaq bölgüsünün hansı istiqamətdə paylandığı və qəsəbənin əhalinin əlçatanlığı üçün nəzərdə tutulmuş kotec funksiyasının nə dərəcədə sistemli qurulduğu GİS analizi vasitəsilə təsdiq edilmişdir. Əhalinin şəhərə miqrasiyasının səbəbləri olaraq, məşğulluq səviyyəsi, ekoloji problemlər, nəqliyyat infrastrukturu, şəhərin planlaşdırılması zamanı zonalara düşən nisbətin hesablanması və müəssisə ilə yaşayış zonası arasındakı məsafənin əhəmiyyəti vurğulanır. Bu, onu əsaslandırmır ki, insanlar sənaye zonaları ilə birgə yaşaya bilməz; əksinə, bu vəziyyəti həm iqtisadi, həm də sosial baxımdan üstünlüyə çevirmək mümkündür. Çünki sənayeləşmə bir şəhərin inkişafı üçün vacib amillərdən hesab olunur və bu

irsin qorunub saxlanması insanların əlindədir. Xüsusilə tədqiqat zamanı yaşıllığın ön planda olması vurğulanır, çünki sənaye müəssisələrinin buraxdığı zəhərli tüstülərin və səs-küyün qarşısını almaq üçün bu tədbirlər görülməlidir. Araşdırmalara əsasən, Hacı Zeynalabdin qəsəbəsində yaşıllıq səviyyəsinin çox aşağı olduğu və ildən-ilə bu vəziyyətin pisləşdiyi müəyyən edilmişdir. Yaşıllığın nisbəti 20–40% nəzərdə tutulursa, sənaye bölgəsini əhatə edən zonalarda bu prinsip, açıq-aydın şəkildə təsvir olunmalıdır.
Açar sözlər: *Sənaye müəssisələri, yaşayış zonaları, şəhər planlaşdırılması, ekoloji problemlər, yaşıllıq sahələri*

GİRİŞ

Sənaye müəssisələrinin olduğu şəhərlərin yaranmasının ilkin addımları fabriklərin qurulması, əhalinin buraya cəlb edilməsi və miqrasiyası ilə yanaşı, məşğulluq fəaliyyətlərinin davam etdirilməsi ilə başlayır. Buradan belə nəticə çıxarmaq olur ki, şəhərin planlaşdırılmasına sənaye müəssisələri təkan verir, çünki insanlar iş ilə təmin olunarsa, məskunlaşma daha sürətli baş verir. Beləliklə, yaşayış, inzibati, ictimai və kommersiya zonaları meydana gəlir. Bu gün inkişaf etmiş ölkə olmağın meyarlarından biri də planlı sənayeləşmə və planlaşdırılmış urbanizasiya hesab olunur. [1]

Məlumdur ki, Sumqayıt XX əsrin ortalarından başlayaraq respublikanın sənaye mərkəzinə çevrilmiş və müxtəlif sahələrdə iri müəssisələrin fəaliyyət göstərdiyi bir şəhər olmuşdur. Şəhərin formalaşması əsasən 1945–1980-ci illərdə, Sovet İttifaqı dövründə həyata keçirilən geniş sənayeləşmə siyasəti ilə bağlı olmuşdur. Bu dövrdə yeni sənaye müəssisələrinin yaradılması əhalinin şəhərə miqrasiyasını sürətləndirmiş, urbanizasiya prosesinin güclənməsinə və sosial-iqtisadi imkanların genişlənməsinə səbəb olmuşdur. Bu proses, XX əsrin əvvəllərində Sumqayıt şəhərindən 10 km aralı Xəzər dənizi sahilində salınan Hacı Zeynalabdin qəsəbəsinin (keçmiş adı "Nasoslu" qəsəbəsi) inkişafına təsir etmişdir (Şəkil 1). Bu qəsəbədə əsasən yaxınlıqda yerləşən sənaye müəssisələrində çalışan insanlar yaşayır. Burada məktəblər, uşaq bağçaları, tibb məntəqələri və ticarət obyektləri fəaliyyət göstərir.



Şəkil 1.Sumqayıt şəhəri Hacı Zeynəlabdin Tağıyev qəsəbəsi

Son illərdə infrastruktur yenilənməsi və kommunal xidmətlərin yaxşılaşdırılması istiqamətində layihələr həyata keçirilir. [4] Hacı Zeynalabdin qəsəbəsində yaşayan əhalinin illər üzrə statistikası Cədvəl 1-də verilmişdir

Cədvəl 1

Siyahıyaalınma ili və müvafiq sayımların yekunlarına əsasən Hacı Zeynalabdin qəsəbəsində əhalinin sayı							
illər	1959	1970	1979	1989	2007	2009	2024
say	5389	6759	8634	16 371	19 500	20 674	40000

MÖVZUNUN AKTUALLIĞI

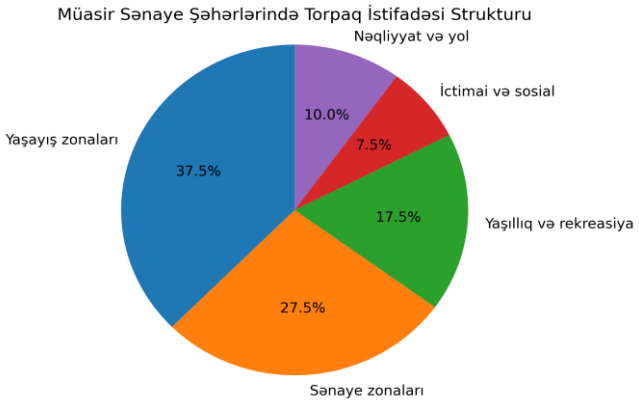
Şəhərsalma baxımından sənaye müəssisələrinin yerləşdirilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu prosesdə ərazinin coğrafi mövqeyi, nəqliyyat və logistika imkanları, xammal mənbələrinə və bazarlara yaxınlıq, eləcə də mühəndis-kommunikasiya infrastrukturu kimi amillər əsas rol oynayır. Düzgün planlaşdırılmış sənaye zonaları şəhərin funksional strukturunun balanslı inkişafına, nəqliyyat əlaqələrinin optimallaşdırılmasına və istehsal proseslərinin daha səmərəli təşkilinə şərait yaradır.

Mövzunun aktuallığını şərtləndirən əsas amillərdən biri tədqiqat ərazisi kimi Hacı Zeynalabdin Tağıyev qəsəbəsi və ətrafında yerləşən sənaye müəssələri ilə əlaqəsidir. Qəsəbənin daxilində sənaye obyektləri

mövcud olmasa da, bu qəsəbə yaxınlıqdakı sənaye müəssələrində çalışan işçilər üçün nəzərdə tutulub. Bu yanaşma onu sübut edir ki, sənaye obyektləri ilkin olaraq fəaliyyət göstərdikləri əraziyə adaptasiya olunur. Zaman keçdikcə işçilərin sayının artması ilə əlaqədar olaraq, məşğulluğa uyğun insanlar həmin ərazilərdə məskunlaşmağa başlayır. Beləliklə, məşğulluğun inkişafı fonunda sənaye obyektlərinin ətrafında yeni bir sosial-mədəni mühit formalaşır. Bu xüsusiyyətlər qəsəbəni sənaye–yaşayış qarşılıqlı təsirinin və onun yaratdığı ekoloji, sosial və məkan problemlərinin öyrənilməsi baxımından aktual nümunə kimi səciyyələndirir. Bu səbəbdən sənaye sahələrinin formalaşdırılması və yerləşdirilməsi şəhərsalma siyasətində strateji məsələlərdən biri hesab olunur və onların planlaşdırılması zamanı həm iqtisadi, həm də məkan amilləri kompleks şəkildə nəzərə alınmalıdır.

Sənaye müəssisələrinə yanaşma yalnız iqtisadi baxımdan qiymətləndirilməməlidir. Bu müəssisələr fəaliyyət göstərdikləri ərazilərdə insanların həyat tərzinə, sosial münasibətlərinə və ümumilikdə mədəni mühitə də ciddi təsir göstərir. Xüsusilə sənaye zonalarının formalaşması və ya transformasiyası zamanı baş verən miqrasiya prosesləri insanların əvvəlki həyat tərzində müəyyən dəyişikliklər yaradır. Bu səbəbdən məsələyə sosial-psixoloji aspektdən yanaşmaq mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Şəhər planlaşdırılması prosesində insanların miqrasiyadan əvvəlki həyat şəraiti, sosial münasibətləri və gündəlik fəaliyyətləri nəzərə alınmalı, yeni mühitdə onların bu həyat tərzinə uyğunlaşmasını təmin edən urbanistik həllər tətbiq edilməlidir. Bu baxımdan sənaye ərazilərinin planlaşdırılması və yenidən təşkili zamanı yalnız iqtisadi səmərəlilik deyil, həm də insanların sosial rifahı və mədəni həyatına təsirin nəzərə alınması mövzunun aktuallığını daha da artırır.

Şəhər planlaşdırılması zamanı diqqət yetirilməli əsas məsələlərdən biri də hər bir funksional zonaya ayrılan torpaq sahəsinin düzgün nisbətdə müəyyən edilməsidir [2]. Bu bölgü düzgün həyata keçirildikdə əhalinin məskunlaşma prosesi daha səmərəli və rahat şəkildə formalaşır (Şəkil 2).



Şəkil 2. Müasir Sənaye şəhərlərində torpağ istifadəsi strukturu

Bu səbəbdən şəhərin planlaşdırılması prosesində nəzərə alınmalı müəyyən amillər mövcuddur və həmin amillər şəhərsalma zamanı zonalaşmanın formalaşmasına birbaşa təsir göstərir.

Müzakirə olunan əsas məsələlərdən biri sənaye müəssisələri ilə yaşayış zonaları arasındakı məsafənin düzgün müəyyən edilməsidir. Bu məsələ həm üstünlüklər, həm də müəyyən mənfi tərəflər yaradır. Sənaye obyektlərinin magistral yollara yaxın yerləşdirilməsi logistika baxımından əlverişli hesab olunur və istehsal prosesinin səmərəliliyini artırır. Şəhərlərin bəzən plansız və ya qeyri-sistemli inkişafı nəticəsində bu müəssisələr yaşayış zonalarına həddindən artıq yaxın yerləşdirilə bilər ki, bu da ekoloji və sosial problemlərə səbəb olur.

Bir tərəfdən, sənaye obyektlərinin yaşayış sahələrinə nisbətən yaxın yerləşməsi həmin müəssisələrdə çalışan insanlar üçün əlçatanlığı artırır, gündəlik nəqliyyat yükünü azaldır və xüsusilə aztəminatlı ailələr üçün iqtisadi baxımdan müəyyən üstünlüklər yaradır. Digər tərəfdən, iri sənaye kompleksləri və ağır sənaye obyektləri şəhər siluetinə mənfi təsir göstərə, memarlıq baxımından uyğun olmayan həllərin tətbiqinə səbəb ola bilər və ekoloji problemlər yarada bilər.

Bu səbəbdən müasir şəhərsalma yanaşmalarında əsas məqsəd sənaye və yaşayış zonaları arasında balansın qorunması, həm funksional səmərəliliyin, həm də əhalinin rifahının təmin edilməsidir. Zəruri hallarda şəhər siluetinə və estetik meyarlara müəyyən kompromislərlə yanaşaraq insan amilinin prioritet hesab olunması daha məqsədəuyğun yanaşma kimi qiymətləndirilir.

Bu kimi hallarda şəhər planlaşdırılması prosesində bufer zonalarına kifayət qədər diqqət yetirilməməsi nəticəsində şəhərsalma baxımından disbalans yaranır.[3] Nəticədə əhalinin məskunlaşması çətinləşir və yaşayış mühitinin keyfiyyəti aşağı düşür. Sənaye təsirlərinin – xüsusilə ekoloji çirklənmə, səs-küy və sağlamlıq risklərinin – artması isə ərazinin cəlbediciliyini azaldaraq uzunmüddətli perspektivdə əhalinin qəsəbədən miqrasiyasına səbəb ola bilər.

TƏDQİQATIN MƏQSƏD VƏ VƏZİFƏLƏRİ

Tədqiqatın məqsədi seçilmiş ərazidə sənaye müəssisələri ilə yaşayış zonaları arasındakı əlaqəni yenidən nəzərdən keçirmək və mövcud təhlükə risklərini aradan qaldırmaqdır. Bu məqsədə çatmaq üçün iki əsas metod təklif olunur: torpaq istifadəsi strukturu analizi və yaşayış sahələri ilə sənaye obyektləri arasındakı məsafənin qiymətləndirilməsi.

Bu tədqiqatların rolu ərazinin mövcud vəziyyətini kompleks şəkildə təhlil etməkdən ibarətdir. Torpaq istifadəsi strukturu ərazidə mövcud olan yaşıllıq sahələrini, yaşayış zonalarını və su ehtiyatlarının vəziyyətini əks etdirərək ümumi funksional durumu göstərir və gələcək ehtiyacların müəyyən edilməsinə imkan yaradır. Digər tərəfdən, yaşayış sahələrinin sənaye zonalarına yaxınlığı və ya onların daxilində yerləşməsi əhalinin yaşayış keyfiyyətinə mənfi təsirin səviyyəsini müəyyən etməyə imkan verir.

METOD VƏ MƏLUMATLAR

Bu tədqiqat işi Esri platformasında Land use (torpağ) analizinin köməkliyi ilə yerinə yetirilmişdir. Araşdırma iki mərhələdən ibarətdir:

1. Araşdırma prosesində ilk olaraq peyk görüntüləri və mövcud kartoqrafik materiallar əsasında ərazinin torpaq istifadəsi strukturu müəyyən edilmişdir. Bu məqsədlə Land Use Change Analysis metodundan istifadə olunaraq torpaq istifadəsinin əsas kateqoriyaları müəyyən edilmişdir.[6] Bu kateqoriyalara yaşayış sahələri, sənaye zonaları, yaşıllıq və rekreasiya sahələri, ictimai obyektlər və digər torpaq istifadə formaları daxil edilmişdir. Müxtəlif dövrlərə aid məlumatların müqayisəsi nəticəsində ərazidə torpaq istifadəsinin payı və zamanla baş verən dəyişikliklər müəyyən edilmişdir.

Əldə edilən nəticələr əsasında hər bir torpaq istifadə növünün ümumi ərazi daxilində payı hesablanmış, cədvəl və qrafiklər vasitəsilə təqdim edilmişdir. Bu analiz qəsəbənin sənaye zonaları ilə məkan baxımından qarşılıqlı əlaqəsini və urban struktur daxilində mövcud funksional bölgünü müəyyən etməyə imkan vermişdir (Cədvəl 2).

Cədvəl 2.

Torpaq örtüyünün növü	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Su	44%	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%
Yayla yeri	28%	28%	27%	29%	29%	29%	28%	29%
Tikinti Sahəsi	24%	25%	26%	25%	25%	26%	26%	26%
Açıq torpaq səthi	5%	3%	2%	3%	2%	2%	2%	2%
Bitki	0%	0.50%	1%	0.10%	0%	0.20%	0.60%	0.20%
Ağaclar	0%	0%	0%	0%	0%	0.10%	0%	0%
Su basmış bitki örtüyü	0.10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Torpaq istifadə növlərinin payı (%), 2017–2024

2. Yaşayış zonası ilə sənaye obyektləri arasındakı əlaqəni müəyyən etmək üçün ilk olaraq sənaye obyektlərinin təhlükə sinfi təyin edilməlidir.[7] Bu mərhələ bufer zonanın (sanitariya-mühafizə zonasının) yerləşməsini və ölçüsünü müəyyən etməyə imkan verir. Təhlükə sinifləri beş əsas qrupa bölünür və aşağıda (Cədvəl 3)-də göstərildiyi kimi təsnif edilir.

Cədvəl 3.

Təhlükə sinfi	Təhlükə səviyyəsi	Obyekt tipi	Sanitariya-mühafizə zonası (m)
I	Çox yüksək	Böyük neft-kimya kompleksləri, metallurgiya zavodları	≥ 1000
II	Yüksək	Polietilen, polipropilen zavodları, neft emalı müəssisələri	500
III	Orta	Plastik emalı, maşınqayırma, istehsalat sexləri	300
IV	Aşağı	Kiçik istehsalat sahələri, anbarlar	100
V	Çox aşağı	Yüngül sənaye, kiçik emal və servis obyektləri	50

Sənaye obyektlərinin təhlükə sinifləri və sanitariya-mühafizə zonaları

Araşdırma Google Maps xəritəsi üzərində çevrə (radius) alətindən istifadə edilməklə aparılmışdır. Mövcud sənaye obyektlərinin tipi və təhlükə sinfi nəzərə alınaraq onlar üçün sanitariya-mühafizə zonaları müəyyən edilmiş, bu zonalar əsasında ərazi ətrafında yerləşən yaşayış sahələrinin yaxınlıq səviyyəsi qiymətləndirilmişdir. (Şəkil 3) Bu yanaşma sənaye obyektləri ilə yaşayış zonaları arasındakı məsafə və qarşılıqlı təsirin müəyyən olunmasına imkan vermişdir.



Şəkil 3. ALB Plastik müəssisəsinin sanitariya-mühafizə zonası və ətraf yaşayış sahələri

Seçilmiş sənaye müəssisəsi III təhlükə sinfinə aid edilir və orta riskli hesab olunur. Lakin obyektin yaşayış sahələri ilə iç-içə yerləşməsinə baxmayaraq, müvafiq sanitariya-mühafizə tədbirləri görülməmişdir.

NƏTİCƏ

Təqdim olunan göstəricilərin təhlili 2017–2024-cü illər ərzində ərazidə torpaq örtüyünün strukturunda müəyyən dəyişikliklərin baş verdiyini göstərir. Xüsusilə yaşıllıq elementlərinə daxil olan bitki və ağac örtüyünün payı olduqca aşağı səviyyədə qalmaqla yanaşı, illər üzrə qeyri-sabit və zəif dinamika nümayiş etdirir. Bitki örtüyü 2018-ci ildə 0.50%, 2019-cu ildə isə 1% səviyyəsinə qədər yüksəlsə də, sonrakı illərdə yenidən azalaraq 2024-cü ildə 0.20% təşkil etmişdir. Ağac örtüyü isə demək olar ki, bütün illər üzrə 0% səviyyəsində qalaraq ərazidə yaşıllıq komponentinin çox zəif olduğunu göstərir.

Əldə edilən digər nəticəyə görə, açıq torpaq səthinin və tikinti sahələrinin payının nisbətən sabit qalması, lakin yaşıllıq elementlərinin artmaması göstərir ki, ərazidə abadlaşdırma və yaşıllaşdırma tədbirləri sistemli şəkildə həyata keçirilmir. Bu hal xüsusilə diqqət çəkicidir, çünki tədqiq olunan ərazi sənaye müəssisələri ilə sıx əlaqədə yerləşir və belə ərazilərdə ekoloji tarazlığın qorunması üçün yaşıllaşdırma tədbirlərinin həyata keçirilməsi mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Beləliklə, aparılan analiz göstərir ki, illər ərzində yaşıllıq səviyyəsi ya artmamış, ya da zəif dinamika göstərmişdir. Buna baxmayaraq, sənaye təsirlərinin kompensasiyası məqsədilə ekoloji tədbirlərin, yaşıllaşdırma və landşaft abadlaşdırma işlərinin aparıldığı müşahidə olunmur. Bu isə ərazidə ekoloji davamlılıq baxımından müəyyən problemlərin mövcud olduğunu və gələcək planlaşdırmada yaşıllıq sahələrinin artırılması, ağaclandırma və landşaft bərpa tədbirlərinin nəzərə alınmasının zəruri olduğunu göstərir. Məlum olduğu kimi, əgər şəhər sənaye yönümlü qurulursa, ilkin mərhələdə sənaye müəssisələrinin yerləşmə sahələri müəyyən edilir, daha sonra isə ehtiyacdan irəli gələrək əhali həmin ərazilərdə məskunlaşır.

Beləliklə, tədqiqatın daha düzgün qiymətləndirilməsi üçün prosesi zaman baxımından geriyə doğru izlənərək, yaşayış sahələrinin plana daxil olması mərhələli şəkildə təhlil edilmişdir. Bu kontekstdə ətrafdakı ağac və yaşıllıq sahələrinin zamanla tikililərlə əvəz olunması müəyyən bir itki kimi qiymətləndirilir.

Sənaye müəssəsinin yaratdığı riski nəzərə alsaq, obyektdə ən yaxın məsafədə yerləşən yaşayış məntəqələrinin mərhələli şəkildə köçürülməsi və yerinə ekoloji mühafizə zonası kimi yaşıllığ zollaqlarının yaradılması təklif olunur.

ƏDƏBİYYAT
[1] Egitim.com, Sanayi Devrimi: Nedenleri ve Sonuçları (2025)
[2] Şahin, Sanayileşme ve Şehirleşme İlişkisi, LinkedIn.
[3] HelloLandMark. (2025). Explain buffer zone requirements around industrial sites.
[4] Wikipedia, Hacı Zeynalabdin qəsəbəsi
[5] Editorial. (n.d.). *Industrial urbanism: Exploring the city-production dynamic*. Alexandrine Press. Retrieved March 23, 2026
[6] Esri. (n.d.). Land cover (ArcGIS Living Atlas of the World). Retrieved April 1, 2026, from *https://livingatlas.arcgis.com/landcover/*
[7] SN 245-71. (1971). *Sanitary norms for the design of industrial enterprises.* Moscow: USSR State Committee for Construction.

DAYANIQLI İNKİŞAFDA ORQANİK MEMARLIĞIN ROLU

Xədicə Şəmsiyeva
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat fakültəsi
Xırdalan,Azərbaycan
xshemsiyeva1@std.beu.edu.az

Dosent Aytən Səlimova
Azərbaycan memarlıq və inşaat universiteti
Memarlıq və İnşaat fakültəsi
Xırdalan,Azərbaycan

asalimova@beu.edu.az

Xülasə: Bu məqalədə dayanıqlı inkişaf kontekstində orqanik memarlığın və orqanik formaların müasir şəhərsalmaya inteqrasiyası geniş şəkildə təhlil olunur. Tədqiqatda orqanik memarlığın yalnız estetik deyil, eyni zamanda funksional və ekoloji baxımdan da şəhər mühitinə töhfə verə biləcək bir yanaşma olduğu vurğulanır. Orqanik formaların şəhər strukturlarının təşkili, funksional zonalar arasında əlaqələrin qurulması və insan-təbiət münasibətlərinin yenidən qurulmasında ilham mənbəyi ola biləcəyi göstərilir. Məqalədə təbiət və memarlıq arasındakı harmoniyanın vacibliyi haqqında məlumat verilmişdir. Bu harmoniyanın şəhər mühitində balans və ahəng yaratmaqda əsas rol oynadığı qeyd olunur. Araşdırma nəticəsində müəyyən edilir ki, orqanik yanaşmalar şəhərlərin ekoloji davamlılığının artırılmasında və sosial-iqtisadi baxımdan daha sağlam yaşam mühitlərinin formalaşmasında mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu çərçivədə orqanik memarlığın gələcək şəhər modellərinin formalaşdırılmasında potensialı və əhəmiyyəti elmi əsaslarla izah olunur.
Açar sözlər: *Orqanik memarlıq, eko-davamlı memarlıq, şəhərsalma, dayanıqlı inkişaf, yaşıl infrastruktur.*

Abstract: This article provides an in-depth analysis of the integration of organic architecture and organic forms into contemporary urban planning processes within the context of sustainable development. The study emphasizes that organic architecture is not only an aesthetic approach but also a functional and ecological contribution to the urban environment. It is demonstrated that organic forms can serve as a source of inspiration for the organization of urban structures, the integration of functional zones, and the redefinition of the human-nature relationship. The paper highlights the significance of harmony between nature and architecture, noting that this harmony plays a fundamental role in creating balance and coherence within the urban context. The research concludes that organic approaches are of great

importance in enhancing the ecological sustainability of cities and in shaping healthier living environments from both social and economic perspectives. Within this framework, the potential and significance of organic architecture in the formation of future urban models are explained on a scientific basis.
Keywords: Organic architecture, eco-sustainable architecture, urban planning, sustainable development, green infrastructure.

Giriş

Müasir dünyada ətraf mühit problemləri, iqlim dəyişikliyi və təbii resursların azalması memarlıqda yeni yanaşmaların inkişafını zəruri edir. Bu kontekstdə dayanıqlı inkişaf prinsiplərinə əsaslanan orqanik memarlıq xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Orqanik memarlıq, təbiətə uyğun dizayn prinsiplərini mənimsəyərək, insan və mühit arasında harmoniyanı təmin edir və ekoloji davamlılığı qorumağa xidmət edir. Bütün memarlıq nümunələrində forma və məzmunun bir-birini tamamlaması əsas prinsip kimi qəbul edilməlidir. Uğurlu memarlıq layihələri yalnız vizual cazibədarlıqla deyil, eyni zamanda sosial, mədəni və ekoloji tələblərə cavab verməklə dəyərləndirilməlidir. Bu baxımdan, müasir dövrdə memarlar forma və məzmun arasındakı balansı qorumağa xüsusi önəm verməli və yeni yanaşmalar inkişaf etdirməlidirlər.[8]

Orqanik memarlıq dedikdə hər hansı bir təkrarlanma deyil, təbiətin prinsiplərini yenidən şərh edərək təbii formalara əsaslanan tikililərin inşa edilməsi nəzərdə tutulur. Ana təbiət əsas ilham mənbələrindən biridir, buna görə də təbiətin bizə verdiyi formaları düzgün şəkildə dəyərləndirməli və dövrün tələblərinə uyğun olaraq təkmilləşdirməliyik. Memarlıq kontekstinə orqanik memarlıq termininin daxil edilməsi yeni perspektivlər gətirir. Tədqiqat işində memarlıqla təbiət arasındakı oxşarlıqlar göz önünə qoyulmuşdur.[4] İnsanlar yaradılışlarından etibarən təbiət və canlı aləmlə harmoniya içərisində olmuşdur. Buna görə də təbii orqanizmlər insanlar üçün hər zaman ilham mənbəyidir. Təbiətin saysız-hesabsız resursları bəşəriyyətin inkişafında əsas amillərdən biridir. Bu resurslar təkcə həyatı təmin etməklə kifayətlənməmişdir, həm də sivilizasiyanın yönünü müəyyənləşdirən strateji əhəmiyyətə malik olmuşdur.[2]

Təbiətdə orqanik şəkildə mövcud olan hər bir varlıq öz forma və məzmunu ilə mükəmməl uyğunlaşır. Eyni yanaşmanı memarlıqda tətbiq edərək, formanın yalnız estetik deyil, funksional və sosial məzmun baxımından da əsaslandırılmasına diqqət yetirməliyik. Əgər biz orqanik strukturlar istiqamətində irəliləsək və sosial məzmunu dərindən araşdırdıqdan sonra layihələndirmə prosesinə başlasaq, daha bütövləşmiş və ahəng içərisində olan nəticələr əldə edə bilərik. Bu yanaşma binaların yalnız fiziki obyektlər kimi deyil, yaşayan sistemlər kimi dizayn olunmasına imkan yaradacaqdır.[12]



Şəkil 1. *Quqqenhaym Muzeyi F.L. Rayt, 1943-1959 Nyu-York, ABŞ*

Bu məqalədə dayanıqlı inkişaf konsepsiyası çərçivəsində orqanik memarlığın əsas prinsipləri, tətbiq sahələri və üstünlükləri araşdırılacaqdır. Eyni zamanda, bu yanaşmanın müasir memarlıq praktikasında necə tətbiq olunduğu və gələcək perspektivləri təhlil ediləcəkdir.

Tədqiqat metodu

Bu tədqiqat işində orqanik memarlığın dayanıqlı inkişaf kontekstində şəhərsalma proseslərinə inteqrasiyasını araşdırmaq məqsədilə kompleks metodoloji yanaşma tətbiq edilmişdir. Araşdırma əsasən nəzəri və analitik xarakter daşıyır və bir neçə elmi metodun sintezinə əsaslanır.

İlk mərhələdə elmi ədəbiyyatın sistemli icmalı aparılmışdır. Orqanik memarlıq, dayanıqlı inkişaf, biomimetik dizayn və ekoloji şəhərsalma mövzularında mövcud beynəlxalq və yerli elmi mənbələr təhlil edilmiş, konseptual yanaşmalar müqayisəli şəkildə araşdırılmışdır. Bu mərhələdə anlayışların terminoloji dəqiqliyi və nəzəri əsasları müəyyənləşdirilmişdir.

Tədqiqatın növbəti mərhələsində analitik təhlil metodu tətbiq olunmuşdur. Orqanik memarlığın əsas prinsipləri (təbiətlə harmoniya, ekoloji material seçimi, enerji effektivliyi, modul və adaptiv planlaşdırma) strukturlaşdırılmış şəkildə sistemləşdirilmiş və şəhər mühitinə təsiri qiymətləndirilmişdir.

Bundan əlavə, müqayisəli təhlil metodundan istifadə edilərək ənənəvi memarlıq yanaşmaları ilə orqanik memarlıq prinsipləri arasında fərqli və oxşar cəhətlər müəyyən edilmişdir. Bu müqayisə şəhərsalma kontekstində ekoloji və sosial üstünlüklərin daha aydın şəkildə ortaya qoyulmasına imkan yaradır.

Tədqiqat çərçivəsində seçilmiş beynəlxalq memarlıq nümunələrinin (məsələn, təbiətlə inteqrasiya olunmuş tikililər) keyfiyyət analizi aparılmışdır. Real layihələrdə orqanik prinsiplərin tətbiqi mexanizmi araşdırılmış və onların şəhər mühitinə təsiri təhlil edilmişdir.[3]

Nəticə etibarilə, tətbiq olunan metodlar vasitəsilə orqanik memarlığın nəzəri və praktik aspektləri sistemli şəkildə qiymətləndirilmiş, onun müasir şəhərsalma proseslərində potensial rolu elmi əsaslarla müəyyən edilmişdir.

Dayanıqlı İnkişaf və Memarlıq

Dayanıqlı inkişaf gələcək nəsillərin tələbatlarını ödəmək üçün ekoloji, sosial və iqtisadi tarazlığın qorunmasını nəzərdə tutur. Memarlıqda dayanıqlılıq əsasən aşağıdakı istiqamətlərdə tətbiq olunur:

• **Ekoloji Davamlılıq:** Burada tikinti materiallarının seçimi və enerji istifadəsi ətraf mühitə minimal təsir göstərməlidir. Bu məqsədlə təbii, bərpa olunan və yerli materiallardan istifadəyə üstünlük verilməli, karbon emissiyalarını azaldan texnologiyalar tətbiq olunmalıdır. Eyni zamanda, binaların layihələndirilməsində günəş enerjisindən maksimum istifadə, təbii işıqlandırma və passiv havalandırma sistemləri nəzərə alınmalıdır. Yaşıl damlar, yağış sularının toplanması və yenidən istifadəsi kimi ekoloji həllər də bu yanaşmanın mühüm tərkib hissələrindəm biridir.

• **İqtisadi Davamlılıq:** Burada uzunmüddətli istismar müddəti olan, az texniki qulluq tələb edən binaların dizayn edilməsi əsas götürülür. Bu çərçivədə ilkin tikinti xərcləri ilə yanaşı, binanın bütün həyat dövrü boyunca yaranacaq xərclər (istismar, təmir, enerji sərfiyyatı və s.) nəzərə alınmalıdır. Enerji səmərəli sistemlərin tətbiqi uzun müddətdə maliyyə baxımından qənaətin təmin edilməsi üçün çox əlverişlidir. Həmçinin, çevik planlaşdırma prinsipləri sayəsində binaların gələcəkdə müxtəlif funksiyalar üçün uyğunlaşdırılması mümkün olur ki, bu da əlavə iqtisadi üstünlüklər yaradır və maliyyə xərclərinin minimuma endirilməsinə şərait yaradır.

• **Sosial Davamlılıq:** Burada insanların yaşayış mühitini yaxşılaşdıran, cəmiyyətin sosial tələbatlarını qarşılayan memarlıq həlləri hazırlanmalıdır. Bu baxımdan ictimai məkanların yaradılması, əlçatanlıq prinsiplərinin təmin edilməsi (məsələn, fiziki məhdudiyyətli şəxslər üçün uyğun mühit), təhlükəsiz və inklüziv mühitin formalaşdırılması vacibdir. Memarlıq yalnız fiziki məkan deyil, həm də sosial münasibətləri formalaşdıran bir vasitədir. Buna görə də layihələrdə yerli mədəniyyətin qorunması, icma identikliyinin gücləndirilməsi və sosial inteqrasiyanın təşviqi əsas prioritetlərdən biri olmalıdır.

Orqanik Memarlıq və Onun Əsas Prinsipləri

Orqanik memarlıq, tikililərin təbii landşaft və biomimetik dizayn prinsipləri ilə uyğunlaşdırılmasını nəzərdə tutur. Bu yanaşma memarlıqda təbiətdən ilham alaraq, insan və ətraf mühit arasında balans yaratmağa çalışır. Orqanik memarlığın əsas xüsusiyyətləri aşağıdakılardır:

1. Təbiətlə Harmoniya Binaların dizaynı ətraf mühitə uyğun şəkildə formalaşdırılır və təbii landşaftla birləşdirilir. Bu, tikinti zamanı təbii ekosistemlərin qorunmasını və insanın təbiətlə əlaqəsinin gücləndirilməsini təmin edir. Memarlıqda bu prinsip, bina formalarının təbiətdəki orqanizmlərin və landşaftın quruluşuna bənzər şəkildə modelləşdirilməsi ilə həyata keçirilir.

2. Ekoloji Materiallardan İstifadə Orqanik memarlıqda material seçimi ətraf mühitin qorunması baxımından mühüm rol oynayır. Taxta, gil, daş və digər təbii materiallardan istifadə olunması karbon izini azaldır və binaların daha ekoloji olmasına şərait yaradır. Bundan əlavə, bərpa olunan və təkrar emal olunan materialların istifadəsi də bu prinsipə daxildir.
3. Enerji Effektivliyi Enerji səmərəliliyinin artırılması orqanik memarlığın əsas məqsədlərindən biridir. Günəş enerjisi panelləri, təbii havalandırma sistemləri və yağış sularının toplanması kimi texnologiyalar vasitəsilə binaların enerji sərfiyyatı azaldılır. Beləliklə, binaların istismar müddətində ekoloji təsiri minimuma endirilir.
4. Biomimetik Dizayn Təbiətdəki formalar və strukturlar memarlıq dizaynında modelləşdirilir. Biomimetik yanaşma, canlıların milyon illərlə inkişaf etmiş adaptasiya mexanizmlərinə əsaslanaraq daha effektiv və ekoloji davamlı tikililər inşa etməyə imkan verir. Məsələn, termit yuvalarının hava dövranı prinsipi ilə işləyən binalar enerji sərfini əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər.
5. Modul və Adaptiv Planlaşdırma Binalar gələcəkdə dəyişən sosial, iqtisadi və funksional ehtiyaclara uyğun şəkildə layihələndirilir və yenilənə bilir. Bu yanaşma, istifadəçilərin zamanla dəyişən tələblərinə adaptasiya olunma imkanını təmin edir və məkanın funksional elastikliyini artırır. Modul memarlıq prinsipi əsasında qurulan strukturlar komponentlərə bölündüyü üçün onların genişləndirilməsi, yenidən təşkili və ya funksional təyinatının dəyişdirilməsi daha asan və az xərc tələb edən prosesə çevrilir.
Bu prinsip yalnız funksional uyğunlaşma baxımından deyil, həm də davamlılıq aspektindən əhəmiyyətlidir. Modul sistemlər tikinti materiallarının optimallaşdırılmış istifadəsini təmin edir, material israfını minimuma endirir və sökülmə zamanı elementlərin yenidən istifadəsinə imkan yaradır. Nəticə etibarilə, ekoloji dayanıqlılıq güclənir.[9]
Eyni zamanda, modul memarlıq yanaşması daha çevik və dinamik şəhər planlaşdırmasına şərait yaradır. Şəhərdə əhali artdıqda və ya ehtiyaclar dəyişdikdə, modul binalar tez bir zamanda qurula və lazım olduqda sökülərək yenidən başqa formada istifadə oluna bilər. Bu isə şəhər inkişafını daha çevik və idarəolunan edir. Bu isə gələcək şəhərlərin daha adaptiv və dayanıqlı formalaşmasına töhfə verir.



Şəkil 2. *The Eden Project – Nicholas Grimshaw, 1998–2001, Cornwall, İngiltərə*

Orqanik Memarlığın Üstünlükləri və Çətinlikləri
Orqanik memarlıq konsepsiyası təbii mühitlə harmonik inteqrasiyanı əsas götürərək həm ekoloji, həm sosial, həm də estetik baxımdan mühüm üstünlüklər təqdim edir. Bu yanaşmanın əsas məqsədi tikilini təbiətdən ayrı bir obyekt kimi deyil, onun davamı və ayrılmaz tərkib hissəsi kimi formalaşdırmaqdır.
İlk növbədə, orqanik memarlıq ekoloji davamlılıq prinsipinə əsaslanır. Təbii landşaftın qorunması, yerli və bərpa olunan materiallardan istifadə, enerji səmərəliliyinin artırılması və karbon emissiyasının azaldılması bu yanaşmanın əsas prioritetlərindəndir. Beləliklə, tikililər ətraf mühitə minimum müdaxilə ilə inşa edilir və uzunmüddətli perspektivdə ekosistemin qorunmasına töhfə verir.[4]

Bundan əlavə, orqanik memarlıq insan sağlamlığı və psixoloji rifahı baxımından da mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Təbii işıqlandırma, havalandırma sistemlərinin optimallaşdırılması, yaşıl sahələrin inteqrasiyası və biomorfik formaların tətbiqi istifadəçilər üçün daha komfortlu və sağlam yaşayış mühiti yaradır. Araşdırmalar göstərir ki, təbii elementlərlə inteqrasiya olunmuş məkanlar stress səviyyəsini azaldır və həyat keyfiyyətini yüksəldir.[6]

Enerji və su resurslarının səmərəli istifadəsi də orqanik memarlığın mühüm üstünlüklərindəndir. Günəş enerjisindən istifadə, yağış sularının toplanması və təkrar istifadəsi, passiv isitmə-soyutma sistemləri kimi strategiyalar resurs istehlakını minimuma endirir və iqtisadi baxımdan da uzunmüddətli qənaət yaradır.

Orqanik memarlığın tətbiqi xüsusi yanaşma və detallı planlaşdırma tələb edən bir prosesdir. Bu istiqamətdə layihələrin fərdi və kontekstual xarakter daşıması onların hər birinin əraziyə, iqlimə və landşaft xüsusiyyətlərinə uyğun şəkildə unikal həllər əsasında formalaşdırılmasını zəruri edir. Bu isə ilkin mərhələdə daha geniş analiz və araşdırma aparılmasını tələb edə bilər.

Eyni zamanda, orqanik memarlıq layihələrinə hazırlıq və icra prosesi yüksək peşəkarlıq səviyyəsi və multidissiplinar əməkdaşlıq tələb edir. Landşaft analizi, iqlim göstəriciləri, material seçimi və konstruktiv həllərin inteqrasiyası vahid sistem daxilində balanslaşdırılmalıdır. Bu yanaşma layihənin keyfiyyətini və uzunmüddətli dayanıqlılığını artıraraq daha effektiv və davamlı memarlıq nümunələrinin formalaşmasına imkan yaradır.[5]

Beləliklə, orqanik memarlıq ənənəvi tikinti modellərindən fərqli olaraq daha dərin elmi əsaslandırma və kontekstual yanaşma tələb edən, lakin nəticə etibarilə daha harmonik və dayanıqlı məkan həlləri təqdim edən bir istiqamət kimi qiymətləndirilə bilər.

Nəhayət, bəzi regionlarda ekoloji və bərpa olunan materialların əlçatanlığının məhdud olması layihələrin tətbiqini çətinləşdirə bilər. Bu isə həm logistika xərclərini artırır, həm də layihənin davamlılıq prinsiplərinə tam uyğun həyata keçirilməsinə mane ola bilər. Ümumilikdə, orqanik memarlıq uzunmüddətli perspektivdə ekoloji və sosial baxımdan üstünlüklər təqdim etsə də, onun effektiv tətbiqi üçün texniki, iqtisadi və regional faktorların kompleks şəkildə nəzərə alınması zəruridir.

Nəticə

Aparılan tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, orqanik memarlıq dayanıqlı inkişaf konsepsiyası çərçivəsində müasir şəhərsalma prosesləri üçün strateji əhəmiyyət daşıyan yanaşmadır. Təbiətlə harmonik inteqrasiya, biomimetik dizayn prinsipləri, ekoloji materiallardan istifadə və enerji effektivliyi kimi əsas xüsusiyyətlər şəhər mühitində ekoloji tarazlığın qorunmasına və sosial rifahın artırılmasına xidmət edir.

Orqanik yanaşma memarlığı yalnız forma axtarışı kimi deyil, funksional, sosial və ekoloji əsaslandırılmış sistem kimi təqdim edir. Bu istiqamət şəhər strukturlarının təşkilində, funksional zonalar arasında əlaqələrin gücləndirilməsində və insan–təbiət münasibətlərinin yenidən qurulmasında mühüm rol oynayır. Xüsusilə urbanizasiya və iqlim dəyişikliyi fonunda adaptiv və elastik planlaşdırma prinsiplərinin tətbiqi gələcək şəhərlərin daha dayanıqlı formalaşmasına imkan yaradır.

Tədqiqat göstərir ki, orqanik memarlıq ənənəvi tikinti modellərindən fərqli olaraq daha kontekstual və sistemli yanaşma tələb etsə də, uzunmüddətli perspektivdə ekoloji, iqtisadi və sosial baxımdan daha balanslı nəticələr təqdim edir. Bu baxımdan, orqanik memarlıq yalnız memarlıq istiqaməti deyil, həm də davamlı şəhərsalma strategiyası kimi qiymətləndirilə bilər.

Bu yanaşmada element, element qruplaşması və bütövlük birlikdə orqanik bir sistem kimi işlənməlidir. Əgər bütün bu amilləri ideal elementlər üzərində quraraq, ideal xətlər və uyğun birləşmələrlə formalaşdıra bilsək, mükəmməl orqanik sxemlərin yaradılması üçün möhkəm bir zəmin qurmuş olarıq. Bu yanaşma memarlığın yalnız forma deyil, həm də dərinlik və məzmun üzərində qurulmasını təmin edərək dayanıqlı və funksional məkanların formalaşmasına imkan yaradır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. «Sustainable architecture and urbanism». 2002, Terraced Housing in Viikki, Helsinki, Finland, Arrak Architects.
2. «Utopia forever» Visions of architecture and urbanism, Gestalten. «Ecopod», Architect: Höweler+Yoon Architecture and Squared Design Lab, USA.
3. Department of Architecture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran.
4. Wright, Frank Lloyd. (1954). *The Natural House*. New York: Horizon Press.
5. Sullivan, Louis H. (1956). *The Autobiography of an Idea*. New York: Dover Publications.

6. Benyus, Janine M. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Morrow.
7. Girardet, Herbert. (2008). *Cities People Planet: Urban Development and Climate Change*. Wiley.
8. McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press.
9. Steiner, Rudolf. *(Architecture: An Anthroposophic Perspective)*.
10. Zevi, Bruno. *(Towards an Organic Architecture)*.
11. Arpitha, S. (2023, February 6). *Organic architecture: Harmony between nature and built environment*. Parametric Architecture.
12. Organic architecture. (n.d.). *Smallbay*.

ŞƏHƏR STRUKTURUNDA ORQANİK YANAŞMA

Xədicə Şəmsiyeva
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat fakültəsi
Xırdalan,Azərbaycan
xshemsiyeva1@std.beu.edu.az

Dosent Aytən Səlimova
Azərbaycan memarlıq və inşaat universiteti
Memarlıq və İnşaat fakültəsi
Xırdalan,Azərbaycan
aytansalimova@gmail.com

Xülasə: Bu məqalədə şəhər strukturu kontekstində orqanik memarlıq yanaşmasının əsas prinsipləri və onun müasir memarlıq düşüncəsində rolu araşdırılır. Orqanik memarlıq təbiət, insan və tikili arasında harmonik əlaqənin yaradılmasını əsas məqsəd kimi qəbul edir və binaların yerləşdiyi mühitlə vahid sistem kimi inteqrasiyasını ön plana çıxarır.
Yanaşmanın mahiyyəti ondan ibarətdir ki, memarlıq obyektləri təbii landşaftdan ayrı bir element kimi deyil, onun davamı və tərkib hissəsi kimi formalaşdırılmalıdır. Bu çərçivədə forma, material və struktur qərarları yalnız estetik deyil, həm də ekoloji və funksional uyğunluq prinsiplərinə əsaslanır. Yerli və təbii materiallardan istifadə, resursların səmərəli tətbiqi və ətraf mühitə minimal təsir bu yanaşmanın əsas istiqamətlərindəndir.
Eyni zamanda, insan mərkəzli layihələndirmə orqanik memarlığın vacib komponentlərindən biri kimi çıxış edir. Binaların miqyası, forması və daxili məkan təşkili insanın rahatlığı, hərəkət imkanları və psixoloji rifahı ilə uyğunlaşdırılır. Nəticə etibarilə, orqanik memarlıq şəhərsalmada ekoloji davamlılıq, funksional uyğunluq və estetik bütövlüyü birləşdirən kompleks bir yanaşma kimi formalaşır.
Açar sözlər: *Orqanik memarlıq, landşaft inteqrasiyası, ekoloji davamlılıq, davamlı inkişaf.*

Abstract: This article examines the fundamental principles of organic architecture within the context of urban structure and its role in contemporary architectural thinking. Organic architecture is based on the creation of a harmonious relationship between nature, humans, and the built environment, emphasizing the integration of buildings as part of a unified system with their surrounding context.
The essence of this approach is that architectural objects should not be designed as isolated elements of the natural landscape, but rather as its continuation and integral component. Within this framework, decisions related to form, material, and structure are guided not only by aesthetic considerations but also by ecological and functional compatibility. The use of local and natural materials, efficient resource utilization, and minimal environmental impact are among the key principles of this approach.

At the same time, human-centered design represents a crucial component of organic architecture. The scale, form, and spatial organization of buildings are adapted to human comfort, mobility, and psychological well-being. Consequently, organic architecture emerges as a comprehensive approach in urban planning that integrates ecological sustainability, functional appropriateness, and aesthetic integrity.
Keywords: Organic architecture, landscape integration, ecological sustainability, sustainable development.

Giriş

Orqanik Memarlıq - memar Frank Lloyd Wright tərəfindən inkişaf etdirilmiş bir yanaşmadır.Bu yanaşmada binaların təbii mühitlə harmoniya içərisində olması əsas götürülür.Burada əsas məqsəd insanın təbiətlə əlaqəsinin kəsilməməsi,daim vəhdət içərisində olmasıdır.Orqanik memarlıqda diqqət edilməsi lazım olan nüanslardan biri də düzgün material seçimidir.Burada istifadə edilən tiktinti materiallarına isə təbiətdən əldə edilən və tez-tez davamlı inkişafda istifadə olunan materiallar aiddir.Bu materiallar əsasən təkrar emal edilə bilən, aşağı karbon emissiyasına malik və ətraf mühitə minimal təsir göstərən tərkibdən ibarət olur. Bu materiallara bitki məşəli materialları aid etmək olar.Eyni zamanda bu materialların ətraf mühitlə vizual və struktur olaraq da bütünləşməsinə diqqət göstərmək lazımdır.

Orqanik memarlıq, yalnız binaların forması və funksiyası ilə deyil, həm də onların ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqəsi ilə məşğul olur. Bu üslub, memarlığa təbii və insan mərkəzli bir yanaşma təqdim edir.

Orqanik memarlıq binaları təbii mühitə inteqrasiya etmək istəyindən yaranmışdır. Bu inteqrasiyanın məqsədi təbiət və mədəniyyət arasında harmonik balans yaratmaqdır. Orqanik memarlıqda binanın yalnız xarici görünüşü landşaftla uyğunlaşmır, bina ümumilikdə təbiətlə harmonik bir sistem şəklində işləyir. Tikinti materiallarından struktura qədər bütün elementlər bir-biri ilə vəhdət təşkil edir.

Frank Lloyd Wright bu üslubun əsas nümayəndəsi olsa da, ilk nəzəriyyəçisi deyildi. O, anlayışı tam şəkildə izah etməkdə çətinlik çəksə də, öz əsərləri ilə onu ən yaxşı formada göstərmişdir.

Bu ideyanın ilkin formaları XIX əsr memarı Eugene Emmanuel Viollet-le-Duc tərəfindən irəli sürülmüşdür. O, memarlığın təbiəti təqlid etməsini yox, onun qanunlarına uyğun olmasını müdafiə edirdi.

Daha sonra Louis Sullivan bu ideyanı inkişaf etdirdi. O, "əgər bir əsər orqanikdirsə, onun hissələrinin funksiyası bütövün funksiyası ilə eyni keyfiyyətdə olmalıdır" deyirdi. Sadəlik onun əsas prinsiplərindən idi.

Wright Sullivanın tələbəsi olmuş və bu ideyaları inkişaf etdirərək Prairie üslubunu yaratmışdır. Bu üslub geniş baza və sadə formalarla xarakterizə olunur. Bu xüsusiyyətlər sonradan orqanik memarlığın əsas elementlərinə çevrildi.

Frank Lloyd Wright demişdir:

"Təbiəti öyrənin, onu sevin, ona yaxın qalın."

Onun fikrincə, yaxşı bina təbiətə zərər vermir, əksinə onu daha gözəl edir. Orqanik memarlıq istifadə rahatlığı və sadəlik vasitəsilə daha yüksək komfort yaratmağa çalışır. Bu yanaşma həm də etik məsuliyyət daşıyır — təbiətə hökm etmək yox, onunla harmonik bir şəkildə uygunlaşmaq lazımdır.

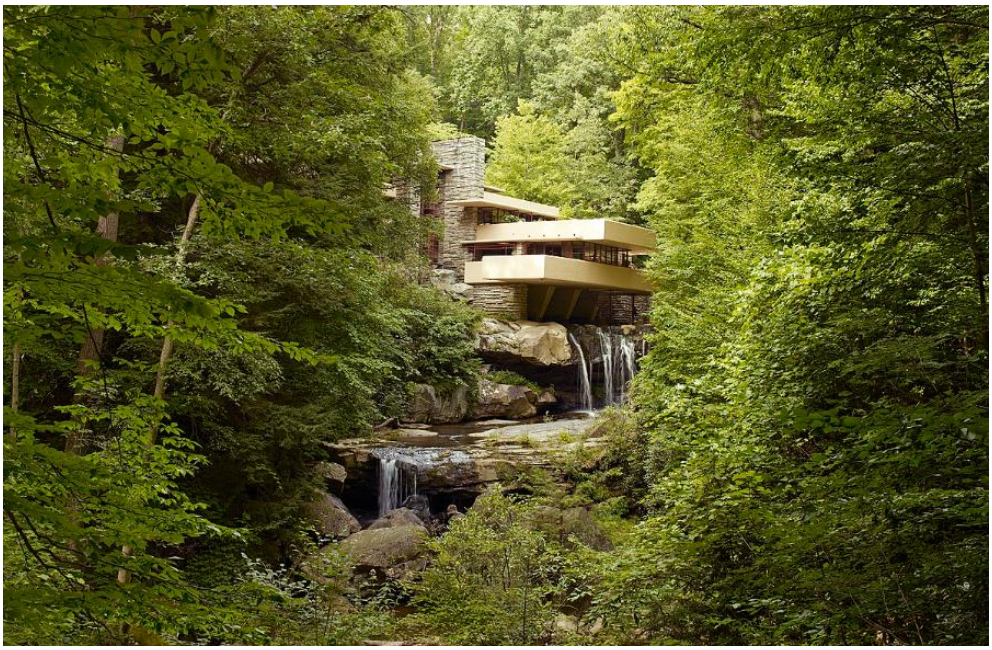
Təbiətdə mövcud olan hər bir orqanik quruluş forma və funksiyanın qarşılıqlı vəhdəti əsasında formalaşır. Bu prinsip memarlıq sahəsində tətbiq edildikdə, tikililər yalnız estetik obyekt kimi deyil, eyni zamanda funksional və sosial məzmun daşıyan kompleks sistemlər kimi formalaşır. Nəticə etibarilə, memarlıq mühiti daha inteqrasiya olunmuş xarakter qazanır və binalar ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyət göstərən "canlı sistemlər" kimi dəyərləndirilir.

Orqanik memarlıq anlayışı təbiətin formalarının sadə təkrarı deyil, əksinə onun struktur və funksional prinsiplərinin yenidən şərh olunması kimi qəbul edilir. Təbiət bu yanaşmada əsas ilham mənbəyi kimi çıxış edir və təbii formaların elmi və funksional əsaslarının memarlıqda tətbiqi mühüm rol oynayır. İnsan və təbiət arasındakı tarixi və bioloji əlaqə memarlıq düşüncəsində də öz əksini taparaq təbiətin harmonik strukturlarını yaradıcılıq üçün əsas baza halına gətirir.[11]

Orqanik memarlıqda bina ilə yerləşdiyi ərazi arasında sıx əlaqə olmalıdır. Bunun məqsədi binanın təbii mühitə aid olmayan bir forma kimi çıxması deyil landşaftla təbii şəkildə bütünləşmiş harmonik bir forma kimi görünməsidir.

Materialların rəng, tekstura və konstruktiv xüsusiyyətlərinin ətraf mühitlə uzlaşdırılması müasir memarlıq nəzəriyyəsində kontekstual yanaşmanın əsas prinsiplərindən biri kimi qəbul olunur. Bu baxımdan, material seçimi yalnız estetik meyarlarla məhdudlaşmır, eyni zamanda təbii mühitlə harmoniyanın yaradılması, vizual inteqrasiya və ekoloji davamlılığın təmin olunması kimi funksional məqsədlərə xidmət edir.

Məsələn, Fallingwater layihəsində istifadə olunan daş materiallarının birbaşa tikinti sahəsindən əldə edilməsi bu yanaşmanın parlaq nümunəsidir. Bu metod həm tikilinin landşaftla üzvi şəkildə birləşməsinə şərait yaradır, həm də resursların yerində istifadəsi ilə ekoloji yükü minimuma endirir.



Şəkil 1. Villa Kaufman F.L. Wright, 1936 Bear Run, Connellsville, Pensilvaniya

İnsan təbiətin ayrılmaz tərkib hissəsi olduğuna görə, memarlıq mühitinin əsas məqsədi insanın fiziki və psixoloji rahatlığını təmin etmək və onu təbiətdən ayırmamaqdır.[1] Bu baxımdan, binaların proporsiya və miqyası insan bədəninin ölçülərinə, hərəkət imkanlarına və qəbul qabiliyyətinə uyğun şəkildə formalaşdırılmalıdır.[8] Orqanik yanaşma məhz bu prinsiplərə əsaslanaraq insan mərkəzli layihələndirməni ön plana çıxarır.

Eyni zamanda, insanın özü də orqanik bir varlıq kimi təbiətlə sıx əlaqədə olmalı və bu əlaqəni qoruyub saxlamalıdır. Bu səbəbdən, memarlıqda tətbiq olunan həllər yalnız funksional deyil, həm də insanın təbii mühitlə qarşılıqlı əlaqəsini təmin etməyə yönəlməlidir. Layihələndirilən binalar ətraf landşaftla vizual və funksional baxımdan uyğunlaşmalı və sonradan əlavə edilmiş süni obyekt kimi görünməməlidir. Əksinə, sanki həmin mühitin təbii bir hissəsi imiş kimi qəbul edilməlidir.[1]

Orqanik memarlıq yanaşmasında təbiət, bina və insan eyni sistemin qarşılıqlı əlaqədə olan elementləri kimi dəyərləndirilir. Nəticə etibarilə, memarlıq obyektləri elə şəkildə layihələndirilməlidir ki, həm insanın rahatlığı təmin olunsun, həm də ətraf mühitlə maksimum səviyyədə harmoniya qorunsun və orqanik bütövlüyə heç bir zərər vurulmasın.[2]

Bununla yanaşı, orqanik memarlığın əsas prinsiplərindən biri də ekoloji dayanıqlılıqdır. Bu yanaşmada binaların layihələndirilməsində yerli təbii materiallardan istifadə əsas prioritet hesab olunur. Bu materiallar həm ekoloji cəhətdən sağlam, həm də mühitə uyğun olduqları üçün tikilinin ümumi harmoniyasını pozmur. Eyni zamanda istifadə olunan materialların davamlı, yerli və təkrar emal oluna bilən olması müasir memarlıq yanaşmasının vacib tələblərindəndir.[12]

John Ruskin memarlıqda təbii formaların üstünlüyünü vurğulayaraq qeyd edirdi ki, təbiətə bənzərlik meyarı tətbiq edildikdə aydın olur ki, mükəmməl estetik formalar əsasən əyri xətlərdən ibarətdir. Onun fikrincə, təbiətdə düz xətlərin mövcudluğu son dərəcə məhduddur və demək olar ki, bütün təbii formalar əyrilik və axıcılıq üzərində qurulmuşdur. Dağların konturları, buzlaqların yamacı, eləcə də qabıqlar, balıqlar və bitki yarpaqlarının formaları bu prinsipin təzahürüdür.

Frank Lloyd Wright tərəfindən layihələndirilmiş Solomon R. Guggenheim Muzeyi Nyu-York şəhərində yerləşən və XX əsr modernist memarlığının ən mühüm nümunələrindən biri hesab olunan unikal memarlıq abidəsidir. Bu bina həm formal-məkan həlli, həm də struktur konsepsiyası baxımından orqanik və eksperimental memarlıq prinsiplərinin inkişafında xüsusi əhəmiyyət daşıyır.



Şəkil2. Quqqenhaym Muzeyi F.L. Rayt, 1943-1959 Nyu-York, ABŞ

Muzeyin mərkəzi spiral rampası orqanik memarlıqda mühüm olan "axıcı məkan" ideyasını həyata keçirir. Burada məkan sərt bölmələrə parçalanmır, əksinə fasiləsiz bir hərəkət xətti üzrə inkişaf edir. Bu yanaşma təbiətdəki davamlılıq və dəyişkənlik prinsiplərini memarlıq təcrübəsinə gətirir və istifadəçini statik müşahidəçidən aktiv məkan iştirakçısına çevirir.

Eyni zamanda, binanın konstruktiv və material həlli də orqanik memarlığın əsas tələblərinə uyğundur. Betonun plastik formalaşdırma imkanı sayəsində sərt ortoqonal həndəsədən uzaqlaşılmış, əyri səthlər və yumşaq keçidlər vasitəsilə struktur və forma arasında harmoniya yaradılmışdır. Bu, Louis Sullivan və Wright tərəfindən irəli sürülən "forma funksiyanı izləyir" və "bina təbiətdən doğmalıdır" prinsiplərinin davamıdır.

Binalardan fərqli olaraq, şəhər daha kompleks və çoxşaxəli bir sistemdir. Bu səbəbdən şəhər strukturunun planlaşdırılması zamanı yalnız memarlıq deyil, eyni zamanda sosial, nəqliyyat, landşaft və iqtisadi faktorlar da kompleks şəkildə nəzərə alınmalıdır. Orqanik yanaşma isə şəhəri statik bir quruluş kimi deyil, daim inkişaf edən və dəyişən canlı bir orqanizm kimi qəbul edir. Bu baxışa əsasən şəhər planlaşdırılması insan həyatının bütün aspektlərini əhatə edən dinamik bir sistem kimi formalaşmalıdır.

Şəhər strukturunda orqanik yanaşmanın əsas prinsiplərindən biri şəhərin təbii landşafta inteqrasiyasıdır. Bu yanaşmaya görə şəhər planı mövcud relyef və təbii şərait nəzərə alınaraq formalaşdırılmalı, təbiətə uyğunlaşdırılmalıdır. Yaşıl sahələr şəhər strukturunun ayrılmaz hissəsi kimi geniş şəkildə planlaşdırılmalı, süni formaların yerinə daha çox təbii və axıcı formalar üstünlük təşkil etməlidir. Bu istiqamətdə Curitiba şəhəri nümunə olaraq göstərilə bilər. Burada geniş park sistemi, yaşıl dəhlizlər və ekoloji yönümlü planlaşdırma şəhərin orqanik inkişafına xidmət edir.



Şəkil 3. Curitiba şəhərinin tarixi mərkəzi. Dayanıqlı şəhərsalma yanaşması. Foto: Eduardo PA / Getty Images / Flickr RF. The Guardian, 2016.

Bundan əlavə, orqanik şəhər planlaşdırılmasında insan mərkəzli yanaşma da mühüm rol oynayır. Bu modeldə yaşayış, iş və rekreasiya zonalarının sərt şəkildə ayrılması deyil, onların qarşılıqlı əlaqədə və inteqrasiya olunmuş şəkildə təşkili əsas götürülür. Bu isə insanların gündəlik hərəkət ehtiyacını azaltmaqla yanaşı, sosial əlaqələrin güclənməsinə və şəhər həyatının daha dinamik formalaşmasına şərait yaradır.

Digər mühüm prinsip isə sərt şəbəkə (grid) sistemindən imtina edərək daha axıcı və orqanik planlaşdırma modelinin tətbiqidir. Klassik kvadrat və düzbucaqlı küçə sistemləri əvəzinə, şəhər yolları təbii axınlara uyğun olaraq daha sərbəst və funksional şəkildə formalaşdırılır. Bu yanaşma şəhərin yalnız funksional deyil, eyni zamanda vizual və ekoloji baxımdan da daha harmonik inkişafını təmin edir. Bu tip planlaşdırmaya nümunə olaraq Brasília şəhərinin şəhər strukturunu nümunə göstərmək mümkündür.



Şəkil 4. Braziliya şəhəri (Brasília). Planlı müasir şəhərsalma nümunəsi.
Mənbə: Overview (over-view.com), "Brasília Overview".

Tədqiqatın metodoloji əsasları

Bu tədqiqat orqanik memarlığın şəhər strukturu kontekstində mahiyyətini və tətbiq imkanlarını araşdırmaq məqsədilə əsasən keyfiyyət yönümlü elmi yanaşma üzərində qurulmuşdur. Tədqiqat prosesi bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə olan mərhələlər üzrə təşkil edilmiş və nəzəri biliklərlə praktik nümunələrin inteqrasiyası təmin olunmuşdur.

İlkin mərhələdə mövzu üzrə geniş **ədəbiyyat icmalı** aparılmışdır. Bu çərçivədə orqanik memarlığın formalaşması və inkişafı ilə bağlı klassik və müasir elmi mənbələr sistemli şəkildə təhlil edilmişdir. Xüsusilə Frank Lloyd Wright, Louis Sullivan və Eugène Viollet-le-Duc kimi memar və nəzəriyyəçilərin konseptual yanaşmaları müqayisəli şəkildə öyrənilmiş, onların irəli sürdüyü prinsiplərin müasir şəhərsalma düşüncəsində rolu müəyyənləşdirilmişdir.

Növbəti mərhələdə tədqiqatın empirik əsasını gücləndirmək məqsədilə **müqayisəli təhlil metodu** tətbiq olunmuşdur. Bu çərçivədə orqanik memarlığın müxtəlif miqyaslarda tətbiqini əks etdirən seçilmiş nümunələr araşdırılmışdır. Konkret olaraq Fallingwater və Solomon R. Guggenheim Museum kimi memarlıq obyektləri ilə yanaşı, Curitiba və Brasília şəhərlərinin planlaşdırma xüsusiyyətləri təhlil edilmişdir. Təhlil zamanı forma və funksiya münasibəti, material seçimi, landşaftla inteqrasiya və insan mərkəzli dizayn prinsipləri əsas meyarlar kimi götürülmüşdür.

Bununla yanaşı, tədqiqatda **sistem yanaşması** tətbiq edilərək şəhər mürəkkəb və dinamik bir struktur kimi dəyərləndirilmişdir. Bu kontekstdə şəhər mühitini təşkil edən memarlıq obyektləri, təbii landşaft elementləri, nəqliyyat infrastrukturu və sosial məkanlar arasında qarşılıqlı əlaqələr təhlil olunmuşdur. Bu yanaşma orqanik memarlığın yalnız ayrı-ayrı tikililər səviyyəsində deyil, bütövlükdə şəhər sistemi daxilində necə formalaşdığını anlamağa imkan vermişdir.

Eyni zamanda, **kontekstual təhlil metodu** vasitəsilə memarlıq obyektlərinin yerləşdiyi mühitlə əlaqəsi qiymətləndirilmişdir. Bu mərhələdə tikililərin təbii relyefə uyğunluğu, yerli materiallardan istifadə səviyyəsi və ekoloji təsiri kimi göstəricilər nəzərə alınmışdır. Beləliklə, obyektlərin landşaftla vizual və funksional inteqrasiyası kompleks şəkildə araşdırılmışdır.

Tədqiqatın yekun mərhələsində əldə olunan nəticələr ümumiləşdirilərək **analitik sintez** aparılmışdır. Bu proses nəticəsində orqanik memarlığın şəhər strukturunda tətbiqinə dair əsas prinsiplər sistemləşdirilmiş və onların ekoloji davamlılıq, funksional uyğunluq və estetik bütövlük baxımından əhəmiyyəti müəyyən edilmişdir.

Beləliklə, seçilmiş metodoloji çərçivə orqanik memarlığın nəzəri əsaslarını praktik nümunələrlə əlaqələndirərək onun şəhərsalma kontekstində çoxşaxəli və elmi əsaslandırılmış şəkildə dəyərləndirilməsinə imkan yaradır.

Nəticə

Nəticə etibarilə, şəhər strukturunda orqanik yanaşma memarlıq və şəhərsalma prosesinə yalnız estetik baxımdan deyil, həm də funksional, ekoloji və sosial aspektlər üzrə kompleks yanaşma təqdim edir. Araşdırma göstərir ki, orqanik memarlıq prinsipləri təbiət, insan və tikili arasında qarşılıqlı əlaqəni gücləndirərək daha davamlı və harmonik mühitin formalaşmasına şərait yaradır.

Təhlil olunan nəzəri yanaşmalar və praktik nümunələr əsasında müəyyən edilmişdir ki, landşaftla inteqrasiya, yerli və təbii materiallardan istifadə, insan mərkəzli dizayn və ekoloji davamlılıq orqanik memarlığın əsas dayaqlarını təşkil edir. Bu prinsiplərin şəhər miqyasında tətbiqi isə şəhər mühitin daha çevik, funksional və yaşana bilən olmasına imkan yaradır.

Eyni zamanda, şəhərin "canlı orqanizm" kimi qəbul edilməsi planlaşdırma prosesində dinamikliyi və uyğunlaşma qabiliyyətini ön plana çıxarır. Bu yanaşma ənənəvi sərt planlaşdırma modellərindən fərqli olaraq, təbii proseslərə uyğunlaşan, sosial və ekoloji balansı qoruyan şəhər strukturların yaradılmasına təşviq edir.

Nəticə olaraq demək olar ki, orqanik memarlıq şəhərsalma sahəsində gələcək inkişaf istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir. Bu yanaşmanın tətbiqi yalnız ətraf mühitin qorunmasına deyil, həm də insanın həyat keyfiyyətinin yüksəldilməsinə xidmət edir və müasir şəhərlərin daha dayanıqlı, harmonik və inteqrasiya olunmuş şəkildə formalaşmasına mühüm töhfə verir.

İstinadlar

1. Wright, F. L. (1954). The natural house. Horizon Press.
2. Pearson, D. (2001). New organic architecture: The breaking wave. University of California Press.
3. Alfano, F. R. (1998). Organic architecture: The other modernism. Preservation Press.
4. Frampton, K. (2007). Modern architecture: A critical history (4th ed.). Thames & Hudson.
5. Jencks, C. (2005). The iconography of architecture. Rizzoli.
6. Organic architecture. (n.d.). Smallbay. https://smallbay.ru/architec084.html
7. Wright, F. L. (1954). *The natural house*. Horizon Press.
8. Kellert, S. R. (2008). *Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life*. Wiley.
9. Ching, F. D. K. (2014). *Architecture: Form, space, and order* (4th ed.). Wiley.
10. Pearson, D. (2001). *New organic architecture: The breaking wave*. University of California Press.
11. Han, Y. (2020). Organic architecture. *Journal of Engineering and Architecture, 8*(2), 28–31.
12. Bystrova, T. Y. (2019). *Concept of organic architecture in the second half of the XXth century in the context of sustainable development*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 481(1), 012020.

KOSMİK YAŞAYIŞ MODULLARINDA ADAPTİV MEMARLIQ MÜHİTİNİN İNSAN PSİXOLOJİ KOMFORTUNA TƏSİRİ (VOYAGER H3YB3T LAYİHƏSİ ƏSASINDA)

Heybət Quliyev
Bina və qurğuların memarlığı
Baku Engineering University
Khirdalan, Azerbaijan
0009-0006-3371-6613
heybet2004quliyev@gmail.com

Xülasə: Kosmik yaşayış mühitlərində uzunmüddətli qalma zamanı insanlarda yaranan psixoloji gərginlik, monotonluq və zaman qavrayışının pozulması problemləri mövcuddur. Mövcud kosmik strukturlar texniki baxımdan inkişaf etsə də, bu problemlərin memarlıq vasitəsilə həllinə baxılmayıb. Aparılmış ədəbiyyat icmalı göstərir ki, kosmik yaşayış mühitlərində modul konstruksiya sistemləri və psixoloji uyğunlaşma ayrı-ayrılıqda tədqiq edilsə də, bu iki istiqamətin memarlıq səviyyəsində inteqrasiyası kifayət qədər işlənməmişdir. Bu baxımdan, təqdim olunan tədqiqat adaptiv modul memarlıq yanaşması ilə bu boşluğu doldurmağı hədəfləyir. Bu baxımdan, təqdim olunan tədqiqat işləri adaptasiya olunan modul memarlıq yanaşması ilə bu boşluğu doldurmağı və gələcəkdə insan + memarlıq qurğusu sistemini özündə əks etdirəcək. Buda onu göstərir ki, biz sadəcə qurğu və ya bina tikmirik həmdə insan psxologiyasına inteqrasiya olmuş mühit yaradırıq.
Açar sözlər: insan və memarlıq psixologiyası, kosmik yaşayış mühiti, psixologiya, gərginlik, zaman qavrayışı, memarlıq mühitinin həlli, monotonluq

Modul memarlıq və psixoloji adaptasiya

Kosmik yaşayış modullarında adaptiv memarlıq mühitinin insan psixologiyasına təsiri ondan ibarətdir ki, tədqiqat kosmik yaşayış mühitlərində uzunmüddətli qalma zamanı yaranan psixoloji problemlərin memarlıq vasitəsilə azaldılmasını araşdırır. Adaptiv işıqlandırma, dəyişən vizual mühit və transformasiya olunan modul məkanlar vasitəsilə insanın zaman qavrayışı, emosional sabitliyi və komfortu daha əlçatan edir. (1,2,3)

Uzunmüddətli kosmik missiyalarda (orbital stansiyalar, gələcək kosmik yaşayış platformaları) insanın qarşılaşdığı əsas problemlər:

- monotonluq
- izolasiya
- sirkadiyan (insan bədəninin bioloji saatı) ritmin pozulması

Bu problemlər əsasən psixoloji sahədə araşdırılsa da, kosmik yaşayış mühitində, memarlıq səviyyəsində həlləri zəifdir.

Kosmosda hansı rəng temperaturu istifadə olunmalıdır?

Tövsiyə olunan sistem (sirkadiyan əsaslı):

Zaman	**Rəng temperaturu**
Səhər	5000–6500K (soyuq, mavi ton)
Günorta	4000–5000K
Axşam	2700–3000K (isti ton)
Gecə	<2700K (minimum işıq)

Bu məlumatların hər biri insan düşüncəsinə , rahatlığına, komfortuna və ergonomikasına üstünlük verir. Səbəbi isə bu zamana qədər yaradılan bütün forma, əşya, bina və s. kimi hər şey insan standartlarına görə yaradılıb. Məhz buna görə də, təkcə Dünyada deyil kosmosda belə insan psixologiyasını (sirkadian, zaman qavrayışı, monotonluq) araşdırmaq və ona inteqrasiya etmək lazımdır. Cədvəl 1.

Memarlıqda işıq yalnız görmə funksiyasını təmin edən texniki element kimi deyil, insanın məkanı qavrama və hiss etmə mexanizminin əsas komponenti kimi dəyərləndirilməlidir. Juhani Pallasmaa bu yanaşmanı tənqid edərək müasir memarlığın həddindən artıq "göz mərkəzli" (ocularcentric) olduğunu

vurğulayır və bildirir ki, məkan yalnız vizual olaraq deyil, bütün bədən vasitəsilə təcrübə olunur. Onun fikrincə, işıq obyektləri sadəcə görünən etməklə kifayətlənmir, eyni zamanda məkanın emosional və psixoloji atmosferini formalaşdırır. Bu kontekstdə işığın keyfiyyəti – sərt və ya yumşaq olması, diffuz yayılması və ya birbaşa düşməsi – insanın daxili vəziyyətinə birbaşa təsir göstərir. Yumşaq və yayılmış işıq sakitlik və dərinlik hissi yaradırsa, sərt və intensiv işıq daha çox texniki və soyuq mühit təəssüratı formalaşdırır. Pallasmaa-nın yanaşmasında xüsusilə diqqət çəkən məqam kölgənin roludur. O qeyd edir ki, müasir memarlıqda kölgənin aradan qaldırılması məkanın emosional dərinliyini zəiflədir; halbuki işıq və kölgə arasındakı balans məkanın "canlı" hiss olunmasını təmin edir.

Digər mühüm aspekt işığın zamanla dəyişmə xüsusiyyətidir. Təbii işıq gün ərzində davamlı olaraq dəyişir və bu dəyişkənlik insanın bioloji ritmi ilə uyğunlaşır. Sabit və dəyişməyən süni işıq isə bu təbii ritmi pozaraq məkanı statik və "ölü" hala gətirir. Bu fikir müasir elmi yanaşmalarla, xüsusilə Circadian ritm anlayışı ilə üst-üstə düşür. Sirkadian ritm insan orqanizminin 24 saatlıq bioloji dövrünü tənzimləyir və əsasən işıq vasitəsilə idarə olunur. İşığın spektri, intensivliyi və zamanlaması beyində hormon balansına, xüsusilə Melatonin ifrazına təsir edərək yuxu, oyanıqlıq və ümumi psixoloji vəziyyəti formalaşdırır. Beləliklə, Pallasmaa-nın fenomenoloji yanaşması ilə sirkadian işıqlandırma nəzəriyyəsi arasında güclü konseptual paralel mövcuddur. Birincisi işığın emosional və duyusal təsirini vurğulayırsa, ikincisi bu təsirin bioloji əsaslarını elmi şəkildə izah edir. Bu iki istiqamətin inteqrasiyası memarlıqda işığın yalnız estetik deyil, həm də funksional və insan mərkəzli bir dizayn alətinə çevrilməsinə imkan yaradır. Nəticə etibarilə, müasir memarlıqda işıqlandırma strategiyaları həm məkanın atmosferini formalaşdırmalı, həm də insanın psixoloji və fizioloji rifahını dəstəkləyən dinamik sistem kimi qurulmalıdır. (4)

Memarlıqda məkanın dəyəri yalnız fiziki forma ilə deyil, onun yaratdığı "atmosfer" ilə müəyyən olunur. Peter Zumthor bu anlayışı məkanın insan üzərində yaratdığı ani və emosional təsir kimi izah edir. Onun fikrincə, memarlıq rasional analizdən əvvəl hiss olunur; yəni insan bir məkana daxil olduqda əvvəlcə onu "anlayır", sonra isə analiz edir. Zumthor-a görə atmosfer bir neçə əsas komponentin sintezindən yaranır və bu komponentlər arasında işıq ən həlledici rolu oynayır. İşıq məkanı sadəcə görünən etmir, onun xarakterini və emosional tonunu müəyyənləşdirir. Təbii işıq xüsusilə vacibdir, çünki gün ərzində dəyişərək məkanın dinamik və "yaşayan" hiss olunmasına səbəb olur. Bu dəyişkənlik insanın daxili ritmi ilə uyğunlaşaraq məkanla istifadəçi arasında daha dərin əlaqə yaradır.

Memarlıqda material və işıq qarşılıqlı işləyən sistem kimi qəbul edilir. Eyni işıq müxtəlif materiallarda fərqli təsir yaradır və bu, məkanın emosional qəbulunu dəyişir. Zumthor üçün əsas məqsəd texniki mükəmməllik deyil, "düzgün hiss" yaradan mühit qurmaqdır. Bu səbəbdən o, işığın sərt və ya yumşaq, birbaşa və ya dolayı olmasını şüurlu şəkildə idarə etməyi memarlığın əsas alətlərindən biri kimi görür. Onun yanaşmasında məkanın atmosferi əvvəlcədən planlaşdırılan texniki parametrlərdən çox, istifadəçinin həmin məkanla qurduğu emosional əlaqə ilə ölçülür. Bu baxımdan işıq məkanın psixoloji təsirini formalaşdıran əsas faktor kimi çıxış edir. (5)

Şəkil 1.




Şəkil 2.


Şəkil 3.

Memarlıqda təbii işıq yalnız funksional işıqlandırma vasitəsi deyil, məkanın strukturunu, ritmini və emosional təsirini formalaşdıran əsas dizayn elementidir. Henry Plummer təbii işığı memarlığın "görünməyən materialı" kimi təqdim edir və onun məkan daxilində müxtəlif formalarda davranaraq fərqli təcrübələr yaratdığını göstərir.

Plummer-in yanaşmasına görə işıq statik deyil, zamanla dəyişən dinamik bir sistemdir. Günəşin hərəkəti nəticəsində işığın istiqaməti, intensivliyi və rəngi dəyişir və bu dəyişikliklər məkanın daimi transformasiyasına səbəb olur. Bu proses nəticəsində məkan "sabit obyekt" olmaqdan çıxaraq zamanla yaşayan bir mühitə çevrilir. Təbii işığın memarlıqda istifadəsi müxtəlif strategiyalar vasitəsilə həyata keçirilir: birbaşa işıq (direct light), dolayı və yayılmış işıq (diffuse light), filtrdən keçən işıq (filtered light) və məkan daxilində yönləndirilmiş işıq. Bu müxtəlif işıq tipləri fərqli psixoloji təsirlər yaradır — birbaşa işıq aktivlik və enerji hissi doğurarkən, diffuz işıq sakitlik və balans yaradır. Plummer həmçinin işığın materiallarla qarşılıqlı təsirinə xüsusi diqqət yetirir. Səthlərin teksturası, rəngi və reflektiv xüsusiyyətləri işığın qəbulunu dəyişir və nəticədə məkanın emosional tonu formalaşır. Bu baxımdan işıq və material ayrılmaz sistem kimi işləyir. Onun yanaşmasında ən vacib məqamlardan biri işığın ritmik və təkrarlanan dəyişikliklər vasitəsilə insanın məkanla əlaqəsini gücləndirməsidir. Bu dəyişkənlik insanın daxili zaman hissi ilə uyğunlaşaraq məkanın daha təbii və rahat qəbul olunmasına şərait yaradır.

(6)

Yer üzündə psixoloji komfortu təmin edən memarlıq faktorları kosmik mühitdə daha kritik hala gəlir, çünki təbii stimulların olmaması bu faktorların süni şəkildə yenidən qurulmasını tələb edir. Aşağıda verilən

siyahıda kosmik mühitdə insan psixologiyası, komfortu və ergonomikliyi nə qədər optimal olacaq ona nəzər salaq.

I. Memarlıq faktorları və onların təsiri
II. Psixoloji komfort anlayışı
III. Pallasmaa + Zumthor + Plummer
IV. Sirkadian
V. Yer mühiti nəticə
VI. Kosmos mühitində problem
VII. Təklif olunan yanaşma

Memarlıq mühiti insanın yalnız fiziki ehtiyaclarını deyil, eyni zamanda psixoloji vəziyyətini formalaşdıran əsas faktor kimi çıxış edir. Psixoloji komfort dedikdə, fərdin özünü təhlükəsiz, sabit və orientasiya olunmuş hiss etməsi, stress səviyyəsinin aşağı olması və məkanla uyğun emosional əlaqə qurması nəzərdə tutulur. Bu anlayış memarlıqda istifadəçinin məkan daxilində davranışını, qərarvermə prosesini və ümumi rifahını birbaşa təsir altına alır. (I)

Psixoloji komfort müxtəlif memarlıq komponentlərinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində formalaşır.

İşıq bu faktorlar arasında ən kritik komponentdir. Juhani Pallasmaa və Peter Zumthor işığın yalnız vizual deyil, emosional təsir yaratdığını vurğulayır. Henry Plummer isə işığın məkan daxilində dinamik şəkildə dəyişərək istifadəçi təcrübəsini formalaşdırdığını qeyd edir. Bu yanaşma Circadian ritm ilə uyğunlaşır və işığın insan biologiyasına təsirini göstərir.

Məkanın forması və miqyası insanın özünü məkan daxilində necə hiss etməsinə təsir edir. Həddindən artıq böyük və ya çox dar məkanlar narahatlıq yarada bilər. İnsan ölçüsünə uyğun dizayn isə təhlükəsizlik hissini artırır. Material və tekstura da psixoloji təsirə malikdir. Təbii və yumşaq materiallar rahatlıq hissi yaradır, sərt və soyuq səthlər isə emosional məsafə yaradır.

Rəng və vizual kompozisiya insanın emosional vəziyyətinə təsir edir. Balanslı rəng istifadəsi sabitlik yaradır, həddindən artıq kontrast və ya monotonluq isə narahatlıq doğura bilər. Orientasiya və məkanın oxunaqlılığı da vacibdir. İstifadəçi məkan daxilində istiqamətini itirmədikdə stress azalır və davranış daha sabit olur. Akustik mühit də psixoloji komfortun ayrılmaz hissəsidir. Səs səviyyəsinin balanslı olması rahatlıq yaradır, həddindən artıq səs və ya tam səssizlik narahatlıq yarada bilər. (II)

Memarlıqda psixoloji komfort anlayışı müxtəlif nəzəri yanaşmalarla izah olunur. Juhani Pallasmaa memarlığın çoxsensorlu təcrübə olduğunu və məkanın yalnız görmə ilə deyil, bütün bədən vasitəsilə qavranıldığını qeyd edir. Peter Zumthor isə məkanın əsas dəyərinin onun yaratdığı atmosferdə olduğunu vurğulayır. Henry Plummer təbii işığın memarlıqda dinamik və struktur element kimi rolunu göstərərək bu yanaşmaları praktik müstəviyə keçirir. (III)

İşığın insan psixologiyasına təsiri yalnız emosional deyil, bioloji əsaslara da malikdir. Circadian ritm insanın 24 saatlıq bioloji ritmini tənzimləyir və bu sistem əsasən işıq vasitəsilə idarə olunur. İşığın intensivliyi və spektri hormon ifrazına, xüsusilə Melatonin səviyyəsinə təsir edir. Bu isə yuxu, oyanıqlıq və ümumi psixoloji vəziyyətə birbaşa təsir göstərir. (IV)

Yer üzündə memarlıq bu faktorları təbii elementlərlə birlikdə istifadə edərək psixoloji komfortu təmin edir. Gün işığı, təbii landşaft və açıq məkanlar insanın bioloji və psixoloji balansını dəstəkləyir. Memarlıq bu sistemin bir hissəsi kimi çıxış edir və mövcud təbii ritmləri gücləndirir. (V)

Kosmik mühitdə isə bu təbii faktorlar mövcud deyil. Qapalı strukturlar, süni işıqlandırma və məhdud həcm insanın psixoloji vəziyyətinə mənfi təsir göstərə bilər. Əsas problemlər arasında sirkadian ritmin pozulması, sosial izolasiya, monoton vizual mühit və orientasiya çətinlikləri yer alır. Bu şəraitdə psixoloji komfort avtomatik yaranmır və xüsusi dizayn yanaşması tələb edir. (VI)

Kosmik memarlıqda psixoloji komfortu təmin etmək üçün memarlıq mühiti süni şəkildə yenidən qurulmalıdır. Dinamik işıqlandırma sistemləri vasitəsilə gün dövrü simulyasiya olunmalı, məkanın forması və miqyası insan ölçüsünə uyğunlaşdırılmalı, material və rəng seçimi balanslı şəkildə tətbiq edilməlidir. Bundan əlavə, məkan daxilində orientasiya sistemləri və vizual müxtəliflik yaradılmalıdır. Bu yanaşma memarlığı yalnız fiziki struktur deyil, insanın psixoloji və bioloji ehtiyaclarını qarşılayan kompleks sistem kimi təqdim edir. (VII)

Faktor	Psixoloji təsir	Kosmosda problem	Dizayn həlli
İşıq	Fokus, ritm	Sirkadian pozuntu	Dinamik LED sistem
Forma	Təhlükəsizlik	Claustrophobia	Modul dizayn
Material	Rahatlıq	Soyuq mühit	Yumşaq tekstura
Rəng	Emosiya	Monotonluq	Rəng zonaları

Cədvəl 1.

Kosmik yaşayış mühitində memarlıq yalnız fiziki məkan deyil, insanın psixoloji vəziyyətinə uyğunlaşan dinamik sistem kimi formalaşdırılmalıdır. Təklif olunan adaptiv memarlıq sistemi kosmik yaşayış mühitlərində insanın psixoloji komfortunu artırmaq, zaman qavrayışını sabitləşdirmək və uzunmüddətli yaşayışı mümkün etmək üçün effektiv yanaşma kimi çıxış edir.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1. Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). (2000). The IESNA lighting handbook. Illuminating Engineering Society of North America, NY.
2. Harrison, A.A., & Connors, M.M. (1990). Human factors in spacecraft design. Journal of Spacecraft and Rockets, 27(5), 478-481.
3. Sanders, M., & McCormick, E. (1993). Human Factors in Engineering and Design (7th ed.). New York: McGraw-Hill, Inc.
4. Pallasmaa, J. (2012). *The eyes of the skin: Architecture and the senses* (3rd ed.). Chichester, UK: Wiley.
5. Zumthor, P. (2006). *Atmospheres: Architectural environments, surrounding objects*. Basel, Switzerland: Birkhäuser.
6. Plummer, H. (2009). *The architecture of natural light*. New York, NY: Monacelli Press.

TARİXİ YAŞAYIŞ MƏHƏLLƏLƏRİNİN MEMARLIQ KİMLİYİNİN BƏRPASI VƏ ADAPTASİYASI

Nəsir Abdullayev
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat / Memarlıq Mühitinin Dizaynı
anesir4@gmail.com
Bakı, Azərbaycan
0009-0003-2471-7102

Xülasə: Məqalədə tarixi yaşayış məhəllələrinin memarlıq kimliyinin qorunaraq yenilənməsi və onların müasir şəhər həyatına uyğunlaşdırılması üçün elmi əsaslara söykənən konseptual çərçivə irəli sürülür. Tədqiqat beynəlxalq qoruma sənədlərinin, ixtisas ədəbiyyatının və milli normativ-hüquqi mənbələrin müqayisəli təhlili əsasında qurulmuşdur. Araşdırmada göstərilir ki, tarixi mühitin kimliyinin saxlanılmasında autentiklik, geri çevrilə bilən müdaxilə, kontekstual uyğunluq və ictimai iştirak başlıca prinsiplərdir. Beynəlxalq nümunələrin təhlili sübut edir ki, uğurlu bərpa yalnız konstruktiv və estetik müdaxilələrin səviyyəsi ilə deyil, həm də idarəetmə keyfiyyəti, hüquqi təminat və yerli icmalarla

koordinasiya ilə müəyyən olunur. Bakı şəhərinin tarixi yaşayış məhəllələri üçün təklif edilən yanaşma UNESCO-nun qoruma prinsipləri, Venesiya Xartiyası və Azərbaycan Respublikasının mədəni irsin mühafizəsi üzrə hüquqi çərçivəsi ilə uzlaşan praktik icra ardıcıllığı formalaşdırır.
Açar sözlər: *tarixi məhəllə, memarlıq kimliyi, bərpa, adaptasiya, mədəni irs, Venesiya Xartiyası, Bakı.*
Abstract: The article proposes a conceptually grounded methodological framework for the restoration of the architectural identity of historic residential neighbourhoods and their adaptation to contemporary urban life. The study is based on a comparative review of international conservation documents, academic literature, and national regulatory sources. It argues that authenticity, reversibility of intervention, contextual compatibility, and community participation are the key principles for preserving the identity of historic environments. The examination of international practice demonstrates that successful restoration depends not only on the technical quality of interventions but also on institutional coordination, legal support, and cooperation with local communities. The approach suggested for the historic neighbourhoods of Baku establishes a practical sequence of implementation aligned with UNESCO conservation principles, the Venice Charter, and the national legal framework for cultural heritage protection.
Key words: historic neighbourhood, architectural identity, restoration, adaptation, cultural heritage, Venice Charter, Baku.

I. GİRİŞ

UNESCO-nun 2023-cü il üzrə statistik məlumatlarında dünya miqyasında 1-121 mədəni irs obyektinin Dünya İrsi Siyahısına daxil edildiyi göstərilir. Bununla yanaşı, həmin obyektlərin mühüm bir hissəsi sürətli urbanizasiya, iri infrastruktur layihələri, iqlim dəyişmələrinin təsiri və institusional idarəetmədəki boşluqlar səbəbindən qorunma baxımından mürəkkəb çağırışlarla üz-üzə qalır. Tarixi yaşayış məhəllələri bu mənada xüsusi həssaslıq daşıyır: onlar həm yaşayan şəhər toxumasının gündəlik istifadə olunan hissəsidir, həm də uzun dövr ərzində formalaşmış memarlıq, sosial və mədəni kimliyin daşıyıcısı kimi çıxış edir.

Tarixi yaşayış məhəlləsinin memarlıq kimliyi anlayışı yalnız tikililərin fasad görünüşü ilə məhdudlaşmır. Buraya küçə-plan quruluşu, daxili həyətlərin təşkili, istifadə olunan materialların rəng və fakturası, qapı və pəncərə proporsiyaları, dam silueti, yaşıllıq elementləri, keçidlər, məhəllədaxili ictimai məkanlar və ümumi vizual atmosfer daxildir. Lakin bu sistem təkcə fiziki əlamətlərdən ibarət deyildir; o, kollektiv yaddaş, məhəllə münasibətləri, məişət vərdişləri və mədəni davamlılıq kimi qeyri-maddi dəyərlərlə də sıx bağlıdır.

Ənənəvi qoruma təcrübəsində tez-tez iki zidd yanaşma müşahidə olunur. Birinci halda tarixi mühit sərt konservasiya obyektinə çevrilir və canlı şəhər həyatının tələblərinə cavab verməkdə çətinlik çəkir. İkinci halda isə modernləşmə adı altında aparılan dəyişikliklər nəticəsində tarixi toxumanın əsas xüsusiyyətləri geri dönməz şəkildə zəifləyir və ya itir. Bu səbəbdən əsas məsələ tarixi dəyərləri qorumaqla yanaşı, məhəllənin müasir yaşayış standartlarına uyğun funksional mühit kimi yaşamasını təmin edən balanslı yanaşmanın formalaşdırılmasıdır. 1964-cü il Venesiya Xartiyası bu sahədə autentiklik, minimum müdaxilə, sənədləşdirmə və dönüşümlülük kimi baza prinsipləri müəyyən etmiş, sonrakı dövrdə Nara Sənədi və Tarixi Şəhər Mənzərəsi tövsiyəsi bu çərçivəni daha da genişləndirmişdir.

Azərbaycan reallığında mövzu ayrıca əhəmiyyət kəsb edir. İçərişəhərin 2000-ci ildən UNESCO Dünya İrsi Siyahısında yer almasına baxmayaraq, Bakının Keşlə, Biləcəri, Suraxanı, Zabrat və Maştağa kimi tarixi yaşayış arealları hələ də sistemli qoruma siyasətinin periferiya zonasında qalır. 1998-ci il tarixli "Tarix və mədəniyyət abidələrinin qorunması haqqında" Azərbaycan Respublikası Qanunu ümumi hüquqi çərçivəni təqdim etsə də, tətbiq mexanizmlərinin gücləndirilməsi, yerli təşəbbüslərin stimullaşdırılması və metodoloji standartların vahidləşdirilməsi istiqamətində boşluqlar qalmaqdadır.

II. TƏDQİQATIN MƏQSƏDİ VƏ METODOLOJİ YANAŞMA

Bu tədqiqatın əsas məqsədi tarixi yaşayış məhəllələrinin memarlıq kimliyinin mühafizəsi və onların çağdaş şəhər həyatına uyğunlaşdırılması üçün elmi cəhətdən əsaslandırılmış, kontekstə həssas metodoloji model təqdim etməkdir. Araşdırma konkret bir pilot layihənin mühəndis-texniki nəticələrini təsvir etməkdən daha çox, müxtəlif nəzəri və normativ mənbələrin müqayisəli ümumiləşdirilməsinə əsaslanır.

Metodoloji çərçivə üç istiqamətli mənbə bazasının sintezi üzərində qurulmuşdur. Birinci qrup memarlıq kimliyi, bərpa nəzəriyyəsi, adaptiv yenidən istifadə və autentiklik mövzularına həsr olunmuş elmi nəşrləri əhatə edir. İkinci qrupa Venesiya Xartiyası, Nara Sənədi və UNESCO-nun Tarixi Şəhər Mənzərəsi üzrə tövsiyəsi kimi beynəlxalq qoruma sənədləri daxildir. Üçüncü qrup isə milli mədəni irs qanunvericiliyini və şəhər inkişafını tənzimləyən siyasət sənədlərini birləşdirir. Bu üç istiqamətin müqayisəli təhlili əsasında tarixi məhəllələrin bərpası üçün mərhələli konseptual model formalaşdırılmışdır.

III. TƏKLİF OLUNAN BƏRPA VƏ ADAPTASİYA METODOLOGİYASI

Təklif edilən metodologiya tarixi yaşayış məhəlləsinin bərpasını birdəfəlik tikinti müdaxiləsi kimi deyil, davamlı nəzarət, ictimai iştirak və mərhələli qərarvermə ilə müşayiət olunan inteqral idarəetmə prosesi kimi nəzərdən keçirir.

1. Kimlik inventarı və dəyər xəritəsi. İlkin mərhələdə məhəllənin memarlıq kimliyini yaradan bütün maddi və qeyri-maddi komponentlər sistemli şəkildə sənədləşdirilməlidir. Bu işə fasadların analizi, materialların kataloqlaşdırılması, hündürlük və miqyas müqayisəsi, rəng palitrasının qeydiyyatı, küçə siluetinin öyrənilməsi, tarixi foto və aeroşəkillərin müqayisəsi, arxiv sənədlərinin toplanması və sakinlərlə dərinləşdirilmiş müsahibələrin aparılması daxildir. Nəticədə hər bir bina, küçə oxu və ictimai məkan üzrə tarixi, estetik və sosial dəyərləri əks etdirən xəritələşdirilmiş sənəd bazası formalaşır. Bu baza sonrakı bütün qərarların əsas istinad nöqtəsi kimi çıxış edir.

2. Dəyər iyerarxiyası və müdaxilə zonalaşdırılması. Kimlik inventarının nəticələri əsasında məhəllə ərazisi dəyər səviyyəsinə və müdaxilə intensivliyinə görə zonalara ayrılır. Tarixi toxumanı maksimum dərəcədə qoruyan sahələr sərt mühafizə rejimi tələb edir. Kimlik dəyəri orta olsa da funksional aşınmaya məruz qalmış zonalarda reabilitasiya və kontekstual yaxşılaşdırma tədbirləri tətbiq edilə bilər. Kimlik göstəriciləri zəif, lakin şəhərsalma baxımından strateji mövqedə yerləşən hissələrdə isə diqqətli və məhdud yeni əlavələr mümkündür. Belə bölgü hər bir müdaxilənin dərəcəsini və sərhədlərini aydın müəyyənləşdirməyə imkan verir.

3. Autentiklik prinsipinə əsaslanan bərpa müdaxilələri. Venesiya Xartiyasının yanaşmasına uyğun olaraq tarixi materialların, konstruktiv sistemlərin və dekorativ elementlərin mümkün qədər yerində və orijinal texnologiyalar əsasında qorunması üstün tutulmalıdır. Praktiki baxımdan bu, daş və kərpic hörgülərinin möhkəmləndirilməsi, taxta pəncərə çərçivələrinin, keramika örtüklərinin və memarlıq detallarının konservasiyası, zəruri hallarda isə eyni və ya uyğun texnologiya ilə tamamlanması deməkdir. Yeni material tətbiqi qaçılmaz olduqda həmin elementlər tarixi hissələrlə qarışdırılmadan seçilə bilməli, lakin miqyas, ritm, rəng və ümumi vizual uyğunluq baxımından mühitin xarakterini pozmamalıdır.

4. Adaptiv yenidən istifadə və funksional uyğunlaşdırma. Tarixi binaların yalnız muzey və ya turist məkanı kimi saxlanılması əksər hallarda yaşayış məhəlləsinin sosial dinamizmini zəiflədir. Buna görə də kooperativ emalatxanalar, kitabxanalar, mədəniyyət və icma mərkəzləri, kiçik ailə tipli qonaq evləri və digər ictimai-faydalı funksiyaların tarixi strukturlara ehtiyatla inteqrasiyası daha dayanıqlı yanaşma kimi qiymətləndirilə bilər. Burada əsas prinsip müdaxilələrin geri çevrilə bilməsi, yəni yeni quruluşların tarixi substansiyaya daimi zərər vermədən sonradan çıxarıla bilməsidir.

5. İctimai iştirak, sosial davamlılıq və idarəetmə. Tarixi məhəllələrin bərpasında ən həssas məsələlərdən biri qiymət artımı və funksional transformasiya nəticəsində yerli əhalinin sıxışdırılması riskidir. Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, bu təhlükəni minimuma endirmək üçün sakinlərin planlaşdırma prosesinə cəlb olunması, kirayə və istifadə rejimlərinin tənzimlənməsi, əlçatan maliyyələşdirmə mexanizmlərinin qurulması və məhəllə əsaslı idarəetmə modellərinin tətbiqi vacibdir. Bologna təcrübəsi göstərir ki, tarixi yaşayış sahəsinin canlı qalması texniki bərpa ilə yanaşı, sosial sabitliyin də qorunmasından asılıdır.

IV. NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

Təklif olunan metodologiyanın başlıca üstünlüyü ondadır ki, memarlıq kimliyi burada dəyişməz və yalnız vizual qorunmalı obyekt kimi deyil, sosial münasibətlər, gündəlik istifadə və şəhər inkişafı ilə birlikdə idarə olunan canlı dəyər sistemi kimi qəbul edilir. Elmi mənbələr də göstərir ki, autentiklik bütün mədəniyyətlər üçün eyni formal meyarlarla ölçülə bilməz; bu baxımdan Nara Sənədi universal şablondan daha çox, kontekstə həssas qiymətləndirmə mexanizmi təklif edir. Bakı kimi Şərq və Qərb memarlıq qatlarının kəsişdiyi şəhər üçün bu yanaşma xüsusi aktualdır.

Adaptiv yenidən istifadə şəhər planlaşdırılması baxımından yalnız qoruma aləti deyildir. O, tarixi fondun iqtisadi və ictimai dövriyyədə qalmasını, ictimai məkanların keyfiyyətinin yüksəlməsini və mədəni aktivliyin davamlı inkişafını dəstəkləyir. Müqayisəli beynəlxalq tədqiqatlar göstərir ki, düzgün idarə olunan adaptiv bərpa layihələri məkanın ümumi cəlbediciliyini artırır, dayanıqlı turizm potensialını gücləndirir və şəhər mühitinin istifadə dəyərini yüksəldir. Bununla belə, bu nəticələr yalnız sosial ədalət mexanizmləri ilə tamamlandıqda uzunmüddətli və balanslı olur.

Azərbaycan kontekstində mövcud hüquqi çərçivənin müəyyən təkmilləşdirmələrə ehtiyac duyduğu aydın görünür. Abidə statusu daşımayan, lakin tarixilik və yerli kimlik baxımından yüksək dəyərə malik tikililər üçün ayrıca qoruma mexanizmlərinin yaradılması, bələdiyyələrin və yerli idarəetmə qurumlarının texniki

imkanlarının artırılması, habelə özəl mülkiyyətçilər üçün vergi və maliyyə təşviqlərinin formalaşdırılması praktik icra baxımından mühüm addımlar hesab oluna bilər.

Eyni zamanda qeyd edilməlidir ki, bu məqalə Bakının konkret tarixi məhəlləri üzrə pilot layihə məlumatlarına əsaslanmır. Buna görə də xərc optimallaşdırılması, turizm gəlirləri, sosial rifah və istifadə intensivliyi kimi kəmiyyət göstəricilərinin tam dəyərləndirilməsi yalnız gələcək pilot tətbiqlər, sahə müşahidələri və müqayisəli ölçmə metodikaları əsasında mümkün olacaqdır.

V. YEKUN NƏTİCƏ

Tarixi yaşayış məhəllələrinin memarlıq kimliyinin bərpası və adaptasiyası müasir şəhərsalmanın ən mürəkkəb və çoxtərəfli problemlərindən biridir. Məqalədə təqdim olunan beşmərhələli metodologiya kimlik inventarının hazırlanmasından başlayaraq dəyər zonalaşdırılması, autentik müdaxilə prinsipləri, adaptiv yenidən istifadə və ictimai iştirak əsasında idarəetməyə qədər ardıcıl bir çərçivə yaradır.

Araşdırmanın nəticələri göstərir ki, tarixi məhəllələrin qorunmasının real əhəmiyyəti yalnız estetik bərpada deyil, mədəni davamlılığın saxlanılmasında, sosial mühitin tarazlığında, resurslardan səmərəli istifadədə və şəhər kimliyinin uzunmüddətli mühafizəsində ifadə olunur. Azərbaycan, xüsusilə də Bakı üçün bu yanaşmanın praktik dəyəri milli irs siyasətini, 2040-cı ilə qədər olan şəhərsalma prioritetlərini və UNESCO qarşısında götürülmüş öhdəlikləri vahid metodoloji platformada birləşdirmək imkanındadır. Növbəti mərhələdə təklif edilən modelin konkret tarixi məhəllə üzərində sınaqdan keçirilməsi və institusional tərəfdaşlıq mexanizmlərinin qurulması məqsədəuyğun görünür.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. UNESCO. World Heritage List Statistics. Paris: UNESCO World Heritage Centre, 2023. Available at: https://whc.unesco.org/en/list/stat (accessed: 17.04.2026).
2. ICOMOS. The Venice Charter: International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites. Venice: ICOMOS, 1964. Available at: https://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts/179-the-venice-charter (accessed: 17.04.2026).
3. ICOMOS. The Nara Document on Authenticity. Nara: ICOMOS, 1994. Available at: https://www.icomos.org/en/what-we-do/focus/authenticity (accessed: 17.04.2026).
4. UNESCO. Recommendation on the Historic Urban Landscape. Paris: UNESCO, 2011. Available at: https://www.unesco.org/en/historic-urban-landscape (accessed: 17.04.2026).
5. Jokilehto J. A History of Architectural Conservation. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999. 354 p.
6. Feilden B.M. Conservation of Historic Buildings. 3rd ed. Oxford: Architectural Press, 2003. 406 p.
7. Bullen P.A., Love P.E.D. Adaptive reuse of heritage buildings. Structural Survey. 2011;29(5):411-421. DOI: 10.1108/02630801111182439.
8. Tiesdell S., Oc T., Heath T. Revitalizing Historic Urban Quarters. Oxford: Architectural Press, 1996. 241 p.
9. Pendlebury J. Conservation in the Age of Consensus. London: Routledge, 2009. 272 p.
10. Logan W.S. Closing Pandora's Box: Human Rights Conundrums in Cultural Heritage Protection. In: Silverman H., Ruggles D.F., eds. Cultural Heritage and Human Rights. New York: Springer; 2007. p. 33-52.
11. Rodwell D. Conservation and Sustainability in Historic Cities. Oxford: Blackwell, 2007. 296 p.
12. Zancheti S.M., Jokilehto J. Values and urban conservation planning: Some reflections on principles and definitions. Journal of Architectural Conservation. 1997;3(1):37-51. DOI: 10.1080/13556207.1997.10784954.
13. Cercleux A.-L., Merciu C., Peptenatu D., Drăghici C., Pintilii R. Heritage conservation, local development and tourism: Toward sustainable management of historical neighbourhoods. Procedia Environmental Sciences. 2012;14:65-73. DOI: 10.1016/j.proenv.2012.03.007.
14. Cervellati P.L., Scannavini R. Bologna: politica e metodologia del restauro nei centri storici. Bologna: Il Mulino, 1973. 188 p.
15. Azərbaycan Respublikası. "Tarix və mədəniyyət abidələrinin qorunması haqqında" Qanun. Bakı, 10 aprel 1998. Available at: https://e-qanun.az/framework/3710 (accessed: 17.04.2026).
16. Azərbaycan Respublikası Dövlət Şəhərsalma və Arxitektura Komitəsi. Bakı şəhərinin 2040-cı ilə qədər olan Baş Planı təsdiq edildi. 30.12.2023. Available at: https://arxkom.gov.az/media/xeberler/baki-seherinin-2040-ci-ile-qeder-olan-bas-plani-tesdiq-edildi (accessed: 17.04.2026).
17. UNESCO. Walled City of Baku with the Shirvanshah's Palace and Maiden Tower. Available at: https://whc.unesco.org/en/list/958 (accessed: 17.04.2026).

DAYANIQLI ŞƏHƏRSALMA VƏ SÜNİ İNTELLEKTLƏ AĞILLI MEMARLIQ

Dosent Dr. Aytəkin Əfəndiyeva
Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Magistratura Mərkəzi, Layihə İdarəetmə Bölümü, Bakı, Azərbaycan
aytek@mail.ru
Azərbaycan, Bakı

Dosent Dr. Gülnar Qurbanova
Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Magistratura Mərkəzi, Layihə İdarəetmə Bölümü, Bakı, Azərbaycan
gurbanovagulnar86@gmail.com
Azərbaycan, Bakı

Magistr Vəfa Məmmədova *
Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti
memmedova.vafa@gmail.com
Azərbaycan, Bakı

Xülasə: Bakı şəhərinin relyefi, tarixi-mədəni mühiti və mövcud urban strukturu Çin Shenzhen şəhərinin yüksək sıxlıqlı vertikal şəhərsalma modelini birbaşa tətbiq etməyə imkan vermir. Lakin modelin bəzi komponentləri, xüsusilə şaquli yaşıllaşdırma, dam bağları, sky garden-lər və mikro-parklardan ibarət landşaft həlləri, şəhərin ekoloji və sosial mühitinin yaxşılaşdırılması üçün adaptasiya oluna bilər. Qaradağ ərazisi isə aşağı tikinti intensivliyi və şəhərə yaxın yerləşməsi səbəbindən yeni urban layihələr üçün perspektivli sahə hesab olunur. Süni intellekt texnologiyaları urban planlaşdırmada strateji əhəmiyyət daşıyır, şəhər ərazisinin inkişafını optimallaşdırmaq, əhali sıxlığını və ekoloji yükü proqnozlaşdırmaq, eləcə də yaşıl sahələrin effektiv yerləşdirilməsini təmin etmək üçün istifadə edilə bilər. Belə yanaşma həm estetik, həm ekoloji, həm də sosial dayanıqlılığı təmin edərək şəhərin həyat keyfiyyətini yüksəldir və Qaradağ ərazisinin urbanizasiyasında yeni imkanlar açır.
Açar sözlər: *Şəhərsalma, memarlıq və psixologiya, insan davranışı, landşaft, Süni İntellekt*

Giriş.

Urbanizasiya prosesi XXI əsrdə şəhərsalma və memarlıq sahələrində ən böyük çağırışlardan biri kimi qarşıya çıxır. Böyük şəhərlərdə əhalinin sıxlığı artdıqca torpaq resursları həm fiziki, həm də iqtisadi baxımdan məhdudlaşır. Bu vəziyyət hündür mərtəbəli yaşayış binalarının inşasına təkan verir, lakin açıq və yaşıl sahələrin azalması, mikroiqlimin dəyişməsi və sosial qarşılıqlı əlaqələrin zəifləməsi kimi problemləri də özü ilə gətirir. Tədqiqatlar göstərir ki, təbiət mühiti insanın fizioloji və psixoloji sağlamlığına müsbət təsir göstərir. Pəncərədən görünən yaşıl mənzərə, virtual və ya şaquli landşaftlar stressin azalmasına, diqqətin bərpasına və sosial əlaqələrin güclənməsinə şərait yaradır. Həmçinin, böyük şəhərlərdə torpaq sahələrinin məhdudluğu səbəbindən bu təsirlərə real çıxış hər zaman mümkün olmur.
Shenzhen şəhəri nümunəsi göstərir ki, şaquli landşaft və sky garden-lərin tətbiqi şəhər mühitində həm ekoloji, həm sosial, həm də iqtisadi faydalar təmin edə bilər. Bu strategiyalar istilik adası effektinin azaldılmasına, yağış sularının idarə olunmasına, əhalinin sosial və psixoloji rifahının yüksəlməsinə imkan yaradır. Bakı şəhərinin urbanizasiyası və hündür mərtəbəli binaların çoxluğu fonunda bu yanaşmalar perspektivli strategiya kimi qiymətləndirilə bilər.

Landşaft azlığının insan psixologiyasına təsiri

Urbanizasiya prosesi və böyük şəhərlərdə əhalinin yüksək sıxlığı insanların məskunlaşma sahələrinin məhdudlaşmasına səbəb olur. Bu vəziyyət nəticəsində şəhər daxilində torpaq resursları həm fiziki, həm də iqtisadi baxımdan məhdudlaşır; xüsusilə torpaq qiymətlərinin artması, yaşıl sahələrin qorunmasını və yeni layihələrin planlanmasını çətinləşdirir.

Məhdud torpaq sahəsi və artan əhali sıxlığı şəhərsalma strategiyalarında hündür mərtəbəli yaşayış binalarının inşasına yönəlməyə səbəb olur. Hündür mərtəbəli binalar şəhərdə məskunlaşma problemini müəyyən dərəcədə həll etsə də, ekoloji və sosial baxımdan yeni çətinliklər yaradır. Belə binaların çoxluğu

açıq və yaşıl sahələrin azalmasına, şəhər içi mikromühitdə temperaturun yüksəlməsinə, havanın keyfiyyətinin pisləşməsinə və suyun torpaqdan sızmasının məhdudlaşmasına səbəb olur. Eyni zamanda, hündür mərtəbəli yaşayış məhəllələrində sosial qarşılıqlı əlaqə və icma quruculuğu zəifləyir, bu da insanlar arasında izolyasiya və psixososial gərginliyi artırır.

Cədvəl 1. Təbiətin insan psixikasına təsiri tədqiqatlarının müqayisəli təhlili

İş	**Məqsəd**	**Metod**	**Nəticə**
Rocer Ulrixin - Pəncərədən görünüş əməliyyatdan sonra sağalmaya təsir göstərə bilər	böyrək daşı əməliyyatı keçirmiş xəstələrin sağalma prosesin izləmək	Təbii müşahidə	Pəncərədən təbiət mənzərəsi görən xəstələr əməliyyatdan sonra daha tez sağalır, beton divar və asfalt görünənlərdə isə sağalma ləng olur.
Frensis Kuo və Uilyam Sallivan - Şəhər Təbiətinin Meyvəsi: Həyati Qonşuluq Məkanları	Sosiallaşma və xoşbəxtlik səviyyəsinin ölçülməsi	Təbii müşahidə	Yaşıl mühitdə yaşayan insanlar daha xoşbəxt və təhlükəsiz hiss edir; yaşıl sahələr sosial əlaqələri gücləndirir, qonşular arasındakı ünsiyyəti artırır və aqressiya ilə cinayət halları azalır.
Kollin Ellard - Virtual Təbiət Mühitlərinin Bərpaedici Təsirləri	Təbiətin insan psixikasına təsirinin bioloji və psixoloji mexanizmlərini müəyyən etmək.	Eksperimental Laborator metod	Virtual təbiət mənzərələri insan psixikasına müsbət təsir göstərir və bərpaedici təsir yaradır; real təbiətə çıxışı olmayanlar üçün effektiv alternativdir.
Piter Kan - Təbii mühitin bərpaedici təsirinin simulyasiya edilmiş təbii mühitin bərpaedici təsirinin müqayisəsi	Real təbiət və virtual mənzərənin insan psixikasına təsirini müqayisəsi	Müqayisəli eksperimental Laborator metod	Real təbiət mənzərəsi virtual təqdimatdan daha güclü sakitləşdirici və bərpaedici təsir göstərir, buna görə virtual təbiət realın tam əvəzini vermir.

Mənbə: [5,10,14,16]

Rocer Ulrixin tərəfindən aparılmış tədqiqatda böyrək daşı əməliyyatı keçirmiş xəstələrin sağalma prosesinə pəncərədən görünən mühitin təsiri araşdırılmışdır. Tədqiqat nəticələrinə görə, pəncərədən təbiət mənzərəsini görən xəstələr əməliyyatdan sonra daha sürətli sağalır və özlərini daha yaxşı hiss edirdilər. Əksinə, pəncərədən yalnız beton divar və asfalt görünən xəstələrdə sağalma prosesi nisbətən gecikirdi. Bu nəticə, təbiət mənzərələrinin insanın fizioloji və psixoloji reaksiiyalarına təsir göstərdiyini göstərən ilkin sübutlardan biridir. Daha sonra aparılan araşdırmalar təbiət mühitinin stressin azaldılmasında, ürək döyüntülərinin və qan təzyiqinin tənzimlənməsində, həmçinin subyektiv rahatlıq və sakitlik hissinin artırılmasında əhəmiyyətli rol oynadığını təsdiqləmişdir. Təbiət mənzərəsi, hətta kiçik yaşıllıq sahələri belə, beynin stress reaksiyalarını zəiflədə bilir [14].

Şəhər mühitində insanlar vizual və səslə bağlı məlumatlara davamlı reaksiya verdikləri üçün diqqətləri kəskin və gərgin olur. Təbiət mühitində isə baxışlar sakitləşir, diqqət yumşaq şəkildə yönəlir, bu da zehni enerjinin bərpasına və konsentrasiyanın artırılmasına imkan verir. Bu proses zehni sağlamlığın qorunması və daxili balansın formalaşması üçün əhəmiyyətlidir.

Frensis Kuo və Uilyam Sallivan tərəfindən aparılan tədqiqatlar göstərmişdir ki, yaşıl mühitdə yaşayan insanlar yalnız daha xoşbəxt hiss etmir, həm də özlərini daha təhlükəsiz hesab edirlər. Bundan əlavə, yaşıl sahələrlə zəngin məhəllələrdə sosial əlaqələr daha sıx olur, qonşular arasında ünsiyyət artır və aqressiya və cinayət halları azalır [10].

Kollin Ellard təbiətin insan psixikasına təsirinin bioloji əsaslarını araşdırmışdır. O, laboratoriya şəraitində qurulan təcrübələr vasitəsilə insanın təbiəti niyə üstün tutduğunu və bu mühitin psixoloji vəziyyətə necə təsir etdiyini müəyyən etməyə çalışmışdır [2].

Müasir texnologiya imkanları sayəsində böyük ekranlarda real təbiət mənzərələrinin göstərilməsi və interaktiv şəkildə təqdim edilməsi mümkündür. Kollin Ellard tərəfindən aparılan tədqiqatda virtual meşə mühiti yaradılmış və iştirakçılara təqdim edilmişdir. Nəticələr göstərmişdir ki, virtual təbiət mənzərələri olduqca real görünür və bəzi iştirakçılar bir müddət sonra laboratoriyanın ətraf mühiti barədə fərqinə varmamışlar.

Ellardın tədqiqatı göstərmişdir ki, virtual təbiət mənzərələrinin təsiri, şəhər mühitinin vizual təsvirlərindən xeyli güclüdür. Bu, insan beyninin təbiətə reaksiyasının yalnız texnoloji yenilik və həyəcanla izah edilməyəcəyini, həmçinin bioloji əsaslı bərpaedici mexanizmlərlə əlaqəli olduğunu göstərir. Beləliklə, hətta virtual şəkildə təqdim olunan təbiət mənzərələri də bərpaedici prosesləri təşviq edir. Bu nəticələr real təbiətə çıxışı məhdud olan insanlar – məsələn, yaşlılar, yataq xəstələri və əlil arabasında olan şəxslər – üçün texnologiyanın köməyi ilə təbiət mənzərələrinin faydalı ola biləcəyini göstərir. Buna baxmayaraq, psixoloq Piter Kan tərəfindən aparılan müqayisəli tədqiqat göstərmişdir ki, real pəncərədən görünən bağ mənzərəsi ilə veb-kamera vasitəsilə plazma ekranda göstərilən eyni mənzərə arasında bərpaedici təsir fərqlidir. Monitor vasitəsilə təqdim olunan mənzərələr vizual olaraq oxşar olsa da, iştirakçılarda real təbiət qədər sakitləşdirici və bərpaedici effekt yaratmamışdır. Bu nəticə göstərir ki, texnoloji vasitələrlə təqdim olunan təbiət təsvirləri müəyyən fayda verə bilsə də, real təbiət mənzərəsinin yerini tamamilə əvəz edə bilmir [2].

Lakin yüksək mərtəbələrdə yaşayan şəxslər üçün təbiət mənzərəsinin davamlı olaraq müşahidəsi və onun faydalı təsirlərindən tam yararlanmaq praktiki olaraq mümkün olmur. Məsələn, bir ağacın orta hündürlüyü təxminən 2–3 mərtəbəyə bərabərdir, buna görə 10-cu və daha yüksək mərtəbələrdə yaşayan və işləyən şəxslər üçün landşaftın vizual zövqü, təmiz oksigenin qəbul edilməsi, hava şəraitinin dəyişmələrinin, küləyin hərəkəti və yağışın qoxusu kimi müşahidəsi məhduddur. Bu problemi həll etmək məqsədilə bir sıra Çin şəhərlərində xüsusi yanaşmalar tətbiq edilmişdir. Shenzhen şəhəri nümunəsində isə şəhərsalma və memarlıq strategiyalarının bu çətinliklərin öhdəsindən peşəkar şəkildə gəlməkdə effektiv olduğu müşahidə olunur [6].

Çin, Shenzhen nümunəsi

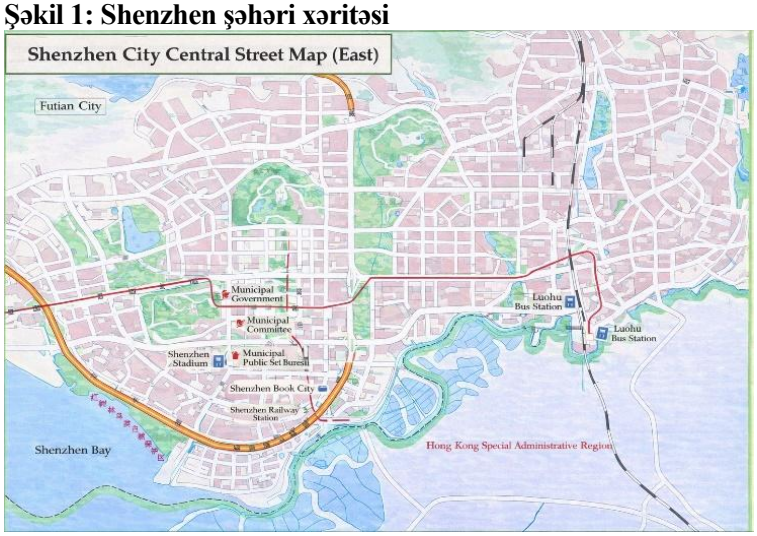
Müasir şəhərsalma, ətraf mühit, ərzaq təhlükəsizliyi, enerji, iqtisadiyyat, nəqliyyat və ictimai təhlükəsizlik kimi sahələrdə çoxşaxəli problemlərlə üzləşir. Sənayeləşmiş şəhərlərdə əhali sıxlığı nəticəsində hava çirkliliyi, su ehtiyatlarının azalması, torpaq eroziyası, tıxac, enerji infrastrukturlarının yüklənməsi, maliyyə böhranları və qeyri-bərabər iqtisadi inkişaf kimi çətinliklər ortaya çıxır. Memarlıq və şəhərsalma bu problemlərin həlli üçün müxtəlif strategiyalar inkişaf etdirmişdir və bu kontekstdə Çin özünəməxsus, maraqlı və praktik həllər ilə diqqət çəkir.

Beləki, Çin dünyada ən sürətlə urbanizasiya prosesini yaşayan ölkələrdən biridir. 2012-ci ildən 2024-cü ilə qədər ölkənin urbanizasiya səviyyəsi 53,1%-dən 67%-ə qədər artmış, yəni təxminən 940 milyon insan şəhər mühitində yaşamışdır. Bu proses böyük şəhərlərdə əhali sıxlığı, ətraf mühit çirkliliyi, enerji infrastrukturu yüklənməsi və tıxac kimi problemləri daha da kəskinləşdirmişdir [17].

Bu kontekstdə sürətli urbanizasiya ilə yaranan problemlərin yalnız texnoloji deyil, eyni zamanda məkan və planlaşdırma yanaşmaları ilə həll edilməsi zərurəti ortaya çıxır. Çin nümunəsində şəhərsalma, sosial, iqtisadi və ekoloji tarazlığın təmin edilməsi məqsədini daşıyan strateji bir mexanizm kimi formalaşır.

Shenzhen sürətli urbanizasiya prosesinə ən kəskin şəkildə məruz qalmış Çin şəhərlərindən biridir. Xüsusi İqtisadi Zona statusu almazdan əvvəl urban statusa malik olmayan ərazi olan Shenzhen, 1979-cu ildən sonra intensiv sənayeləşmə və şəhərsalma mərhələsinə daxil olmuşdur. Statistik məlumatlara əsasən, şəhərin əhalisi 1979-cu ildə 310 min nəfər olduğu halda, 2016-cı ildə bu göstərici 11,91 milyon nəfərə çatmışdır ki, bu da illik orta hesabla təxminən 10,3% artım tempinə uyğun gəlir və ölkə üzrə orta göstəricini xeyli üstələyir. Və 2035-ci ilə qədər 19 milyon nəfər daxilində saxlanılması planlaşdırılır. Bu sürətli demoqrafik artımı təmin etmək məqsədilə şəhər ərazisi kəskin şəkildə genişlənmişdir. 1979–2017-ci illər arasında inkişaf etmiş torpaq sahəsi təxminən 26–27 km²-dən 946 km²-ə qədər artmış, yəni təxminən 35 dəfə genişlənmişdir. Bu proses əsasən meşə, su və əkin sahələrinin urban istifadəyə çevrilməsi hesabına baş vermiş və nəticədə şəhər istilik adası effekti, hava və su çirklənməsi kimi ciddi ekoloji problemlər yaranmışdır [18].

Şəkil 1: Shenzhen şəhəri xəritəsi



Shenzhen-də əhali və torpaq istifadəsinin kəskin artımı əsasən üfüqi genişlənmə hesabına baş vermişdir. Şəkil 1-dəki gen plana nəzər saldıqda görürük ki şəhər Hippodamian/grid formada salınmışdır. 40 il ərzində sürətli əhali axını getsədə plana uyğun genişlənmə davam etmişdir. Lakin məhdud torpaq ehtiyatları və ekoloji risklər bu modelin davamlı olmadığını göstərmiş, nəticədə şəhərsalma siyasətində şaquli inkişaf və çoxsəviyyəli məkan həllərinə yönəlmə güclənmişdir.

Şaquli inkişaf strategiyasının tətbiqi Shenzhen-də yalnız yaşayış və ofis binalarının hündürlüyünün artırılması ilə məhdudlaşmamışdır. Yüksək sıxlıq şəraitində şəhər planlaşdırması sosial infrastrukturun da çoxsəviyyəli məkan həlləri ilə inteqrasiyasını tələb etmişdir. Bu çərçivədə yeni nəsil yaşayış kompleksləri təkfunksiyalı tikililər deyil, öz daxilində park sahələri, idman meydançaları, məktəblər, uşaq bağçaları, ticarət və ictimai xidmət obyektlərini birləşdirən çoxfunksiyalı urban bloklar kimi formalaşmışdır.

Şəkil 2: Shenzhen şəhəri



Xüsusilə iri miqyaslı yaşayış komplekslərində və qarışıq funksiyalı göydələnlərdə podium səviyyəsində açıq ictimai meydanlar, basketbol və futbol sahələri, uşaq oyun zonaları və istirahət terrasları təşkil edilmişdir. Məktəb və bağça kimi təhsil obyektləri isə çox vaxt yaşayış bloklarının daxilində və ya piyada əlçatan məsafədə yerləşdirilərək "15 dəqiqəlik şəhər" prinsipinə yaxınlaşma müşahidə olunur.

Bu model şəhərin torpaq səviyyəsində yaşıl və açıq sahə çatışmazlığını qismən kompensasiya etməyə yönəlmişdir. Yəni şaquli sıxlaşma paralel olaraq məkanın funksional qatlara bölünməsi ilə müşayiət olunur:

- Yer səviyyəsi – nəqliyyat və ictimai axın
- Podium və ara səviyyələr – yarı-ictimai sosial məkanlar
- Dam və terraslar – rekreasiya və yaşıllıq zonaları

Beləliklə, şəhər təkcə üfüqi deyil, həm də şaquli istiqamətdə funksional olaraq zonalaşdırılmış çoxqatlı urban sistemə çevrilmişdir.

Məhz bu çoxsəviyyəli struktur daxilində landşaft anlayışı da transformasiyaya uğramışdır. Ənənəvi park modeli torpaq səviyyəsindən ayrılaraq binaların damlarına, terraslara və fasadlara daşınmış, nəticədə "şaquli landşaft" və "sky garden" konsepsiyaları formalaşmışdır. Bu yaşıllıq sistemləri həm sosial rekreasiya məkanı, həm də istilik adası effektinin azaldılması, mikroiqlimin tənzimlənməsi və yağış sularının idarə olunması baxımından mühüm ekoloji funksiya daşıyır. Əlavə olaraq, yağış sularının optimal

idarə olunması, enerji qənaəti, smart sulama sistemləri və yerüstü/vertikal yaşıllıqlar kimi texnologiyalar vasitəsilə bu konsepsiyalar ağıllı şəhər prinsipinə xidmət edir.
Shenzhen-də sky garden-lərin ekoloji təsirləri çoxşaxəlidir. Bu bağlar urban istilik adası effektini zəiflətmək, hava keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq, yağış sularının axınını tənzimləmək və şəhər daxilində biodiversiteti artırmaq funksiyasına malikdir. Sosial baxımdan isə sky garden-lər ictimai həyat üçün vacib məkanlar kimi çıxış edir. 44 hündürmərtəbəli binada aparılan analizlər nəticəsində 982 sky garden-in əsas affordance-ləri müəyyən olunmuşdur. Təbiət funksiyası 97,76% hallarda, rekreasiya və sosiallaşma 74,95% hallarda, mənzərə müşahidəsi isə 70,57% hallarda əsas məqsəd kimi seçilmişdir. Bu nəticələr göstərir ki, sky garden-lər əhalinin təbiət ilə qarşılıqlı əlaqəsini gücləndirir və eyni zamanda sosial fəaliyyət üçün əlverişli məkan təmin edir. Vizual açıqlıq, əlçatanlıq və məxfilik göstəricilərinə əsaslanaraq, məkanın istifadəsi əsasən vizual açıqlıq və əlçatanlığa bağlıdır [7].
Shenzhen-də sky garden-lərin ölçü miqyası əsasən kiçik və mini səviyyədədir. 200 m²-dən kiçik olan sky garden-lər bütün nümunələrin 74,54%-ni təşkil edir ki, bu da onları "pocket park" funksiyasına malik mikro-məkanlar kimi göstərir. Geometrik göstəricilər baxımından sky garden-lərin VSR (boşluq/doluluq nisbəti) 0–0,2 intervalında olanları 44,5% təşkil edir və bu bağlar əsasən orta-yuxarı mərtəbələrdə yerləşir. Shape Index isə uzunsov və lentvari formaları əks etdirir ki, bu da məkanın mikro-istirahət və keçid funksiyası üçün əlverişli olduğunu göstərir [7].

Tikinti və İqtisadi Göstəricilər

Sky garden-lərin yerləşdiyi binaların orta hündürlüyü 149,43 m, orta mərtəbə sayı isə 35,44-dür. Tikinti intensivliyinə görə plot ratio (PR) 5–12 aralığında olan binalar bütün nümunələrin 79,54%-ni təşkil edir, PR>8 olan binalar isə 72,73% hallarda sky garden-ə malikdir. Tikintinin pik dövrü 2014–2018-ci illər arasında müşahidə olunur. Eyni zamanda, ekologiya və davamlılıq baxımından BCA Green Mark sertifikatı alan sky garden-lər 37,5%, LEED sertifikatı alanlar isə 17,5% təşkil edir. Bu bağların iqtisadi təsiri də əhəmiyyətlidir; sky garden-lərin mövcudluğu binaların kirayə və satış qiymətlərini artırır, enerji xərclərini azaldır və damın istismar müddətini uzadır [7].

Bakı şəhərində Dayanıqlı Urbanizasiya və Ağıllı Binalarda Süni İntellektin Tətbiqi

Shenzhen nümunəsi göstərir ki, sürətli urbanizasiya və əhali sıxlığı şəhər mühitində ətraf mühit və sosial problemləri daha da kəskinləşdirir. Şəhərdə sky garden-lər və şaquli landşaftlar yalnız estetik funksiyalar deyil, həm də istilik adası effektinin azaldılması, mikroiqlimin tənzimlənməsi, yağış sularının idarə olunması və əhalinin psixososial rifahının artırılması kimi mühüm ekoloji və sosial rol oynayır. Bu yanaşmanı Bakı şəhərinə tətbiq etmək perspektivlidir. Bakı da urbanizasiyanın artması, hündür mərtəbəli binaların tikilməsi və açıq yaşıllıq sahələrinin məhdudlaşması ilə üzləşir. Xüsusilə, şəhərin bəzi rayonlarında intensiv tikinti və asfalt örtüklərinin çoxluğu nəticəsində yağış sularının düzgün idarə olunmaması daşqın və suyun durğunlaşması kimi problemlərə səbəb olur. Shenzhen-də tətbiq olunan şaquli landşaft və sky garden-lərin yağış sularının idarə olunması, yaşıllığın artırılması və ictimai sosial mərkəzlərin yaradılması strategiyaları Bakı üçün də praktik nümunə kimi götürülür.

Şəkil 3: Bakı şəhəri, Avtomobil yolları



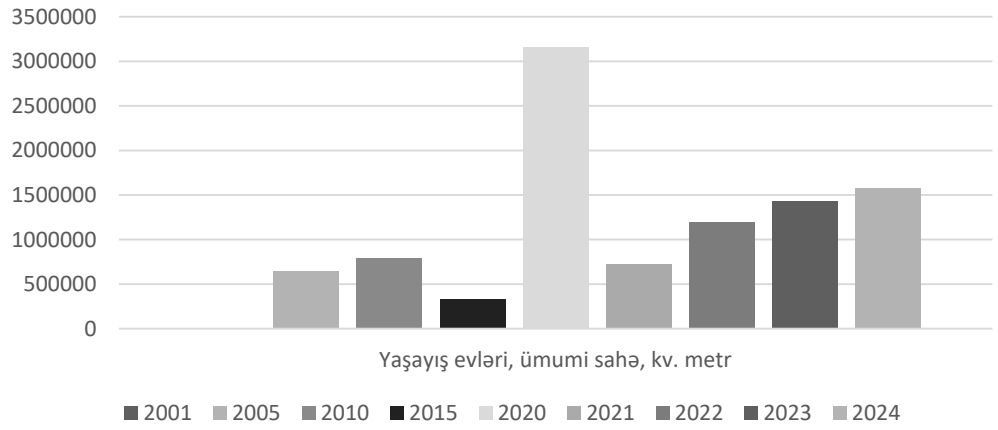
Göstəricilər	2001	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024
İstifadəyə verilmişdir:									
Yaşayış evləri, ümumi sahə, kv. metr		650192,0	790074,0	333 100,0	3 155 563,7	727 668,5	1 197 476,5	1 431 664,9	1 578 558,6
Xəstəxanalar, çarpayı	-	-	400	-	860	-	-	-	-
Ambulatoriya-poliklinika müəssisələri, bir növbədə gəlişlərin sayı	-	-	350	-	-	500	-	-	-
Ümumi təhsil müəssisələri, şagird yeri	520	2 170	2180	360	2 480	-	4 844	3 456	1 600
Məktəbəqədər təhsil müəssisələri, yer	90	-	50	200	280	180	520	240	-

Azərbaycan 10 milyonluq əhaliyə sahibdir lakin qeyri-rəsmi məlumatlara əsasən əhalinin 4,5-5 milyonu Bakı şəhərində məskunlaşmışdır. Paytaxt şəhəri amfiteatr tipli relyef quruluşuna malik olduğundan, küçə və yol şəbəkəsi ilkin olaraq əsasən radial-həlqəvi prinsiplər üzrə salınmışdır. Lakin son illərdə baş vermiş plansız tikinti və sıx urbanizasiya şəhərsalma strukturunu pozmuş və cari tələbləri ödəməsinə mane olmuşdur.

Cədvəl 2: Bakı şəhəri tikinti göstəriciləri

Mənbə: [19]

Diaqram 1: Yaşayış evləri, ümumi sahə, kv. metr



Cədvəl 1-in təhlili göstərir ki, Bakı şəhərində tikinti fəaliyyəti illər üzrə qeyri-bərabər dinamika ilə inkişaf etmişdir. Xüsusilə yaşayış evlərinin istifadəyə verilməsi sahəsində kəskin dalğalanmalar müşahidə olunur. 2005-ci ildə 790 074 kv. metr olan göstərici 2010-cu ildə 333 100 kv. metrə qədər azalmış, lakin 2015-ci ildə rekord həddə – 3 155 563,7 kv. metrə yüksəlmişdir. Sonrakı illərdə müəyyən azalma qeydə alınsa da (2020-ci ildə 727 668,5 kv. metr), 2021–2024-cü illərdə yenidən artım tendensiyası müşahidə olunur və 2024-cü ildə bu göstərici 1 578 558,6 kv. metrə çatmışdır. Bu dinamika paytaxtda urbanizasiya proseslərinin intensiv xarakter daşıdığını və mənzil bazarına tələbin davamlı olduğunu göstərir.

Sosial təyinatlı obyektlərin tikintisi isə daha fragmentar xarakter daşıyır. Xəstəxana çarpayılarının istifadəyə verilməsi yalnız müəyyən illərdə (2010-cu ildə 400, 2020-ci ildə 860 çarpayı) qeydə alınmışdır ki, bu da səhiyyə infrastrukturunun əsasən mərhələli və layihə əsaslı inkişaf etdiyini göstərir. Ambulatoriya-poliklinika müəssisələri üzrə göstəricilər də davamlı deyil: 2010-cu ildə 350 nəfərlik, 2021-ci ildə isə 500 nəfərlik qəbul gücünə malik obyektlər istifadəyə verilmişdir. Bu isə səhiyyə sektorunda tikintinin daha çox ehtiyac yarandıqca reallaşdırıldığını deməyə əsas verir.

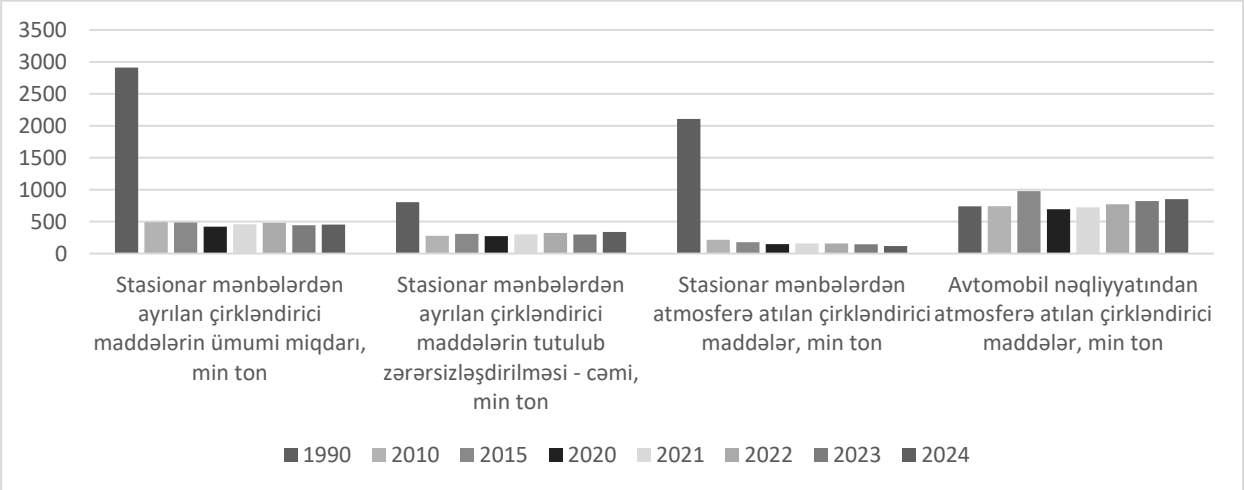
Təhsil infrastrukturu üzrə göstəricilər də dəyişkənlik nümayiş etdirir. Ümumi təhsil müəssisələrində şagird yerlərinin sayı 2005 və 2010-cu illərdə 2 mindən çox olmuş, 2015-ci ildə 360 yerə düşmüş, 2020-ci ildə

yenidən 2 480 yerə yüksəlmiş, 2022-ci ildə isə maksimum həddə – 4 844 yerə çatmışdır. 2023 və 2024-cü illərdə isə müəyyən azalma müşahidə edilir. Məktəbəqədər təhsil müəssisələri üzrə yerlər də illər üzrə sabit deyil və bəzi illərdə ümumiyyətlə göstərici qeydə alınmamışdır. Bu fakt göstərir ki, Bakı şəhərində yaşayış fondunun artım tempi ilə sosial infrastrukturun inkişafı tam paralel getmir və müəyyən dövrlərdə disbalans yaranır.

Cədvəl 3: Atmosfer havasının mühafizəsini və ona zərərli təsiri səciyyələndirən göstəricilər

	1990	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024
Stasionar mənbələrdən ayrılan çirkləndirici maddələrin ümumi miqdarı, min ton	2913	491	485	420	457	480	442	453
Stasionar mənbələrdən ayrılan çirkləndirici maddələrin tutulub zərərsizləşdirilməsi - cəmi, min ton	804	277	307	273	301	322	298	337
stasionar mənbələrdən ayrılan çirkləndirici maddələrin ümumi miqdarına nisbətən, faizlə	28	56	63	65	66	67	67	75
Stasionar mənbələrdən atmosferə atılan çirkləndirici maddələr, min ton	2108	215	178	147	157	158	144	116
adambaşına düşən, kq	294	24	19	15	16	16	14	11
Avtomobil nəqliyyatından atmosferə atılan çirkləndirici maddələr, min ton	738	742	978	694	723	772	821	851
adambaşına düşən, kq	103	82	103	70	72	76	81	83

Mənbə: [19]



Cədvəl Azərbaycanda 1990–2024-cü illərdə atmosfer havasının mühafizəsi və ona təsir edən çirkləndirici maddələrin həcmini əks etdirir. Stasionar mənbələrdən ayrılan çirkləndirici maddələrin ümumi miqdarı 1990-cı ildə 2 913 min ton səviyyəsində olmuşdur. 2010-cu ilə qədər bu göstərici 491 min tona qədər azalmış, yəni 1990 ilə müqayisədə 83% azalma qeydə alınmışdır. 2015–2020-ci illərdə isə stasionar mənbələrdən ayrılan maddələrin həcmi yavaş-yavaş azalma tendensiyasını saxlamış, 2020-ci ildə 420 min ton olmuşdur. Bu dövrdə çirkləndirici maddələrin tutulub zərərsizləşdirilməsi artmış və 2020-ci ildə ümumi miqdarın 65%-i tutulub aradan qaldırılmışdır ki, bu da ətraf mühitin qorunmasına yönəlmiş tədbirlərin təsirini göstərir.

Stasionar mənbələrdən atmosferə atılan çirkləndirici maddələr 1990-cı ildə 2 108 min ton olmuş, 2010-cu ilə qədər 215 min ton səviyyəsinə qədər azalmışdır, yəni təxminən 90% azalma baş vermişdir. Adambaşına düşən çirkləndirici maddə 294 kq-dan 24 kq-a düşmüşdür. Lakin 2021–2024-cü illərdə stasionar mənbələrdən atılan çirkləndirici maddələrdə nisbətən sabitlik müşahidə olunur və 2024-cü ildə 116 min ton olmuşdur, adambaşına düşən həcm isə 11 kq-a qədər azalmışdır. Bu göstəricilər şəhərlərdə sənaye və enerji istehsalında daha təmiz texnologiyaların tətbiqini və ekoloji nəzarətin güclənməsini göstərir.

Avtomobil nəqliyyatından atmosferə atılan çirkləndirici maddələr isə əks tendensiya göstərir. 1990-cı ildə 738 min ton olan həcm 2010-cu ilə qədər 742 min ton səviyyəsində qalıb (artım 0,5%), 2015-ci ildə isə 978 min tonla pik həddə çatmışdır, adambaşına düşən çirkləndirici maddə isə 103 kq olmuşdur. 2020-ci ildən sonra avtomobil təsirində müəyyən azalma olsa da, 2024-cü ildə 851 min ton ilə əvvəlki illərə yaxın səviyyəyə qalxmışdır, adambaşına isə 83 kq düşmüşdür. Bu, şəhərdə nəqliyyat sıxlığının və avtomobil istifadəsinin hələ də əhəmiyyətli ekoloji təzyiq yaratdığını göstərir.

Bakı şəhərində tikinti sektorunun sürətli inkişafı şəhərsalma strukturunu dəyişmiş, buna paralel olaraq ekoloji yük artmışdır. Stasionar mənbələrdən atmosferə atılan çirkləndirici maddələrin azalması sənayedə texnologiyanın təmizlənməsini göstərsə də, avtomobil nəqliyyatından tullantıların həcmi hələ də yüksək olaraq qalır. Bu isə şəhərdə urban sıxlığın artması və ekoloji tarazlığın qorunması baxımından yeni tənzimləmə tədbirlərinin zəruriliyini göstərir.

XX əsrin sonlarından etibarən Yeni Şəhərçilik, eko-məhəllə və dayanıqlı urbanizm yanaşmaları bu prinsipləri genişləndirərək ekoloji, sosial və iqtisadi ölçüləri vahid sistem daxilində birləşdirmişdir.

Müasir şəhər konsepsiyaları yalnız əlçatanlıqla məhdudlaşmır. “Ağıllı şəhər” (smart city) yanaşması rəqəmsal texnologiyalar və məlumat əsaslı idarəetmə vasitəsilə enerji səmərəliliyinin artırılmasını, infrastrukturun optimallaşdırılmasını və ekoloji yükün azaldılmasını nəzərdə tutur. “Dayanıqlı və davamlı şəhər” (resilient city) konsepsiyası isə iqlim dəyişiklikləri, təbii fəlakətlər və sosial risklər qarşısında şəhər sistemlərinin çevikliyini və bərpa qabiliyyətini gücləndirməyi prioritet hesab edir. “Təhlükəsiz şəhər” yanaşması isə ictimai məkanlarda sosial təhlükəsizlik və inklüziv mühitin formalaşdırılmasına yönəlir. Yüksək sıxlıqlı və sürətlə inkişaf edən şəhərlərdə isə davamlı məhəllə prinsiplərinin tətbiqi fərqli məkan strategiyalarını tələb edir [8].

Cədvəl 4: Azərbaycan və Beynəlxalq Şəhərsalma Standartlarının Müqayisəli Analizi

Strateji Sahə	**Azərbaycan**	**Beynəlxalq Standartlar / Təcrübə**	**AI İnteqrasiyası**
Normativ-hüquqi baza	Şəhərsalma və Tikinti Məcəlləsi; Dövlət Şəhərsalma Normaları və Qaydaları (ŞTN); Baş planlar və detal plan	ISO 37101, EN 17210, EN ISO 21542; Master Plan, Zoning Code, Strategic Urban Plan	AI-driven qərarvermə, urban planlama simulasiya və optimizasiya
Dayanıqlı inkişaf / ətraf mühit	Milli sanitariya və ekoloji normalar; məhdud iqlim adaptasiyası; yaşıl sahələr normativ əsaslı	ISO 37101, ISO 14001, ISO 50001; performans əsaslı yaşıl sahə və iqlim adaptasiyası	AI ilə karbon emissiyaları, enerji və resurs istifadəsinin real vaxt monitorinqi
Smart City & Rəqəmsal Urbanistika	Pilot və lokal layihələr; parçalanmış məlumat idarəetməsi; məhdud GIS və 3D modellər	ISO 37122, ISO/IEC 30182; CityGML, Digital Twin; vahid şəhər məlumat modelləri	AI-driven trafik optimizasiyası, enerji idarəetməsi, Digital Twin platformaları, proqnozlaşdırıcı analytics
Nəqliyyat və Mobilite	Avtomobil yönümlü; ictimai nəqliyyat inkişaf mərhələsində; milli yol təhlükəsizliyi qaydaları	TOD (Transit-Oriented Development); ISO 39001; multimodal, karbon-azaldıcı sistemlər	AI ilə tıxac proqnozlaşdırılması, ictimai nəqliyyatın koordinasiyası, sürücülük və yol təhlükəsizliyi analizi
İnklüzivlik və əlçatanlıq	Əlillər üçün normativ əsaslı mühit; məhdud sosial	EN 17210, Universal Design; göstərici əsaslı	AI ilə insanların hərəkət axını, xidmətlərə çıxış və

Strateji Sahə	Azərbaycan	Beynəlxalq Standartlar / Təcrübə	AI İnteqrasiyası
	inklüzivlik; dolayı gender/yaş həssaslığı	monitorinq; insan-mərkəzli urban dizayn	məmnuniyyət səviyyələrinin təhlili
Post-konflikt bərpa & Yeni şəhərlər	İşğaldan azad edilmiş ərazilərdə Ağıllı Şəhər/Kənd layihələri; enerji səmərəli binalar	ISO 37122, ISO 37101; dayanıqlı və rəqəmsal şəhərsalma standartları	AI ilə şəhər planlarının simulyasiyası, optimizasiya, resurs və risk analizi
İnstitusional idarəetmə	Dövlət Şəhərsalma və Arxitektura Komitəsi, İqtisadiyyat Nazirliyi, Elm və Təhsil Nazirliyi, yerli icra hakimiyyətləri	Beynəlxalq standartların tətbiqi, şəhər idarəetmə institutları və bələdiyyələr	AI-driven decision support sistemləri, data analitikası, proqnozlaşdırıcı idarəetmə
Ümumi qiymətləndirmə / Strategik tövsiyələr	Normativ–idarəedici model; ISO 37100 seriyasına uyğunlaşma erkən mərhələdə	Data-yönümlü, göstərici və performans əsaslı şəhərsalma; dayanıqlılıq və smart city prioritet	AI əsaslı KPI-lar, Digital Twin, şəhər məlumat modellərinin vahidləşdirilməsi, etik və hüquqi çərçivə

Mənbə: [20]

Bakı üçün perspektivli istiqamət kimi yüksək sıxlıq şəraitində şaquli yaşıllaşdırma sistemlərinin tətbiqi, çoxsəviyyəli ictimai məkanların yaradılması və məhəllə daxilində funksional müxtəlifliyin artırılması çıxış edə bilər. Yaşayış binalarının dam örtüklərində və fasadlarında yaşıl sistemlərin qurulması, piyada yönümlü küçə şəbəkəsinin gücləndirilməsi və ictimai nəqliyyatla inteqrasiyanın artırılması davamlı məhəllə modelinin formalaşdırılmasına töhfə verə bilər. Bu yanaşma həm istilik adası effektinin azaldılmasına, həm hava keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasına, həm də sakinlərin psixoloji rifahının yüksəldilməsinə xidmət edər.

Cədvəl 4-də göstərir ki, Azərbaycan şəhərsalma sistemi əsasən normativ–hüquqi baza və standartlara əsaslanan idarəetmə modelinə söykənir. Milli qanunvericilik, Dövlət Şəhərsalma Normaları və Baş planlar planlaşdırmada əsas alətlər kimi istifadə olunur, lakin bu yanaşma performans əsaslı və ətraf mühitə adaptiv tələblər baxımından məhduddur. Dayanıqlı inkişaf, smart city və inklüzivlik sahələrində milli təcrübə pilot layihələr və normativ əsaslı yanaşmalarla məhdudlaşır, nəqliyyat sistemləri isə hələ də avtomobil yönümlüdür və ictimai nəqliyyat infrastrukturunun inkişafı mərhələsindədir. Post-konflikt bərpa və yeni şəhərsalma sahəsində isə enerji səmərəli və texnoloji həllərin tətbiqi başlanğıc səviyyəsindədir.

Beynəlxalq təcrübə ilə müqayisədə Azərbaycan sistemi rəqəmsal, performans və göstərici əsaslı planlaşdırmadan geri qalır. ISO standartları və CityGML, Digital Twin kimi alətlər beynəlxalq səviyyədə şəhərsalma proseslərini dayanıqlı, inklüziv və ağıllı sistemlər üzərində qurur, AI tətbiqləri isə real vaxt monitorinqi, trafik optimizasiyası, enerji idarəetməsi və resurs planlaşdırması imkanları təqdim edir. Bu kontekstdə Azərbaycanın gələcək strategiyası AI-in inteqrasiyası, rəqəmsal məlumat modellərinin vahidləşdirilməsi və performans əsaslı şəhərsalma ilə beynəlxalq standartlara yaxınlaşmaq olmalıdır.

Cədvəl 5: Zəlzələ və Təbii Fəlakətlər üzrə Təhlükəsizlik Standartları: Azərbaycan və Beynəlxalq Təcrübə

Kateqoriya	Azərbaycan	Beynəlxalq Standartlar
Zəlzələ təhlükəsizliyi normativləri	Azərbaycan Respublikasının Tikinti Məcəlləsi və Dövlət Şəhərsalma Normaları (ŞTN), "Seysmik Regionlarda Tikinti Qaydaları"	ISO 22301 – Fövqəladə hallara davamlılıq, ISO 37123 – Dayanıqlı şəhərlər üçün davamlılıq göstəriciləri
Tikinti materialları və struktur təhlükəsizliyi	Seysmik müqavimət üçün yerli standartlar, beton və dəmir konstruksiyaların sertifikasiyası	EN 1998-1 (Eurocode 8) – Zəlzələyə davamlı binaların dizaynı, ISO 30182 (Smart City məlumat modeli) – infrastruktura risk qiymətləndirməsi
İdarəetmə və	Yerli Fövqəladə Hallar Nazirliyinin	ISO 22320 – Fövqəladə hallarda əməliyyat

Kateqoriya	Azərbaycan	Beynəlxalq Standartlar
fövqəladə hallara hazırlıq	qaydaları, bələdiyyə planları	idarəetmə sistemi, ISO 37101 – Dayanıqlı şəhər idarəetməsi
Məlumat və monitorinq sistemləri	Məhdud sensor şəbəkələri, yerli GIS tətbiqləri	ISO 19100 seriyası – GIS və coğrafi məlumatların təhlili, Digital Twin modelləri – real vaxt seysmik monitorinq və simulasiya
Smart City / AI ilə inteqrasiya	Pilot ağıllı binalar və küçə sensorları	AI-driven fövqəladə vəziyyət proqnozu, enerji və resurs optimizasiyası, real vaxt risk qiymətləndirməsi, ISO 37122 – Smart City göstəriciləri

Mənbə: [20]

Bu cədvəl göstərir ki, Azərbaycan zəlzələ və təbii fəlakətlər üzrə təhlükəsizlik sahəsində əsasən normativ–qanuni və yerli texniki standartlara əsaslanır. Tikinti Məcəlləsi, Dövlət Şəhərsalma Normaları və "Seysmik Regionlarda Tikinti Qaydaları" milli bazanı təşkil edir, struktur təhlükəsizliyi isə beton və dəmir konstruksiyaların sertifikasiyası və seysmik müqavimət standartları ilə təmin olunur. Fövqəladə hallara hazırlıq və idarəetmə isə əsasən Fövqəladə Hallar Nazirliyi və bələdiyyə planları çərçivəsində həyata keçirilir, lakin məlumat və monitorinq infrastrukturu hələ məhduddur, real vaxt GIS və sensor şəbəkələri geniş yayılmayıb.
Beynəlxalq standartlar isə daha holistik və texnoloji yanaşma təqdim edir. ISO 22301, ISO 22320, ISO 37101 kimi normativlər davamlılıq və fövqəladə hallara hazırlığı performans əsaslı göstəricilər üzərində qurur. Eurocode 8 (EN 1998-1) zəlzələyə davamlı binaların dizaynını tənzimləyir, ISO 19100 seriyası və Digital Twin texnologiyaları isə real vaxt seysmik monitorinq və risk simulasiya imkanları yaradır. Smart City və AI tətbiqləri risk proqnozu, resurs optimizasiyası və fövqəladə hallarda operativ qərarverməni dəstəkləyərək şəhər təhlükəsizliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bu kontekstdə Azərbaycanın perspektivi AI-in inteqrasiyası, rəqəmsal məlumat modellərinin tətbiqi və beynəlxalq təhlükəsizlik standartlarının adaptasiyası olmalıdır.

Yapon Memarlığı və Süni İntellekt İnteqrasiyalı Ağıllı Binalar
Yapon memarlığı, bir çox sahədə, xüsusən də texnologiyada müşahidə olunan innovativ inkişaf meyllərini memarlıq məsləhətçiliyində ayrılmaz şəkildə əks etdirir. Tarixi bölgədəki mənəvi yaşayış evləri ilə seçilən Yapon memarlıq məktəbi, müasir dövrə futuristik və eksperimental yanaşmaları ilə seçilir. Texniki olmayan binalarda müşahidə olunan minimal yaşayış sahəsi, funksional sadəlik, məkanın çevik təşkili və təbiətə hörmət prinsipi müasir memarlıq nümunələrində konseptual prinsiplər olaraq qalır.
Material seçimi baxımından isə transformasiya prosesi nəzərə çarpır: ənənəvi taxta konstruksiyalar və təbii materiallar tədricən şüşə, beton, keramika və paslanmayan polad kimi sənaye materialları ilə əvəz olunmaqdadır. Bu dəyişiklik yalnız texnoloji tərəqqinin nəticəsi deyil, həm də estetik ifadə vasitələrinin yenilənməsi ilə bağlıdır. Yaponiyanın yüksək texnoloji inkişaf səviyyəsi memarlıqda da öz əksini taparaq qeyri-adi, konseptual və eksperimental məkanların formalaşmasına şərait yaratmışdır.
Müasir yapon memarlığında fasad həlləri xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Xüsusilə şüşə materialdan geniş istifadə edilməklə yaradılan şəffaf xarici örtük sistemləri həm vizual yüngüllük effekti yaradır, həm də daxili və xarici məkan arasında sərhədləri minimuma endirir. Bu yanaşma şəhər mühitində açıq, işıqlı və vizual baxımdan yüklənməyən memarlıq obrazının formalaşmasına xidmət edir. Yaradıcı yanaşma, məkan təşkilində eksperimentallıq və estetik nizam-intizam Yaponiyanı müasir memarlıq sahəsində aparıcı ölkələrdən biri kimi səciyyələndirməyə imkan verir.
Bu kontekstdə Yaponiyada ekoloji memarlığın uğurlu nümunələrindən biri kimi Fukuoka şəhərində yerləşən ACROS binası xüsusi qeyd olunmalıdır. "ACROS Fukuoka" adı ilə tanınan bu çoxfunksiyalı kompleks iri terraslı yaşıl dam konsepsiyası ilə seçilir və davamlı memarlıq prinsiplərinin praktik tətbiqini nümayiş etdirir. Binanın pilləli formada təşkil olunmuş yaşıl damında 76 növdə təxminən 5000 bitki əkilmişdir ki, bu da onu şəhər mühitində mikroiqlimi tənzimləyən və rekreasiya funksiyası daşıyan ekoloji platformaya çevirir [13].

Şəkil 4: Fukuoka şəhəri ACROS binası



Emilio Ambasz & Associates tərəfindən layihələndirilmiş obyekt şəhərin mövcud yeganə yaşıllıq zonasına bitişik ərazidə inşa olunmuşdur. Layihələndirmə prosesində məqsəd yalnız mövcud park sahəsini qorumaq deyil, həm də onu memarlıq strukturu ilə inteqrasiya etmək olmuşdur. Nəticədə park sahəsi binanın terrasvari yaşıl damı ilə mərhələli şəkildə birləşdirilmiş, təbii landşaft memarlıq həcmi ilə sintez edilmişdir. Maraqlıdır ki, binanın şəhərə baxan fasadı tipik şüşə örtüklü ofis binası təsiri bağışladığı halda, arxa hissədə tamamilə yaşıllıqla örtülmüş terras strukturu ekoloji və estetik baxımdan alternativ memarlıq yanaşmasını ortaya qoyur. Bu nümunə müasir şəhərsalma şəraitində memarlıq və landşaftın inteqrasiyasının effektiv modelini əks etdirir.

Süni İntellektin Memarlıqda Tətbiqi və Ağıllı Binalar

Müasir memarlıq sahəsində ağıllı binalar yalnız texnoloji qurğuların birləşdirilməsindən ibarət deyil; onların əsas məqsədi binanın funksiyalarını elmi üsullarla optimallaşdırmaqdır. Bu məqsədə çatmaq üçün süni intellekt texnologiyaları əsas rol oynayır. Bina avtomatlaşdırma sistemlərinin mərkəzi idarəetmə bölməsi müxtəlif alt sistemlərdən gələn məlumatları emal edir və bütün qurğuların ahəngdar işləməsini təmin edir.

Beləliklə, memarlıqda süni intellekt yalnız avtomatik idarəetmə və komfort təmin etməklə kifayətlənmir, həm də binaların davamlı, ekoloji və sosial baxımdan məsuliyyətli fəaliyyət göstərməsini təmin edir. Ağıllı binalar süni intellekt vasitəsilə həm istifadəçi rahatlığını artırır, həm də ətraf mühitə təsirini minimuma endirir.

Ağıllı binalarda yanğın aşkarlama və xəbərdarlıq sistemlərinin sürətli reaksiya verməsi və etibarlılığı binada olan insanların təhlükəsizliyinin təmin edilməsi baxımından böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bu sistemlərin layihələndirilməsi və quraşdırılması beynəlxalq standartlar və müvafiq qaydalarla tənzimlənir. Sistemlərin əsas elementlərinə təcili elan, yanğınsöndürənlə əlaqə, səslə təxliyyə, yanğınsöndürmə sistemlərinin monitorinqi, tüstünün çıxarılması və təhlükəsizlik siqnalları daxildir. Ən çox rast gəlinən problemlər gecikmiş reaksiya və yalnış siqnallardır. Lakin müasir yanğın aşkarlama sistemlərində mikroprosessor əsaslı paylanmış idarəetmə sistemləri tətbiq olunmaqla bu problemlər azaldılmış və sistemin etibarlılığı artırılmışdır. Yanğın və təhlükənin aşkarlanması əsasən temperatur, tüstü və qaz sensorları vasitəsilə həyata keçirilir. Söndürmə sistemlərində isə “sprinkler”lər və kritik sahələrdə qazla söndürmə üsulları istifadə olunur.

Bina avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinə inteqrasiya olunmuş liftlər də yüksək mərtəbəli binalarda əhəmiyyətli rol oynayır. Yeni nəsil liftlər az enerji sərf edir, hamar hərəkət edir və istifadəçilərə sarsıntısız gediş təmin edir. Süni intellekt və görüntü analizi texnologiyası ilə təchiz edilmiş lift sistemləri kabinədə və lobi hissəsində gözləyən sərnişinlərin sayını proqnozlaşdıraraq istifadənin səmərəliliyini artırır. Bu yanaşma xüsusilə çoxmərtəbəli binalarda bir neçə lift qrupunun idarə edilməsində, sərnişin axınlarının dəyişmələrinə uyğunlaşmaqda və istifadəçi rahatlığını maksimuma çatdırmaqda vacibdir.

Cədvəl 6: Süni intellektin memarlıqda tətbiq olunduğu sahələr

Enerji və resursların idarə olunması	**İstifadəçi komfortunun təmin olunması**	**Təhlükəsizlik və monitorinq**	**Məlumatların analizi və qərar dəstəyi**
Binaların enerji və su sərfiyyatı real vaxtda izlənir və idarə olunur.	İqlimləndirmə, havalandırma, hava keyfiyyəti, işıqlandırma və günəşdən qorunma sistemləri süni intellekt tərəfindən idarə olunur.	Yanğın, qaz və su sızması detektorları, giriş nəzarəti, kamera və həyəcan siqnalları mərkəzi sistemə bağlıdır.	Sensor və sayğaclardan gələn məlumatlar süni intellekt proqramları tərəfindən təhlil edilir.
Süni intellekt proqramları enerji istifadəsini optimallaşdıraraq karbon izini azaldır və binanın davamlılığını təmin edir.	Sistem istifadəçilərin vərdişlərini öyrənərək enerji sərfini minimuma endirir və eyni zamanda maksimim komfort təmin edir.	Süni intellekt avtomatik şəkildə fövqəladə vəziyyətləri müəyyən edir və lazımi tədbirlərin görülməsini təmin edir.	Sistem öyrənmə və proqnozlaşdırma xüsusiyyətlərinə malik olaraq gələcək istifadə nümunələrini təxmin edə bilir.
Yenilənəbilən enerji mənbələrinin (günəş, külək, hidroelektrik, bioyakıt, geotermal) istifadəsi mərkəzi idarəetmə sistemi ilə birləşdirilir.			

Mənbə: [15]

Ağıllı bina tədqiqatlarının digər əsas məqsədi, enerji səmərəliliyindən əlavə, bina sakinlərinin gündəlik həyat fəaliyyətlərini asanlaşdırmaqla onların rahatlıq səviyyəsini artırmaqdır. Bina daxilində bir çox müxtəlif xidmətlər insan rahatlığını təmin etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Bunlar fon musiqisindən və ətraf mühit işıqlandırma səviyyələrindən səs və ya jestlərə əsaslanan inkişaf etmiş istifadəçi interfeyslərinə və gündəlik fəaliyyətləri avtomatlaşdırmaq üçün idarəetmə elementlərinə qədər dəyişir.

Daxili iqlim nəzarəti və ağıllı termostatlar da bina sakinləri üçün rahat daxili şərait təmin edən vacib xidmətlərdir. Daxili hava keyfiyyətini, hava şəraitini və hava keyfiyyətinə təsir edən digər xarici amilləri təhlil etməyi, bu ölçmələrdəki nümunələri müşahidə etməyi və yaxın gələcəkdə hava keyfiyyətini proqnozlaşdırmağı hədəfləyən süni intelekt əsaslı texnologiyalarda tədbiq olunur [15].

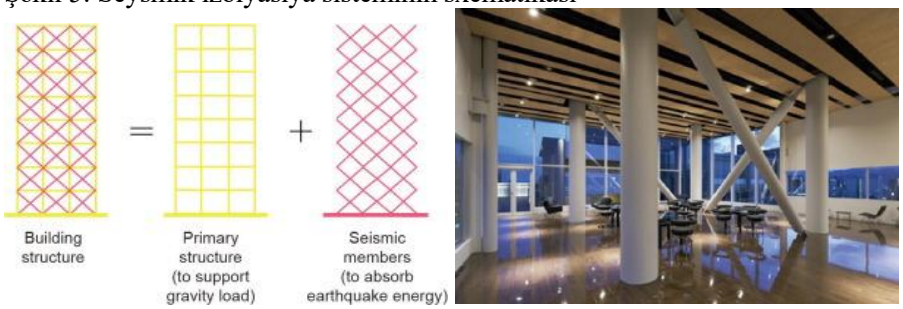
Yaponiyanın zəlzələ ilə mübarizəsi

Dünyanın ən böyük şəhərlərindən biri olan Tokio, zəlzələyə çox meylli bir ölkə olan Yaponiyanın paytaxtıdır. Tokio kimi zəlzələyə həssas böyük şəhərlərdə memarlıq və mühəndislik sahəsində əsas məqsəd struktur çökməsi və insan itkisini minimuma endirməkdir. Zəlzələ zamanı struktur komponentlərinin güclü sarsıntıya məruz qalması binanın şaquli yük daşıma qabiliyyətini itirməsinə və çökməsinə səbəb ola bilər. Tarixi və kövrək konstruksiyalar, xüsusilə möhkəmləndirilməmiş hörgü və köhnə RC (dəmir-beton) binalar, yan qüvvələr qarşısında məhdud elastikliyə malik olduqları üçün kritik zədələnmələrə və tam çöküşə daha çox məruz qalır.

Yaponiyada inkişaf etdirilmiş seysmik dizayn texnologiyaları bu riskləri azaltmaq üçün tətbiq olunur. Bunlara taxta çərçivələr, hörgü binalarda möhkəmləndirmələr, RC sütunlarda halqa və şüa dizaynları, polad konstruksiyalarda birləşmələrin möhkəmləndirilməsi və elastik struktur yanaşmaları daxildir. Elastik dizayn prinsipləri, böyük zəlzələlər zamanı konstruksiyaların plastik deformasiyası vasitəsilə seysmik enerjini udmağa və strukturun çökməsinin qarşısını almağa imkan verir [1].

Passiv idarə olunan və seysmik cəhətdən təcrid olunmuş strukturlar gələcək dizaynlarda daha çox tətbiq olunur. Bu yanaşmalar əsas strukturu yan yüklərə qarşı qoruyur, seysmik enerjini udur və sakinlərin

təhlükəsizliyini təmin edir. Belə texnologiyalar həm yeni tikililərdə, həm də mövcud kövrək binaların möhkəmləndirilməsində memarlıq və mühəndisliyin əsas komponenti kimi qəbul edilir.
Yaponiyada tətbiq edilən iki mərhələli elastik və qeyri-elastik dizayn metodologiyası 35 ildən çox əvvəl yaranmışdır. Son üç onillikdə texnologiyalar əhəmiyyətli dərəcədə inkişaf etmiş, sosial tələbatlar və cəmiyyətlərin strukturu isə dəyişmişdir. Əvvəllər əsas məqsəd yalnız həyat təhlükəsizliyinin təmin edilməsi idisə, indi müasir cəmiyyətlərdə binaların davamlı istifadəsi də vacib meyar kimi qəbul edilir. Böyük zəlzələlər zamanı həm bizneslərin fasiləsiz fəaliyyətinin qorunması, həm də evlərin, xəstəxanaların, körpülərin və digər kritik infrastrukturların fəaliyyətdə qalması həyati əhəmiyyət daşıyır [3].
Binaların böyük zəlzələlərə davamlı olması üçün elastik dizayn yanaşmalarına alternativ olaraq, ilkin strukturda zədələnmənin baş verdiyi seysmik izolyasiya və passiv idarə olunan sistemlər tətbiq olunur. Bu yanaşmada seysmik enerjini udmaq üçün dəyişdirilə bilən elementlər əsas konstruksiyadan ayrılır, beləliklə cazibə yükünü daşıyan struktur toxunulmaz qalır. Əyilmə məhdudlaşdırıcı dayaqlar (BRB) və digər seysmik elementlər ilkin strukturu qoruyaraq zəlzələdən sonra binaların davamlı istifadəsinə imkan yaradır. Bu metod binaların sahib və istifadəçilərinə seysmik davranışı izah etmək üçün şəffaflıq təmin edir və strukturun böyük zəlzələdən sonra təhlükəsiz, uzunmüddətli istifadəsini mümkün edir.
Şəkil 5: Seysmik izolyasiya sisteminin sxematikası



Mənbə: [11]

Sinqapurda İnnovativ Yaşıl Şaquli Şəhər İnkişafı

Sinqapurda yerləşən Kampung Admiralty layihəsi, müasir memarlıq və şəhərsalma sahəsində yaşlanan əhali üçün innovativ "şaquli şəhər" modeli kimi hazırlanmışdır. WOHA Architects tərəfindən layihələndirilən bu çoxfunksiyalı kompleks şəhər mərkəzindəki məkandan səmərəli istifadəyə və sosial inteqrasiyanın təşviqinə yönəlmişdir.

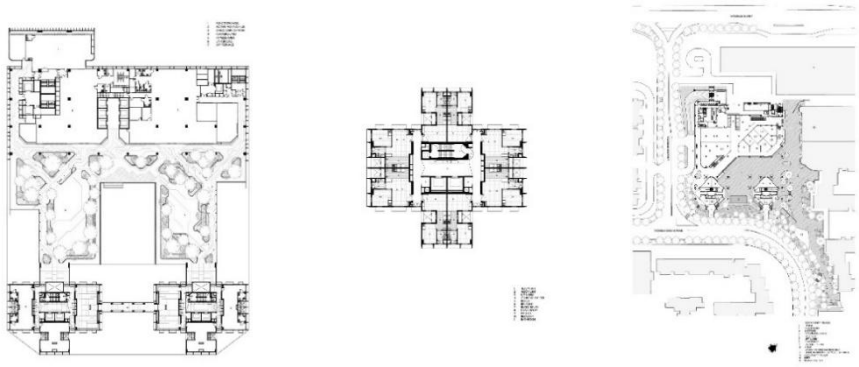
Şəkil 6: Sinqapurda yerləşən Kampung Admiralty layihəsi



Sxemin əsas məqsədi Sinqapurda artan sayda yaşlı insanlara və torpaq məhdudiyyətlərinə davamlı mühit təmin etməkdir. Kompleks yaşlı insanların sosial fəaliyyətlərdə iştirakını təşviq edir, qonşuları ilə münasibətlərini gücləndirir və şəhər mühitində aktiv qalmalarına imkan verir. Bu məqsədlə bina üç əsas funksional təbəqənin sintezi ilə formalaşdırılıb:
Aşağı mərtəbə – İctimai Meydan: Tamamilə sosial məkan kimi layihələndirilib. Burada yol səs-küyündən qorunan meydanda festivallar, sosial tədbirlər və uşaqlar üçün texniki xidmət mərkəzləri yerləşir. Bu mərtəbə həm gənclər, həm də yaşlı insanlar üçün sosial qarşılıqlı əlaqəni təşviq edir.
Orta mərtəbə – Tibb Mərkəzi: Yaşayış kompleksinin sakinləri üçün ixtisaslaşmış tibbi xidmətlərə sürətli və asan çıxış təmin edir. Bu təbəqə şəhər mühitində yaşlı insanlar üçün səhiyyə xidmətlərinin faydalarını artırır.

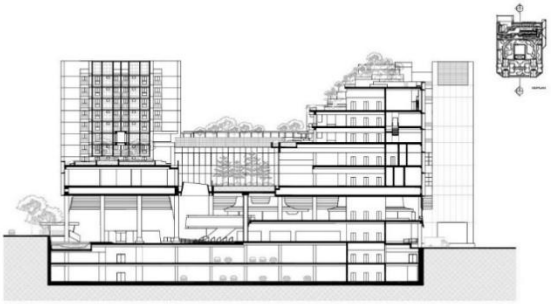
Üst mərtəbə – Yaşayış blokları və İcma Parkı: 11 mərtəbədən ibarət iki blokda 104 məkan yerləşir və yaşlı ailələr və subay insanlar üçün nəzərdə tutulub. Bundan əlavə, bu mərtəbədə təbii işıq və havalandırma təmin edən böyük pəncərələr var və kənd təsərrüfatı sahələri ilə inteqrasiya olunmuş İcma Parkı sakinlər üçün açıq yaşıl sahə və sosial fəaliyyətlər üçün imkanlar yaradır [9].

Şəkil 7: Sinqapurda yerləşən Kampung Admiralty layihəsinin planı



Kampunq Admirallığının tikintisi həmçinin daimi memarlıq prinsiplərini əks etdirir: yaşıl damlar, təbii işıqlandırma və təbii havalandırma sistemi enerji istehlakını minimuma endirir. Bu yanaşma şəhər mərkəzindəki torpaq sərhədlərinə cavab verən və sosial həyatı təşviq etməyə kömək edən ekoloji və funksional model təqdim edir.

Şəkil 8: Sinqapurda yerləşən Kampung Admiralty layihəsinin kəsimi



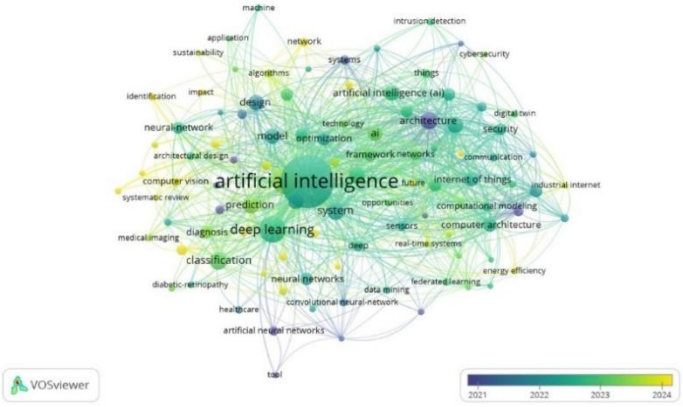
Nəticədə, "şaquli şəhər" konsepsiyası ilə Kampunq Admirallığı Sinqapurun şəhərsalma mühitində yaşlılar üçün sosial, ekoloji və funksional inteqrasiyanın mükəmməl nümunəsini təmsil edir. Bu layihə müasir şəhər memarlığında yaşıl infrastrukturun və çoxfunksiyalı məkanların uğurlu sintezinin praktik tətbiqi kimi qiymətləndirilə bilər.

Ədəbiyyat icmalı

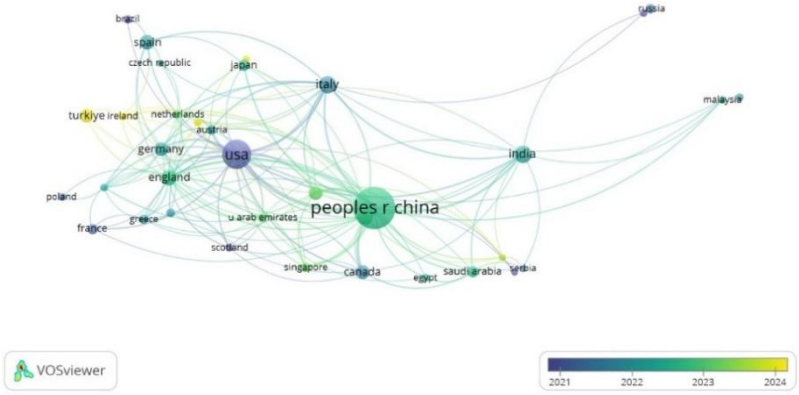
Bu bölmə məlumat mərkəzlərinin dayanıqlılığı sahəsində aparılmış tədqiqatların elmi təsirini və əməkdaşlıq dinamikasını təhlil edir. Ən çox sitat gətirilən sənədlər sahədə əsas istinadları göstərir, orta və aşağı sitatlı sənədlər isə yeni və spesifik araşdırma istiqamətlərinə işarə edir. Ölkə üzrə istinad təhlili müxtəlif ölkələrin bu sahəyə verdiyi töhfələri və beynəlxalq təsiri qiymətləndirməyə imkan verir.

Müəllif şəbəkələri əməkdaşlıq dinamikasını və müəlliflərin sahəyə təsirini əks etdirir. Yüksək birgə müəlliflik gücünə malik müəlliflər geniş şəbəkəyə sahib olur və sahədə əhəmiyyətli rol oynayır, aşağı şəbəkə gücünə malik müəlliflər isə daha məhdud təsir göstərir. Təşkilatlar arasında birgə əməkdaşlıq şəbəkəsi tədqiqatın yayılmasını və gücünü göstərir. Böyük və tanınmış təşkilatlar daha geniş əməkdaşlıq imkanlarına malikdir, kiçik təşkilatlar isə daha dar təsir dairəsinə sahib olur. Bu təhlil, tədqiqat strategiyalarının hazırlanması və əməkdaşlıq imkanlarının artırılması üçün mühüm göstəricilər təqdim edir.

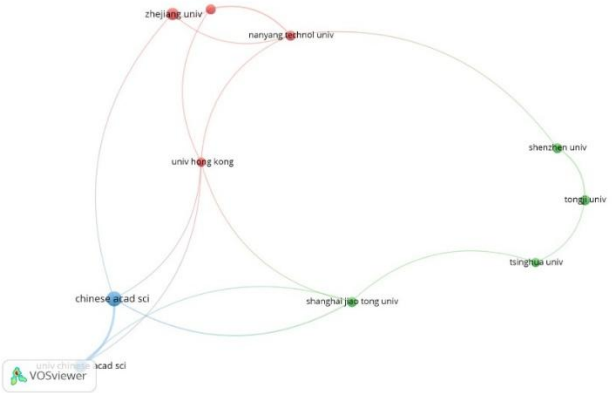
Ən çox sitat gətirilən sənədlər sahədəki əsas istinadları göstərir, orta və aşağı sitat gətirilən sənədlər isə daha spesifik və ya yeni tədqiqat sahələrinə işarə edir. Bu təhlil tədqiqatın məlumat mərkəzinin dayanıqlığına təsirini və əhatə dairəsini qiymətləndirmək üçün vacib məlumatlar təqdim edir.



Ölkə üzrə istinad təhlili müəyyən bir tədqiqat mövzusuna beynəlxalq təsir və töhfələri ölçmək üçün istifadə olunur. Aşağıda, məlumat mərkəzinin dayanıqlılığı tədqiqatına müxtəlif ölkələrin töhfələri və təsir səviyyələri ətraflı araşdırılır.



Müəllif şəbəkələri müəlliflər arasında əməkdaşlıq dinamikasını və qarşılıqlı əlaqələri anlamaq üçün əsas göstəricidir. Yüksək birgə müəlliflik və şəbəkə gücünə malik müəlliflər çox vaxt geniş əməkdaşlıq şəbəkəsinə malikdirlər və tədqiqat sahəsində əhəmiyyətli təsir göstərirlər. Digər tərəfdən, aşağı şəbəkə gücünə malik müəlliflərin əməkdaşlığı ümumiyyətlə daha məhduddur. Bu təhlil müəlliflərin əməkdaşlıq münasibətləri və onların tədqiqat sahəsinə təsiri barədə dəyərli məlumatlar verir. Birgə müəlliflik şəbəkələrinin araşdırılması tədqiqat strategiyalarının hazırlanmasında və akademik əməkdaşlığın istiqamətləndirilməsində mühüm vasitə ola bilər.



Təşkilatlar arasında birgə müəlliflik və tərəfdaşlıq münasibətləri tədqiqat əməkdaşlığının yayılmasını və gücünü nümayiş etdirir. Böyük təşkilatlar tez-tez geniş əməkdaşlıq şəbəkəsinə malikdirlər, kiçik və ya daha

az tanınan təşkilatlar isə daha dar təsirə malik ola bilərlər. Bu təhlil tədqiqat əməkdaşlığının necə paylandığını və hansı təşkilatların daha effektiv tərəfdaşlıq qurduğunu anlamaq üçün vacibdir. Birgə müəlliflik şəbəkəsi tədqiqat strategiyaları və əməkdaşlığı planlaşdırarkən nəzərə alınmalı bir amildir. Təşkilatlar arasında bu əməkdaşlıqlar beynəlxalq tədqiqat layihələrində səmərəliliyi artıra və bilik mübadiləsini təşviq edə bilər.



Bu təhlil, məlumat mərkəzlərinin dayanıqlılığı sahəsində aparılan tədqiqatların beynəlxalq təsirini və əhatə dairəsini daha dərindən anlamağa imkan verir. Ölkə üzrə istinadların təhlili müxtəlif dövlətlərin sahəyə verdiyi töhfələri və onların qlobal səviyyədəki əhəmiyyətini göstərir, müəllif şəbəkələri isə əməkdaşlıq dinamikasını və sahədəki bilik mübadiləsinin intensivliyini ortaya qoyur. Eyni zamanda təşkilatlar arasındakı birgə müəlliflik və tərəfdaşlıq əlaqələri, tədqiqat əməkdaşlığının necə paylandığını və hansı qurumların daha səmərəli şəbəkələr qurduğunu göstərir. Beləliklə, bu təhlil yalnız mövcud bilik bazasını qiymətləndirməyə deyil, həm də gələcək tədqiqat istiqamətlərini planlamaq, akademik əməkdaşlığı gücləndirmək və qlobal bilik mübadiləsini təşviq etmək üçün əhəmiyyətli bir vasitə kimi çıxış edir.

Nəticə

Çinin Shenzhen şəhərində tətbiq olunan yüksək sıxlıqlı vertikal şəhərsalma modeli Bakı şəhərinin tarixi-morfoloji quruluşu, relyefi və mövcud urban inkişaf xüsusiyyətləri baxımından birbaşa tətbiq oluna bilməz. Bakı amfiteatr tipli relyefə, formalaşmış radial-həlqəvi yol şəbəkəsinə və tarixi-mədəni mühitə malikdir. Buna baxmayaraq, vertikal şəhərsalma modelinin müəyyən komponentləri, xüsusilə landşaft inteqrasiyası və çoxsəviyyəli yaşıllaşdırma prinsipləri Bakı üçün uyğunlaşdırılmış formada tətbiq oluna bilər. Buraya şaquli yaşıllıq sistemləri (yaşıl fasadlar), dam bağları, çoxmərtəbəli binalarda terras tipli landşaft həlləri və yaşayış komplekslərində inteqrasiya olunmuş mikro-parkların yaradılması daxildir.

Bakı şəhərində urbanizasiyanın sürətlənməsi, hündür mərtəbəli binaların artması və mövcud yaşıl sahələrin azalması vizual mühitin “betonlaşması” ilə nəticələnir. Bu baxımdan, vertikal landşaft həllərinin tətbiqi yalnız ekoloji və estetik üstünlüklər yaratmaqla kifayətlənmir, həm də sakinlərin sosial və psixi sağlamlığına müsbət təsir göstərir. Tədqiqatlar göstərir ki, gündəlik vizual mühitdə təbii elementlərin mövcudluğu stress səviyyəsini azaldır, emosional sabitliyi artırır və ümumi rifah göstəricilərini yaxşılaşdırır. Əksinə, monoton beton konstruksiyalar psixoloji yorğunluğu və şəhər stresini artıran amillərdən biridir.

Gələcək urban inkişaf perspektivində Qaradağ ərazisi strateji əhəmiyyət kəsb edir. Qaradağda tikinti intensivliyi hələ ki aşağıdır və Bakı şəhərinə yaxın yerləşdiyi üçün əhali artımının yönləndirilməsi baxımından əlverişlidir. Shenzhen təcrübəsinin adaptasiyası ilə Qaradağda çoxsəviyyəli yaşıl sahələr, sky garden-lər və inteqrasiya olunmuş mini-parklardan ibarət pilot layihələrin həyata keçirilməsi mümkündür. Bu yanaşma şəhərin sıxlıq problemini yüngülləşdirməklə yanaşı, ekoloji davamlılığı təmin edir və yeni məhəllələrin sosial-mədəni funksionallığını gücləndirir.

Süni intellekt (AI) texnologiyaları bu prosesdə strateji rol oynaya bilər. Şəhərsalma qərarlarının optimallaşdırılması üçün AI əsaslı modellər və simulyasiyalar tətbiq oluna bilər. Məsələn, şəhər ərazisinin gələcək əhali sıxlığını, nəqliyyat yükünü, ekoloji yükü və enerji sərfini proqnozlaşdırmaq üçün maşın öyrənməsi algoritmləri istifadə oluna bilər. AI həmçinin şəhər landşaftının və yaşıllıq zonalarının yerləşdirilməsini analiz edərək maksimal ekoloji və sosial fayda təmin edən həllər təklif edə bilər. Smart city sensorları və AI analitikası vasitəsilə əhali hərəkəti, hava keyfiyyəti, istilik adası effekti və sosial interaksiyalar real vaxtda izlənə və optimallaşdırıla bilər.

Eyni zamanda, səhiyyə obyektləri, yaşayış massivləri və sıx məskunlaşmış ərazilərdə AI-nin dəstəyi ilə landşaft həllərinin tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. AI analitikası pasiyent və sakin davranışlarını proqnozlaşdıraraq, yaşıllıq zonalarının optimal ölçü və yerləşimini müəyyən edə bilər, beləliklə emosional və psixi sağlamlıq baxımından daha effektiv mühit təmin edilir.

Buna görə də, Bakı şəhərinin gələcək şəhərsalma strategiyasında aşağıdakı prinsiplərin nəzərə alınması məqsədəuyğundur:

1. Hündür mərtəbəli binalarda şaquli landşaft və sky garden-lərin geniş tətbiqi;
2. Yaşıl sahələrin yalnız funksional deyil, sosial və psixoloji əhəmiyyətinə uyğun dizayn edilməsi;
3. Qaradağ ərazisinin urbanizasiyası üçün çoxsəviyyəli və ekoloji davamlı yaşayış komplekslərinin planlaşdırılması;
4. Səhiyyə və yaşayış obyektləri ətrafında mikro-yaşıl sahələrin təşkili və sosial interaksiyanın təşviqi;
5. Süni intellekt texnologiyaları və smart city platformaları vasitəsilə şəhər ekosisteminin planlaşdırılması, monitorinqi və optimizasiyası.

Beləliklə, Shenzhen modeli Bakı üçün yalnız bir prototip olaraq çıxış edir və yerli şəraitə uyğun adaptasiya olunmuş vertikal şəhərsalma komponentləri həm estetik, həm ekoloji, həm də sosial dayanıqlılıq baxımından əhəmiyyətli töhfə verə bilər. Süni intellektin tətbiqi isə urban planlaşdırmanı daha elmi əsaslı, effektiv və davamlı etməyə imkan yaradır. Qaradağ ərazisinin inkişafı isə şəhərin urban sıxlığının tənzimlənməsi və yaşıl sahələrin artırılması baxımından strateji imkanlar təqdim edir.

Ədəbiyyat

1. Ding, M., Shen, G., Liu, Y., Yuan, H., & Zheng, Q. (2024). Simulating micro-climatic effects of sky-gardens designed with middle-to-high rise buildings. Journal of Building Engineering, 83, 110825. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110825
2. Ellard C. (2015). Places of the heart: The psychogeography of everyday life. Bellevue Literary Press.
3. He, W., & Chen, M. (2024). Advancing urban life: A systematic review of emerging technologies and artificial intelligence in urban design and planning. Buildings, 14(3), 835. https://doi.org/10.3390/buildings14030835
4. He, W., & Chen, M. (2024). Advancing urban life: A systematic review of emerging technologies and artificial intelligence in urban design and planning. Buildings, 14(3), 835. https://doi.org/10.3390/buildings14030835
5. Kjellgren, A., & Buhrkall, H. (2010). A comparison of the restorative effect of a natural environment with that of a simulated natural environment. Journal of Environmental Psychology, 30(4), 464–472. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2010.01.011
6. Li, Y., Du, H., & Sezer, C. (2022). Sky gardens, public spaces and urban sustainability in dense cities: Shenzhen, Hong Kong and Singapore. Sustainability, 14(16), 9824. https://doi.org/10.3390/su14169824
7. Li, Y.; Du, H.; Sezer, C. Sky Gardens, Public Spaces and Urban Sustainability in Dense Cities: Shenzhen, Hong KongandSingapore. Sustainability 2022, 14, 9824. https:// doi.org/10.3390/su14169824
8. Sağ, M. A. (2025). Yeni kentsel alanlarda sürdürülebilir mahalle planlaması: "Bizim Şehir Konya" projesi örneği, Mekansal Araştırmalar Dergisi, 3(2):129-146. https://doi.org/ 10.71298/maddergi.1744281
9. Si, S., Yao, Y., & Wu, J. (2025). Artificial intelligence in urban planning: A bibliometric analysis and hotspot prediction. Land, 14(11), 2100. https://doi.org/10.3390/land14112100
10. Sullivan, W. C., Kuo, F. E., & Depooter, S. F. (2004). The fruit of urban nature: Vital neighborhood spaces. Environment and Behavior, 36(5). https://doi.org/10.1177/0193841X04264945
11. Takagi, J., & Wada, A. (2019). Higher performance seismic structures for advanced cities and societies. Engineering, 5, 1034–1043. https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.023
12. Tian, Y., & Jim, C. Y. (2011). Factors influencing the spatial pattern of sky gardens in the compact city of Hong Kong. Landscape and Urban Planning, 101(2), 129–139. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.035 [12]
13. Tian, Y., & Jim, C. Y. (2012). Development potential of sky gardens in the compact city of Hong Kong. Urban Forestry & Urban Greening, 11(2), 129–138. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.03.003
14. Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. Science, 224(4647), 420–421. https://doi.org/10.1126/science.6143402
15. Üstün, E. E. (2020). Yapay zekâ çağında akıllı binaların yeniden değerlendirilmesi (Yüksek lisans tezi, İstanbul Bilgi Üniversitesi, Lisansüstü Programlar Enstitüsü, Mimarlık Tarihi, Teorisi ve Eleştirisi). İstanbul Bilgi Üniversitesi. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://openaccess.bilgi.edu.tr/server/api/core/bitstreams/04afec8c-7d4b-4784-9273-113be67ea64a/content
16. Valtchanov, D., Barton, K., & Ellard, C. (2010). *Restorative effects of virtual nature settings. Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 13*(5), 503–512. https://doi.org/10.1089/cyber.2009.0308
17. Xinhua. (2025, October 29). China Focus: China's smart city innovations win global praise. Xinhua. https://english.news.cn/20251029/bd700637c704458d9bd1179ec5fa2018/c.html
18. Yu, W., Zhang, Y., Zhou, W., Wang, W., & Tang, R. (2019). Urban expansion in Shenzhen since 1970s: A retrospect of change from a village to a megacity from space. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 110, 21–30. https://doi.org/
19. https://www.stat.gov.az/source/construction/az/24.Bak%C4%B1.xls
20. https://www.iso.org/home.html

İCTİMAİ MÜHİTLƏRDƏ EKOLOJİ VƏ FUNKSİONAL DİZAYNIN VƏHDƏTİ

Nazim Kazımov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat / Memarlıq Mühitinin Dizaynı
nkazimov1@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan
0009-0008-3978-0039

Xülasə: Bu məqalədə ictimai məkanların formalaşdırılması prosesində ekoloji dayanıqlılıq və funksional dizayn prinsiplərinin qarşılıqlı inteqrasiyası geniş və çoxsəviyyəli elmi yanaşma çərçivəsində tədqiq olunur. Müasir urban mühitdə ictimai sahələrin təşkili yalnız estetik və texniki tələblərlə məhdudlaşmır, eyni zamanda iqlim dəyişikliklərinə adaptasiya, enerji səmərəliliyi, resursların dövri istifadəsi, ekosistemlərin qorunması və sosial inklüzivliyin təmin olunması kimi kompleks amillərin vəhdətini tələb edir.

Tədqiqat çərçivəsində yaşıl memarlıq, ağıllı şəhər konsepsiyaları və insan-mərkəzli dizayn yanaşmaları beynəlxalq urban təcrübə ilə müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir. Bu analiz nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, ictimai məkanların effektiv formalaşdırılması yalnız mühəndis-texniki həllərin tətbiqi ilə məhdudlaşmır, həm də sosial davranış modelləri, ictimai münasibətlər və mədəni identiklik faktorlarının nəzərə alınmasını tələb edir.

Məqalədə təqdim olunan metodoloji model adaptiv planlaşdırma prinsipləri, mikroiqlim optimallaşdırılması, funksional zonalaşma, resursların rasional idarə olunması və rəqəmsal monitorinq sistemlərini özündə birləşdirir. Bu model ictimai mühitlərin həm ekoloji baxımdan dayanıqlı, həm də funksional baxımdan çevik şəkildə inkişafını təmin etməyə yönəlmişdir. Bakı şəhərinin urban inkişafı üçün təklif olunan yanaşma qlobal dayanıqlı dizayn prinsipləri ilə uyğun olmaqla yanaşı, yerli iqlim şəraiti, sosial struktur və mədəni xüsusiyyətlərə uyğunlaşdırılmışdır.

Açar sözlər: *Ekoloji dizayn, funksional dizayn, ictimai məkan, dayanıqlılıq, urban mühit, ağıllı şəhər, mikroiqlim*

Abstract: This article explores the integration of ecological sustainability and functional design principles in the formation of public spaces within a comprehensive and multi-dimensional framework. In contemporary urban environments, the design of public spaces extends beyond aesthetic and technical considerations to include climate adaptation, energy efficiency, circular resource management, ecosystem preservation, and social inclusiveness.

The research is based on a comparative analysis of green architecture, biomimicry, smart city concepts, and human-centered design approaches in relation to international urban practices. The findings reveal that the successful formation of public environments requires not only technical and engineering solutions but also the consideration of human behavior, social interaction patterns, and cultural identity.

The proposed methodological model integrates adaptive planning strategies, microclimate optimization, functional zoning, resource-efficient systems, and digital monitoring technologies. This approach aims to enhance both the ecological resilience and functional flexibility of public spaces. The framework developed for the urban transformation of Baku aligns with globally recognized sustainable design principles while being tailored to local climatic, social, and cultural conditions.

Keywords: *ecological design, functional design, public space, sustainability, urban environment, smart city, microclimate*

I.GİRİŞ

XXI əsrdə şəhər mühitləri sürətli urbanizasiya, texnoloji yeniliklər və qlobal iqlim dəyişikliklərinin təsiri altında kompleks transformasiya prosesindən keçir. Bu proseslər şəhərlərin yalnız fiziki strukturunu deyil, həm də sosial və ekoloji sistemlərini yenidən formalaşdırır. Müasir şəhər artıq sadəcə yaşayış məkanı deyil, müxtəlif funksiyaların, sosial əlaqələrin və ekoloji proseslərin qarşılıqlı təsirdə olduğu dinamik sistem kimi çıxış edir.

İctimai məkanlar bu sistemin ən aktiv və vacib komponentlərindən biri hesab olunur. Parklar, meydanlar, bulvarlar və piyada zonaları şəhər həyatının sosial nüvəsini təşkil edir və insanların gündəlik fəaliyyətində mühüm rol oynayır. Bu məkanlar yalnız istirahət və rekreasiya məqsədi daşımır, eyni zamanda sosial inteqrasiyanı, mədəni mübadiləni və ictimai münasibətlərin formalaşmasını təmin edir.

Müasir şəhərsalma yanaşmalarında dizayn prosesi statik planlaşdırmadan dinamik və adaptiv mühitlərin yaradılmasına doğru inkişaf edir. Ekoloji dizayn anlayışı təbii resursların qorunması, enerji səmərəliliyinin artırılması və ətraf mühitə mənfi təsirin minimuma endirilməsi kimi məqsədləri özündə birləşdirir. Funksional dizayn isə məkanın istifadə səmərəliliyini, insan axınlarının təşkilini və istifadə rahatlığını təmin edir.

Bu iki yanaşmanın inteqrasiyası nəticəsində ictimai məkanlar həm ekoloji baxımdan davamlı, həm də sosial baxımdan effektiv istifadə olunan mühitlərə çevrilir. Azərbaycan kontekstində, xüsusilə Bakı şəhərində sürətli urban inkişaf fonunda ictimai məkanların keyfiyyətinin artırılması və bu prinsiplərin sistemli tətbiqi mühüm aktuallıq kəsb edir.

II.TƏDQİQATIN MƏQSƏDİ VƏ METODOLOJİ YANAŞMA

Tədqiqatın əsas məqsədi ictimai məkanların planlaşdırılması və dizaynında ekoloji dayanıqlılıq və funksional prinsiplərin inteqrasiyasına əsaslanan konseptual modelin işlənib hazırlanmasıdır. Bu məqsədə nail olmaq üçün nəzəri və tətbiqi yanaşmaların kompleks analizi aparılmışdır.

Tədqiqat metodologiyası elmi ədəbiyyatların təhlili, beynəlxalq standartların müqayisəli araşdırılması və yerli urban təcrübələrin öyrənilməsini əhatə edir. Ekoloji memarlıq, biomimikri və insan-mərkəzli dizayn konsepsiyaları nəzəri baza kimi götürülmüşdür. Beynəlxalq təcrübədə geniş tətbiq olunan qiymətləndirmə sistemləri və dayanıqlı inkişaf prinsipləri də metodoloji çərçivəyə daxil edilmişdir.

Bununla yanaşı, yerli şəhərsalma sənədlərinin analizi aparılaraq Bakı şəhərinin inkişaf potensialı və mövcud problemləri müəyyən edilmişdir. Bu analiz nəticəsində ictimai məkanların daha effektiv təşkili üçün çoxmərhələli model formalaşdırılmışdır.

III. EKOLOJİ VƏ FUNKSİONAL DİZAYNIN VƏHDƏT MODELİ

Təklif olunan model ictimai məkanların planlaşdırılmasında sistemli və mərhələli yanaşmanı təmin edir. İlk mərhələdə ərazinin təbii və iqlim xüsusiyyətləri təhlil edilir. Günəş radiasiyası, külək istiqamətləri, relyef və yaşıllıq potensialı kimi amillər nəzərə alınaraq mikroiqlimin optimallaşdırılması üçün ilkin qərarlar qəbul olunur. Bu mərhələ enerji passivliyinin təmin olunması və ekoloji balansın qorunması baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

İkinci mərhələdə funksional strukturlama həyata keçirilir və istifadəçi davranışı əsasında məkanın zonalaşdırılması aparılır. İnsan axınlarının analizi, sosial qarşılıqlı əlaqə nöqtələrinin müəyyənləşdirilməsi və təhlükəsizlik amillərinin nəzərə alınması bu mərhələnin əsas istiqamətlərini təşkil edir.

Üçüncü mərhələdə material və texnologiya seçimi həyata keçirilir. Ekoloji cəhətdən təmiz, aşağı karbon izinə malik və yerli resurslara əsaslanan materiallardan istifadə dizaynın dayanıqlılığını artırır. Eyni zamanda alternativ enerji mənbələrinin inteqrasiyası və su resurslarının idarə olunması kimi texnoloji həllər tətbiq edilir.

Sonrakı mərhələdə sosial inklüzivlik və estetik uyğunluq təmin olunur. Bütün sosial qruplar üçün əlçatan mühitin yaradılması, şəhər kimliyi ilə uyğun dizayn həllərinin seçilməsi və vizual harmoniyanın qorunması ictimai məkanların keyfiyyətini artırır.

Nəhayət, davamlı idarəetmə və monitorinq mexanizmləri tətbiq olunur. Bu mexanizmlər vasitəsilə enerji istifadəsi, ekoloji göstəricilər və istifadə intensivliyi daim izlənilir və optimallaşdırılır.

IV. NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

Tədqiqat nəticələri göstərir ki, ekoloji və funksional dizayn prinsiplərinin inteqrasiyası ictimai məkanların keyfiyyətinə kompleks təsir göstərir. Bu yanaşma enerji səmərəliliyinin artırılmasına, ətraf mühitin qorunmasına və sosial aktivliyin yüksəldilməsinə şərait yaradır.

Beynəlxalq təcrübələr bu modelin effektivliyini təsdiqləyir. Məsələn, Superkilen Park layihəsində multikultural yanaşma və funksional zonalaşma uğurla inteqrasiya olunmuşdur. Eyni zamanda Gardens by the Bay layihəsi ekoloji texnologiyaların və innovativ dizaynın uğurlu sintezini nümayiş etdirir.

Bakı şəhərində bu prinsiplərin tətbiqi üçün mövcud təbii resurslar və urban potensial mühüm imkanlar yaradır. Xüsusilə külək və günəş enerjisindən istifadə, sahil zonalarının yenidən təşkili və ağıllı texnologiyaların tətbiqi şəhər mühitinin keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldə bilər. Bununla yanaşı, mövcud layihələrdə ekoloji komponentlərin bəzən formal xarakter daşıması bu sahədə daha sistemli yanaşmanın vacibliyini göstərir.

V. YEKUN NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqatın nəticələri göstərir ki, müasir şəhər mühitində ictimai məkanların formalaşdırılması yalnız memarlıq və planlaşdırma məsələsi deyil, eyni zamanda kompleks sosial-ekoloji və texnoloji proseslərin qarşılıqlı təsiri kimi qiymətləndirilməlidir. Ekoloji dayanıqlılıq və funksional dizayn

prinsiplərinin inteqrasiyası şəhər məkanlarının uzunmüddətli inkişafında əsas strateji istiqamətlərdən biri kimi çıxış edir.

Tədqiqat çərçivəsində müəyyən edilmişdir ki, ictimai məkanların səmərəli təşkili üçün yalnız estetik və texniki meyarların nəzərə alınması kifayət etmir. Bu prosesdə iqlim amilləri, resursların səmərəli istifadəsi, enerji balansının qorunması, insan davranışı, sosial qarşılıqlı əlaqələr və mədəni identiklik kimi faktorların kompleks şəkildə təhlili və tətbiqi zəruridir. Bu yanaşma şəhər mühitində həm ekoloji tarazlığın qorunmasına, həm də sosial rifahın yüksəldilməsinə şərait yaradır.

Təklif olunan ekoloji-funksional inteqrasiya modeli göstərir ki, ictimai məkanların layihələndirilməsi mərhələsindən başlayaraq onların istismarı və idarə olunmasına qədər bütün proseslər sistemli şəkildə əlaqələndirilməlidir. Məkansal analiz, funksional zonalaşma, material seçimi, texnoloji inteqrasiya və sosial inklüzivlik kimi komponentlərin vahid model daxilində birləşdirilməsi daha effektiv və dayanıqlı urban mühitin formalaşdırılmasına imkan verir.

Bununla yanaşı, rəqəmsal texnologiyaların və ağıllı idarəetmə sistemlərinin tətbiqi ictimai məkanların funksionallığını və çevikliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Enerji istehlakının optimallaşdırılması, su resurslarının idarə olunması və ekoloji göstəricilərin monitorinqi bu sahədə mühüm rol oynayır. Bu isə şəhər mühitində resursların daha səmərəli istifadəsini təmin etməklə yanaşı, iqtisadi baxımdan da əlverişli nəticələr verir.

Bakı şəhəri kontekstində aparılan təhlil göstərir ki, mövcud urban inkişaf potensialına baxmayaraq, ekoloji və funksional dizayn prinsiplərinin tətbiqi hələ də tam sistemli xarakter daşımır. Xüsusilə ictimai məkanlarda ekoloji komponentlərin bəzən yalnız vizual və dekorativ xarakter daşıması onların funksional və texnoloji baxımdan tam inteqrasiya olunmadığını göstərir. Bu baxımdan, gələcək layihələrdə ekoloji yanaşmaların yalnız əlavə element kimi deyil, əsas planlaşdırma prinsipi kimi qəbul edilməsi vacibdir.

Tədqiqatın nəticələrinə əsasən qeyd etmək olar ki, ictimai məkanların inkişafı üçün aşağıdakı istiqamətlər prioritet hesab olunmalıdır: ekoloji texnologiyaların geniş tətbiqi, alternativ enerji mənbələrinin istifadəsi, sosial inklüzivliyin təmin olunması və rəqəmsal idarəetmə sistemlərinin inteqrasiyası. Bu istiqamətlər şəhər mühitinin daha dayanıqlı və insan yönümlü inkişafına xidmət edir.

Nəticə etibarilə, təqdim olunan model şəhərsalma praktikasında tətbiq olunduğu halda ictimai məkanların keyfiyyətinin yüksəldilməsinə, ekoloji tarazlığın qorunmasına və şəhər sakinlərinin həyat səviyyəsinin yaxşılaşmasına mühüm töhfə verə bilər. Gələcək tədqiqatlarda bu modelin konkret urban ərazilərdə tətbiqi, empirik məlumatlar əsasında qiymətləndirilməsi və yerli şəraitə uyğun olaraq daha da təkmilləşdirilməsi məqsədəuyğun hesab olunur.

ƏDƏBİYYAT

1.United Nations. Sustainable Development Goals Report 2023. New York: United Nations Publications, 2023.United Nations\
2.Human Settlements Programme (UN-Habitat). Global Public Space Toolkit: From Global Principles to Local Policies and Practice. Nairobi: UN-Habitat, 2015.
3.World Health Organization (WHO). Urban Green Spaces and Health: A Review of Evidence. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2016.
4.US Green Building Council. LEED v4.1 for Building Design and Construction. Washington, DC: USGBC, 2021.
5.Building Research Establishment (BRE). BREEAM Communities Technical Manual. Watford: BRE Global Ltd., 2020.
6.International WELL Building Institute. WELL Building Standard v2. New York: IWBI, 2020.
7.ICOMOS. Charter on Cultural Routes and Sustainable Development. Paris: ICOMOS, 2017.
8.UNESCO. Culture: Urban Future – Global Report on Culture for Sustainable Urban Development. Paris: UNESCO Publishing, 2022.
9.Yeang, Ken. Eco-Design: A Manual for Ecological Design. London: Wiley, 2008.
10.Beatley, Timothy. Biophilic Cities: Integrating Nature into Urban Design and Planning. Washington, DC: Island Press, 2011.
11.Gehl, Jan. Cities for People. Washington, DC: Island Press, 2010.
12.Jacobs, Jane. The Death and Life of Great American Cities. New York: Random House, 1961.
13.Rogers, Richard. Cities for a Small Planet. London: Faber and Faber, 1997.
14.Azərbaycan Respublikası Dövlət Şəhərsalma və Arxitektura Komitəsi. Bakı şəhərinin 2040-cı ilə qədər Baş Planı. Bakı, 2023.
16.Azərbaycan Respublikası Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi. Ətraf mühitin qorunması üzrə Milli Strategiya. Bakı, 2020.
17.Gülgəz, M. Yaşıl memarlıqda enerji səmərəliliyi prinsipləri. Bakı: BMU Nəşriyyatı, 2022.
18.Copenhagen Municipality. Superkilen Urban Park Project Report. Copenhagen, 2018.
19.National Parks Board Singapore. Gardens by the Bay Development Report. Singapore, 2019.

MEMARLIQ MÜHİTİNİN PLANLAŞDIRILMASINDA ƏNƏNƏVİ VƏ MÜASİR TƏTBİQLƏR
TRADITIONAL AND MODERN PRACTICES IN PLANNING THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT

Arzu Məmmədova Yusif/ Arzu Mammadova Yusif
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Dizayn Bölümü, Xırdalan, Azərbaycan
Baku Engineering University, Faculty of Architecture and Construction, Department of Design, Khirdalan, Azerbaijan
amemmedova1@beu.edu.az
Orcid İD: 0000-0002-9474-4566

Şəfa Süleymanlı Ağası/ Sefa Suleymanli Aghasi
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Memarlıq Mühitinin Dizaynı Kafedrası, Xırdalan, Azərbaycan
Baku Engineering University, Faculty of Architecture and Construction, Department of Architectural Environment Design, Khirdalan, Azerbaijan
ssuleymanli8@std.beu.edu.az
Orcid İD: 0009-0002-9771-2436

Xülasə: Tarixən "mühit dizaynı" anlayışının ilk izlənilə bilən konsepsiyaları, ilk növbədə, təxminən eramızdan əvvəl 500-cü ildə Antik Yunanda başlayan günəş istiliyinə diqqət yetirdi. O vaxta qədər Yunanın çox hissəsi yanacaq üçün odun ehtiyatını istifadə edirdii, bu da memarları günəş enerjisini tutacaq evlər dizayn etməyə sövq etdi. Yunanlar günəşin mövqeyinin il boyu dəyişdiyini başa düşdülər. Yayda 40 dərəcə enində günəş cənubda yüksək, zenitində 70 odərəcə bucaq altında, qışda isə günəş daha aşağı orbitdə, zenit 26 dərəcə ilə hərəkət edir. Yunan evləri cənuba baxan fasadlarla tikilirdi ki, onlar yayda az və ya heç günəş işığı almadılar, lakin qışda tam günəş alaraq evi istiləşdirdilər. Bundan əlavə, cənub istiqaməti də evi soyuq şimal küləklərindən qoruyurdu. Binaların bu ağıllı düzülüşü qədim şəhərlərdə şəbəkə naxışının istifadəsinə təsir etdi. Şimal-cənub istiqamətli evlərlə Yunan şəhərlərinin küçələri əsasən şərq-qərb idi. Günəş memarlığı təcrübəsi eramızdan əvvəl 1-ci əsrdə öz vətənlərinin, İtaliya yarımadasının böyük bir hissəsini eyni şəkildə meşəsizləşdirən Romalılarla davam etdi. Hərfi mənada "günəş sobası" mənasını verən Roma heliokaminusu əvvəlki Yunan evləri ilə eyni xüsusiyyətlərə malikdir. Çoxsaylı ictimai hamamlar cənuba baxırdı. Romalı memarlar işığın keçməsinin qarşısını almaq və istiliyi saxlamaq üçün pəncərələrə şüşə əlavə edirdilər. Tarixi mənbələrdə Romalıların il boyu məhsul yetişdirmək və imperiyanın uzaq guşələrində ekzotik bitkilər yetişdirmək üçün istixanalardan da istifadə etdiklərinə dair məlumatlar var. Ətraf mühitin dizaynı və planlaşdırma proqramları adətən memarlıq tarixi və ya dizaynı (daxili və ya xarici), şəhər və ya regional planlaşdırma, landşaft memarlığı tarixi və ya dizaynı, ətraf mühitin planlaşdırılması, tikinti elmi, mədəni coğrafiya və ya tarixi qorunma ilə bağlıdır. Tarixdən əvvəlki cəmiyyətlər təkcə funksional deyil, həm də simvolik əhəmiyyət kəsb edən strukturlar yaratmaq üçün torpaq və daşı formaya salırdılar. Bu formalar çox vaxt səma naxışları və təbii landşaftlarla uyğunlaşaraq həndəsənin dərin anlayışını ortaya qoyur. Məqalə vizual şəkillərlə zənginləşdirilmişdir.
Açar sözlər: *Mühit dizaynı, memarlıq, günəş sobası, ənənəvi, müasirlik*
Abstract: Historically, the first traceable concepts of "environmental design" focused primarily on solar heat, beginning in Ancient Greece around 500 BC. Until then, most of Greece had been using wood for fuel, which prompted architects to design houses that would capture solar energy. The Greeks understood that the position of the sun changed throughout the year. In the summer, at a latitude of 40 degrees, the sun was high in the south, at an angle of 70 degrees at its zenith, while in the winter, the sun was in a lower orbit, at an angle of 26 degrees at its zenith. Greek houses were built with facades facing south, so that they received little or no sunlight in the summer, but received full sunlight in the winter, warming the house. In addition, the south orientation also protected the house from cold northern winds. This clever arrangement of buildings influenced the use of a grid pattern in ancient cities. With houses oriented north-south, the streets of Greek cities were mainly east-west. The practice of solar architecture continued with the Romans, who similarly deforested much of their homeland, the Italian peninsula, in the 1st century BC. The Roman heliocaminus, literally meaning "solar oven", had similar features to earlier Greek houses. Many public

baths faced south. Roman architects added glass to windows to block out light and retain heat. Historical sources also indicate that the Romans used greenhouses to grow crops year-round and to grow exotic plants in remote corners of the empire. Environmental design and planning programs are typically related to architectural history or design (interior or exterior), urban or regional planning, landscape architecture history or design, environmental planning, building science, cultural geography, or historic preservation. Prehistoric societies shaped earth and stone to create structures that were not only functional but also had symbolic significance. These shapes often align with celestial patterns and natural landscapes, revealing a deep understanding of geometry. The article is enriched with visual images.
Keywords: Environmental design, architecture, solar oven, traditional, modernity

GİRİŞ

Mühit memarlığı davamlılığı prioritetləşdirən və binaların təbii mühitə mənfi təsirini minimuma endirən dizayn yanaşmasıdır.

Mühit dizaynının məqsədi təkcə funksional və estetik baxımdan deyil, həm də davamlı və təbii mühitə uyğun olan strukturlar yaratmaqdır. Bu yanaşma hər mərhələdə onun ətraf mühitə təsirini minimuma endirmək məqsədi ilə materialların alınmasından tutmuş son istifadəyə verilməsinə qədər binanın bütün həyat dövrünün nəzərdən keçirilməsini nəzərdə tutur.

Mühit dizaynının əsas prinsipləri davamlılıq, funksionallıq, estetika və vahid yanaşmadan ibarətdir.[1]

Davamlılıq bərpa olunan mənbələrdən, enerjiyə qənaət edən texnologiyalardan və ekoloji cəhətdən təmiz materiallardan istifadə etməklə insan fəaliyyətinin ətraf mühitə təsirinin minimuma endirilməsi;

Funksionallıq istifadəçilərin ehtiyaclarına və davranışlarına cavab verən praktik, əlçatan və uyğunlaşa bilən məkanların layihələndirilməsi;

Estetika vizual cəlbediciliyin, hiss təcrübəsinin və emosional əlaqənin dizayna daxil edilməsi;

Vahid yanaşma isə ətraf mühiti formalaşdıran bir-biri ilə əlaqəli sosial, iqtisadi və ekoloji amillərin nəzərə alınmasıdır.

Bu gün ətraf mühitin dizaynı kiçik miqyaslı yaşayış layihələrindən tutmuş iri miqyaslı şəhərsalma təşəbbüslərinə qədər geniş miqyasda tətbiq olunur. Ətraf mühitin dizaynına aşağıdakılar daxildir:

- Davamlı memarlıq və ekoloji memarlıq
- Landşaft memarlığı və şəhərsalma
- Şəhərsalmada nəqliyyatın infrastrukturu
- Sənaye dizaynı və məhsulun inkişafı
- Daxili dizayn və məkan planlaması

Ətraf mühit dizaynerləri müasir mühitin mürəkkəb problemlərini həll edən vahid həllər hazırlamaq üçün mühəndislik, ekologiya, sosiologiya və ictimai siyasət kimi elmlərin mütəxəssisləri ilə əməkdaşlıq edirlər.

Tarixən "mühit dizaynı" anlayışı

Mühit dizaynının ilk izlənilə bilən konsepsiyaları, ilk növbədə, təxminən eramızdan əvvəl 500-cü ildə Antik Yunanda başlayan günəş istiliyinə diqqət yetirdi. O vaxta qədər Yunanın çox hissəsi yanacaq üçün odun ehtiyatını istifadə edirdii, bu da memarları günəş enerjisini tutacaq evlər dizayn etməyə sövq etdi. Yunanlar günəşin mövqeyinin il boyu dəyişdiyini başa düşdülər. Yayda 40 dərəcə enində günəş cənubda yüksək, zenitində 70 odərəcə bucaq altında, qışda isə günəş daha aşağı orbitdə, zenit 26 dərəcə ilə hərəkət edir. Yunan evləri cənuba baxan fasadlarla tikilirdi ki, onlar yayda az və ya heç günəş işığı almadılar, lakin qışda tam günəş alaraq evi istiləşdirdilər. Bundan əlavə, cənub istiqaməti də evi soyuq şimal küləklərindən qoruyurdu. Binaların bu ağıllı düzülüşü qədim şəhərlərdə şəbəkə naxışının istifadəsinə təsir etdi. Şimal-cənub istiqamətli evlərlə Yunan şəhərlərinin küçələri əsasən şərq-qərb idi.

Günəş memarlığı təcrübəsi eramızdan əvvəl 1-ci əsrdə öz vətənlərinin, İtaliya yarımadasının böyük bir hissəsini eyni şəkildə meşəsizləşdirən Romalılarla davam etdi. Hərfi mənada "günəş sobası" (Şəkil 1) mənasını verən Roma heliokaminusu əvvəlki Yunan evləri ilə eyni xüsusiyyətlərə malikdir. Çoxsaylı ictimai hamamlar cənuba baxırdı. Romalı memarlar işığın keçməsinin qarşısını almaq və istiliyi saxlamaq üçün pəncərələrə şüşə əlavə edirdilər. Romalılar il boyu məhsul yetişdirmək və imperiyanın uzaq guşələrindən ekzotik bitkilər yetişdirmək üçün istixanalardan da istifadə edirdilər. [2]



Şəkil 1. Fransanın Pireney-Şərq bölgəsindəki Odeilloda yerləşən günəş sobası 3500°C-yə (6330°F) qədər temperatura çata bilər.

Antik dövrdə binaları günəşə doğru istiqamətləndirmək və şüşədən günəş istilik kollektoru kimi istifadə etməklə yanaşı, günəş enerjisindən istifadə etməyin başqa yolları da məlum idi. Yunanlar, Romalılar və Çinlilər günəş şüalarını bir cisim üzərində o qədər intensiv şəkildə cəmləyə bilən əyri güzgülər hazırladılar ki, o, saniyələr ərzində yansın. Günəş reflektorları adətən cilalanmış gümüş, və misdən hazırlanırdı.

Müasir mühit dizaynın ən erkən kökləri 19-cu əsrin sonlarında studiyasının istehsal etdiyi divar kağızları, parçalar və kitablarda sənaye materialları və proseslərin istifadəsini rədd edən müəllif/dizayner William Morris tərəfindən qoyulmuşdur. O və Con Ruskin kimi başqaları sənaye inqilabının təbiətə və işçilərə zərər verəcəyinə inanırdılar.

Brian Danitz və Chris Zelovun "Ekoloji Dizayn: Gələcəyin Yaradılması" adlı sənədli filminin povesti, İkinci Dünya Müharibəsindən sonrakı onilliklərdə "dünyanın elm və sənayenin qaranlıq kölgəsi ilə üzləşməyə məcbur olduğunu" iddia edir. XX əsrin ortalarından etibarən Buckminster Fuller kimi mütəfəkkirlər ətraf mühit dizaynerlərinin narahatlıqlarının genişlənməsi və dərinləşməsi üçün katalizator rolunu oynadılar. Bu gün enerji səmərəliliyi, uyğun texnologiya, üzvi bağçılıq və kənd təsərrüfatı, torpağın bərpası, “Yeni Şəhərçilik” və ekoloji cəhətdən davamlı enerji və tullantı sistemləri qəbul edilən mülahizə və ya seçimlərdir və hər biri tətbiq tapa bilər.

Günəş fotovoltaik, günəş termal və hətta geotermal enerji kimi bərpa olunan enerji mənbələrini binalara inteqrasiya etməklə enerji istehlakının öz-özünə yarandığı və ətraf mühiti çirkləndirməyən sıfır emissiyalı binalar yaratmaq mümkündür. Həmçinin istehlak etdiklərindən daha çox enerji istehsal edən və artıqlığını şəbəkəyə satan “enerji-plus binalar” tikmək mümkündür. Birləşmiş Ştatlarda LEED Yaşıl Bina Qiymətləndirmə Sistemi binaları ətraf mühitin davamlılığına görə qiymətləndirir.

Mühit dizaynı və planlaşdırılması

Ətraf mühitin dizaynı və planlaşdırma proqramları adətən memarlıq tarixi və ya dizaynı (daxili və ya xarici), şəhər və ya regional planlaşdırma, landşaft memarlığı tarixi və ya dizaynı, ətraf mühitin planlaşdırılması, tikinti elmi, mədəni coğrafiya və ya tarixi qorunma ilə bağlıdır.

Tarixdən əvvəlki tikintidə həndəsi ustalıq

Tarixdən əvvəlki cəmiyyətlər təkcə funksional deyil, həm də simvolik əhəmiyyət kəsb edən strukturlar yaratmaq üçün torpaq və daşı formaya salırdılar. Bu formasiyalar çox vaxt səma naxışları və təbii landşaftlarla uyğunlaşaraq həndəsənin dərin anlayışını ortaya qoyur.

Memarlıqda mühit planlaşdırılması

Ətraf mühitin planlaşdırılması ekoloji, sosial, siyasi, iqtisadi və idarəetmə amillərini nəzərə alaraq, davamlı nəticələrə nail olmaq üçün vahid çərçivə təmin etməklə torpaqların işlənməsi qərarlarının asanlaşdırılması prosesidir. Ətraf mühitin planlaşdırılmasının əsas məqsədlərindən biri işlənməmiş torpaqları qorumağa və qorumağa çalışan davamlı icmalar yaratmaqdır. [3]

Ətraf mühitin planlaşdırılması təbii və insan sistemləri arasında və daxilində mövcud olan əlaqələri idarə etmək üçün zəruri olan qərar qəbuletmə prosesləri ilə məşğul olur. Ətraf mühitin planlaşdırılması bütün cari və gələcək maraqlı tərəflərin xeyrinə bu prosesləri effektiv, nizamlı, şəffaf və ədalətli şəkildə idarə etməyi hədəfləyir. Müasir ekoloji planlaşdırma təcrübələri bu cür qərar qəbuletmə proseslərinin davamlı təkmilləşdirilməsi və genişləndirilməsinin nəticəsidir. Müasir ekoloji planlaşdırmanın bəzi əsas elementlərinə aşağıdakılar daxildir:

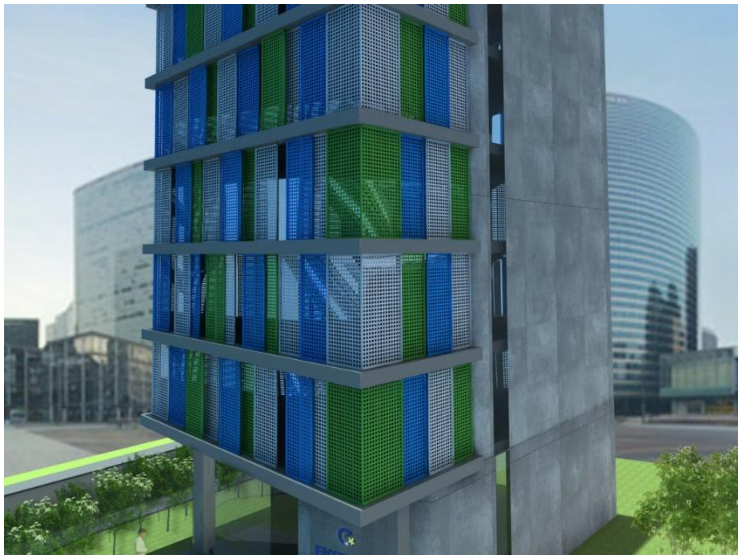
- Sosial və iqtisadi inkişaf

- Şəhər inkişafı
- Regional inkişaf
- Təbii ehtiyatların idarə edilməsi və torpaqdan kompleks istifadə
- İnfrastruktur sistemləri
- İdarəetmə çərçivələri

Ətraf mühitin planlaşdırılması qiymətləndirmələri torpaqdan istifadə, sosial-iqtisadi, nəqliyyat, iqtisadi və yaşayış xüsusiyyətləri, havanın çirklənməsi, səs-küy çirkliliyi, bataqlıq ərazilər, nəsli kəsilməkdə olan növlərin yaşayış mühiti, daşqın zonasına həssaslıq, sahil eroziyası və vizual tədqiqatlar kimi sahələri əhatə edir. Onlar İnteqrasiya edilmiş Ətraf Mühitin Planlaşdırılması Qiymətləndirmələri adlanır.[4]

Müasir dövrdə memarlıq mühit dizaynı anlayışı

Yaşıl memarlıq (Şəkil-2) və ya davamlı dizayn kimi də tanınan ətraf mühit memarlığı binaların tikintisi və istismarında ekoloji məsuliyyətə üstünlük verən bir təcrübədir. O, binanın karbon izini və təbii ekosistemlərə təsirini azaltmaq üçün ekoloji cəhətdən şüurlu dizayn strategiyalarını birləşdirir.



Şəkil-2. https://www.yesilodak.com/yesil-mimarlik-ve-yesil-tasarim-nedir

Yaşıl binaların ümumi xüsusiyyətləri:

Yaşıl memarlığın əsas məqsədi tam davamlılığa nail olmaqdır. Sadə şəkildə desək, insanlar davamlılığı təmin etmək üçün ekoloji yanaşmalar tətbiq edirlər. Hər bir yaşıl bina bütün xüsusiyyətləri daşımasa da, yaşıl memarlıq və dizayn adətən aşağıdakıları əhatə edir:

- Effektiv isitmə və soyutma təmin edən havalandırma sistemləri
- Enerjiyə qənaət edən işıqlandırma və məişət avadanlıqları
- Su sərfiyyatını azaldan santexnika qurğuları
- Yerli bitki örtüyünə uyğun landşaft həlləri
- Təbii ekosistemə minimal təsir
- Günəş və külək enerjisi kimi alternativ bərpa olunan enerji mənbələri
- Daxili və xarici istifadədə zərərsiz, sintetik olmayan materiallar
- Bu xüsusiyyətlər yaşıl binaların həm ekoloji, həm də funksional baxımdan daha davamlı olmasına xidmət edir.
- Uzaq məsafəli daşınmanı aradan qaldıran yerli mənbələrdən əldə olunan materiallar
- Məsuliyyətli şəkildə idarə olunan və istifadə edilən meşə resursları
- Köhnə tikililərin yenidən istifadəsi
- Təkrar emal olunmuş materiallardan istifadə
- Məkanın səmərəli və rasional təşkili
- Günəş işığını, küləyi və təbii havalandırmanı maksimum dərəcədə təmin edən optimal yerləşdirmə

Yaşıl bina olmaq üçün mütləq yaşıl dam tələb olunmur. Məsələn, italyan memar Renzo Piano yalnız yaşıl damla kifayətlənməmiş, San-Fransiskodakı Kaliforniya Elmlər Akademiyasının layihəsində izolyasiya məqsədilə təkrar emal olunmuş mavi cins parçalarından istifadə etmişdir. Eyni şəkildə, yaşıl bina yaratmaq üçün vertikal bağ və ya yaşıl divar da zəruri deyil; lakin fransız memar Jean Nouvel Sidneydə yerləşən One Central Park yaşayış kompleksində vertikal bağları uğurla tətbiq etmişdir.

Tikinti prosesi də yaşıl memarlığın əsas komponentlərindən biridir. Məsələn, Böyük Britaniya köhnə sənaye zonasını London 2012 Yay Olimpiya Oyunları üçün müasir məkana çevirmişdir. Bu layihədə tikinti materiallarının diqqətlə seçilməsi, betonun təkrar emalı, həmçinin materialların daşınmasında dəmir yolu və su nəqliyyatından istifadə kimi yanaşmalar tətbiq olunan çoxsaylı ekoloji həllərdən yalnız bir neçəsidir.

Ətraf mühitin memarlığı aşağıdakı əsas prinsiplərə əsaslanır:

- Enerji effektivliyi

Enerji tələbatının azaldılması ətraf mühitin dizaynında əsas yer tutur. Bura daxildir:

1.Təbii isitmə, soyutma və işıqlandırma üçün bina oriyentasiyasının və planının optimallaşdırılması
2.Yüksək performanslı izolyasiya, enerjiyə qənaət edən pəncərələr və LED işıqlandırmadan istifadə
3.Qalıq yanacaqlardan asılılığı azaltmaq üçün passiv günəş dizaynı və ağıllı sistemlərin inteqrasiyası

- Suya qənaət

Ətraf mühitin memarlığı suyun səmərəli istifadəsini və təkrar istifadəsini təşviq edir:

1.Aşağı axınlı qurğuların, boz su sistemlərinin və yağış suyunun yığılmasının həyata keçirilməsi
2.Suvarma ehtiyaclarını azaltmaq üçün yerli, quraqlığa davamlı bitkilərlə landşaft dizaynı
3.Yaşıl damlar, keçirici səkilər və bioswales vasitəsilə fırtına suyunun idarə edilməsi.

- Materialın davamlılığı

Materiallar ətraf mühitə aşağı təsir, davamlılıq və təkrar emal qabiliyyətinə görə seçilir:

1.Təkrar emal edilmiş, bərpa edilmiş və ya yerli mənbəli materiallara üstünlük vermək
2.Daxili havanın keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün zəhərli və ya VOC yayan məhsullardan qaçınmaq
3.Binanın ömrünün sonunda materialın təkrar istifadəsi və ya təkrar emalı üçün layihələndirmə

- Tullantıların azaldılması

Davamlı memarlıq tikintidən istismara qədər tullantıları məhdudlaşdırır:

1.Həssas dizayn vasitəsilə tikinti zamanı qırıntıların və qablaşdırmanın minimuma endirilməsi
2.Tullantıları azaltmaq üçün modul bina sistemlərindən istifadə
3.Söküntü əvəzinə təkrar emal, kompostlaşdırma və dekonstruksiyanı təşviq etmək

- Uzunmüddətli uyğunlaşma qabiliyyəti

Binalar təkcə bu gün üçün deyil, gələcək üçün nəzərdə tutulub:

1.Dəyişən ehtiyaclarla inkişaf edə bilən çevik planların birləşdirilməsi
2.Enerji və ya işıqlandırma kimi sistemlər üçün asan təkmilləşdirmələrin təmin edilməsi

Bu prinsipləri birləşdirərək, ekoloji arxitektura iqlimə davamlı, resurs baxımından səmərəli və sağlamlığa diqqətli məkanlar yaratmaqla həm innovativ, həm də davamlı bina mühitinə töhfə verir.

Nəticə

Mühit memarlığı və dizaynı göstərir ki, memarlıq yalnız estetik və funksional fəaliyyət deyil, həm də ətraf mühitlə balanslı münasibət qurmağa yönəlmiş kompleks yanaşmadır. Tarix boyu günəş orientasiyası, material seçimi və məkan təşkilində təbiətə uyğun həllər tətbiq olunmuş, müasir dövrdə isə bu yanaşma davamlılıq prinsipləri ilə daha sistemli xarakter almışdır. Araşdırma göstərir ki, mühit dizaynının əsasını enerji effektivliyi, su və material resurslarının səmərəli istifadəsi, tullantıların azaldılması və uzunmüddətli uyğunlaşma təşkil edir. Bu prinsiplər yalnız ayrı-ayrı binalarda deyil, şəhərsalma və planlaşdırma səviyyəsində də tətbiq olunaraq daha dayanıqlı yaşayış mühitinin formalaşmasına xidmət edir.

Nəticə etibarilə, mühit memarlığı insan, texnologiya və təbiət arasında harmoniyanı təmin edən, ekoloji məsuliyyətə əsaslanan və gələcək nəsillərin ehtiyaclarını nəzərə alan davamlı inkişaf modelidir.

Fikrimizcə bu cür inkişaf modelinin regionlarda nəzərə alınması, yeni inkişaf modellərinin araşdırılması, müsbət nəticə əldə edilən modellərin tətbiqi məsələlərinə diqqət edilməlidir.

İstinadlar

[8] Mağaralar, RW (2004). Şəhər Ensiklopediyası. Routledge. səh. 225.
[9] "Günəş enerjisi memarlığının qısa tarixi". Boletín CF+S (9)
[10] Beathley, Timothy (1995). “Planlaşdırma və Davamlılıq: Yeni Paradiqmanın Elementləri”. Planlaşdırma Ədəbiyyatı Jurnalı. doi: 10.1177/088541229500900405. S2CID 108642248. Alındı 26 sentyabr 2016

[11] s.160, Petts
[12] Əhmədi Məcid, Neda, 2017, Binalar üçün sağlam və davamlı memarlıq və xərc qənaət üsulları (farsca)
[13] https://www.diasen.com/en/the-principles-of-green-building-materials-and-techniques/
[14] Akcan, Esra, "Qlobal Dövrdə Tənqidilik: "Digər" Coğrafiyaların Problemi", Arredamento Mimarlık, Mart 2002, İstanbul, səh. 70-81.
[15] 4. Gaonkar, Dilip Parameshwar, "Alternativ Müasirliklər Haqqında", Alternativ Müasirliklər, Duke Universiteti Nəşriyyatı, London, 2001, səh. 1-23.
[16] 5. Taylor, Charles, "Müasirliyin İki Nəzəriyyəsi", Alternativ Müasirliklər, Duke Universiteti Nəşriyyatı, London, 2001, səh.
[17] 6. Gürbilek, Nurdan, "Qurbanın Dili: Tarixdə Məğlub, Üslubda Qalib", Qurbanın Dili, Metis Nəşriyyatı, 2008, İstanbul, səh. 75-111.
[18] 7. Foucault, Michel, İntellektualın Siyasi Funksiyası, Ayrıntı Yayınları, 2005, İstanbul. (Bu kitaba, xüsusən də "İntellektual və Güc" adlı müsahibə daxildir)

FOTOQRAMMETRİK METODLARLA ÜÇÖLÇÜLÜ KADASTR VERİLƏNLƏRİNİN HAZIRLANMASI METODOLOGİYASI

Samirə Verdiyeva
Bakı Mühəndislik Universiteti / İnşaat mühəndisliyi
Baku, Azerbaijan
sverdiyeva@beu.edu.az

Xülasə: Sürətli urbanizasiya və torpaq istifadəsinin getdikcə mürəkkəbləşməsi ənənəvi ikiölçülü kadastr sistemlərinin məhdudiyyətlərini üzə çıxarmışdır. Xüsusilə sıx şəhər ərazilərində yeraltı və yerüstü mülkiyyət hüquqlarının üst-üstə düşməsi üçölçülü kadastr yanaşmalarının tətbiqini zəruri edir. Bu təhlil 3D kadastr məlumatlarının yaradılması üçün fotoqrammetriya, pilotsuz uçuş aparatları (PUA) məlumatları və avtomatlaşdırılmış təsvir emalı texnologiyalarını qiymətləndirir.
Araşdırma çərçivəsində məlumatların yenilənməsi, yoxlanılması və Coğrafi İnformasiya Sistemləri (CİS) ilə inteqrasiyası prosesləri təhlil edilir. Nəticələr göstərir ki, fotoqrammetriya ənənəvi ölçmə üsulları ilə müqayisədə səmərəliliyi artırır, xərcləri azaldır və dəqiqliyi yüksəldir. Buna görə də, 3D kadastr sürətlə inkişaf edən şəhərlərdə davamlı planlaşdırmanı və şəffaf mülkiyyət idarəçiliyini dəstəkləyərək rəqəmsal torpaq idarəetməsi və ağıllı şəhər inkişafı üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.
Açar sözlər: *Üçölçülü kadastr, fotoqrammetriya, pilotsuz uçuş aparatı (PUA), CİS (Coğrafi İnformasiya Sistemləri)*

Methodology for Preparing Three-Dimensional Cadastral Data Using Photogrammetric Methods

Samira Verdiyeva
Baku Engineering University / Civil Engineering
Baku, Azerbaijan
sverdiyeva@beu.edu.az

Abstract: Rapid urbanization and the increasing complexity of land use have exposed the limitations of traditional two-dimensional cadastral systems. Particularly in densely populated urban areas, the overlap of underground and above-ground property rights necessitates the implementation of three-dimensional cadastral approaches. This analysis evaluates photogrammetry, unmanned aerial vehicle (UAV) data, and automated image processing technologies for the creation of 3D cadastral data.
Within the framework of the study, the processes of data updating, verification, and integration with Geographic Information Systems (GIS) are analyzed. The results indicate that photogrammetry increases efficiency, reduces costs, and improves accuracy compared to traditional surveying methods. Therefore, 3D cadastre plays a significant role in supporting sustainable planning and transparent property management in

rapidly developing cities, and is of great importance for digital land administration and smart city development.

Keywords: *Three-dimensional cadastre, photogrammetry, unmanned aerial vehicle (UAV), GIS (Geographic Information Systems)*

GİRİŞ

Son illərdə şəhərsalma, torpaq idarəetməsi və daşınmaz əmlakın qeydiyyatı sahəsində baş verən sürətli inkişaf ənənəvi ikiölçülü kadastr sistemlərinin imkanlarını məhdudlaşdırmışdır. Xüsusilə sıx məskunlaşmış şəhər ərazilərində çoxmərtəbəli tikililər, yeraltı infrastrukturlar və müxtəlif istifadə hüquqlarının üst-üstə düşməsi mülkiyyət münasibətlərinin idarə edilməsini daha da mürəkkəbləşdirir. Bu səbəbdən üçölçülü kadastr anlayışı müasir torpaq idarəetmə sistemlərinin əsas istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir.

Fotoqrammetrik metodlar, insansız hava aparatları və müasir təsvir emalı texnologiyaları üçölçülü məkan məlumatlarının dəqiq və operativ şəkildə əldə olunmasına imkan yaradır. Xüsusilə avtomatik obyekt tanıma alqoritmləri kadastr məlumatlarının yenilənməsi və doğrulanması proseslərini əhəmiyyətli dərəcədə sürətləndirir. Bu tezisdə sözügedən texnologiyaların üçölçülü kadastr bazasının yaradılması rolu araşdırılmışdır.

NƏTİCƏ

Aparılan araşdırma göstərir ki, fotoqrammetrik metodlar vasitəsilə əldə olunan 3D məkan məlumatları kadastr sistemlərinin funksionallığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Pilotsuz uçuş aparatlarından və avtomatlaşdırılmış alqoritmlərdən istifadə, məlumatların toplanması və emalı prosesində zaman və maliyyət baxımından üstünlüklər yaradır.

Nəticə etibarilə, üçölçülü kadastr sistemlərinin tətbiqi daşınmaz əmlakın idarə olunmasında şəffaflığın artırılmasına, mülkiyyət hüquqlarının daha dəqiq ifadə olunmasına və müasir şəhərsalma qərarlarının qəbuluna mühüm töhfə verir. Bu yanaşma gələcəkdə rəqəmsal torpaq idarəetmə modellərinin formalaşması üçün etibarlı elmi və texnoloji baza yaradır.

Ədəbiyyat

1. Enemark, S. (2015). Land administration systems: managing land rights.
2. Stoter, J. (2004). 3D Cadastre. Delft University of Technology.
3. FIG (1995). Statement on the Cadastre.
4. Yomralıoğlu, T. (2003). Coğrafi informasiya sistemləri.
5. Ayyıldız, E. (2017). Fotoqrammetriya ilə 3D şəhər modelləri.

KRİSTALLOQRAFİK PRİNSİPLƏR ƏSASINDA MEMARLIQ FORMAYARATMASININ PARAMETRİK ANALİZİ
PARAMETRIC ANALYSIS OF ARCHITECTURAL FORMATION BASED ON CRYSTALLOGRAPHIC PRINCIPLES

Yasin Xəlilov Xələf / Yasin Xalilov Xalaf
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Dizayn Bölümü, Xırdalan, Azərbaycan
Baku Engineering University, Faculty of Architecture and Construction, Department of Design, Khirdalan, Azerbaijan
yxalilov@beu.edu.az
Orcid İD: 0000-0001-6251-7556

Fəridə Məmmədli İltifat / Farida Mammadli İltifat
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Bina və Qurğuların Memarlığı Kafedrası, Xırdalan, Azərbaycan
Baku Engineering University, Faculty of Architecture and Construction, Department of Building and Structure Architecture, Khirdalan, Azerbaijan
fmemmedli12@std.beu.edu.az
Orcid İD: 0009-0006-2058-8413

Xülasə: Tarix boyu memarlar, həmişə təbiətdən nəsə öyrənməyə çalışıblar. Məsələn, qədim yunanlar və romalılar evlərini günəşdən, maksimum istilik ala biləcək şəkildə tikmişlər. Bu gün biz bir addım daha irəli gedərək, təbiətin "kodlarını" — yəni kristalların daxili quruluşunu memarlığa gətiririk. Kristallar təbiətdəki ən nizamlı,möhkəm və güclü strukturlardır. Onların daxilindəki mükəmməl həndəsi düzülüş, bizim üçün yeni və maraqlı binalar yaratmaq üçün əla əsasdır.Bu işin əsas məqsədi, kristalların möhkəm və simmetrik quruluşunu memarlıq formalarına köçürməkdir. Ancaq bunu köhnə üsullarla, yəni sadəcə kağız üzərində çəkməklə etmək çox çətindir. Burada, müasir hesablama metodları və proqram təminatları köməyimizə çatır. Biz kristalın daxili quruluşundakı riyazi qaydaları, kompüter proqramına "şablon" kimi daxil edirik. Bu vəziyyətdə, biz binanı əllə çəkmirik; sadəcə müəyyən parametrləri qeyd edirik və proqram bizim üçün ən uyğun, ən möhkəm formanı özü yaradır.Bu yanaşma sayəsində daha az material işlətməklə daha dayanıqlı və qeyri-adi binalar dizayn edə bilərik. Məsələn, kristallardakı kubik və ya altıbucaqlı şəbəkələr binanın skeletini təşkil etdikdə, o bina həm çox müasir görünür, həm də təbiətdəki canlı orqanizmlər kimi balanslı olur.Nəticə olaraq deyə bilərəm ki, kristalloqrafiyanı rəqəmsal üsullarla birləşdirmək, memarlıqda yeni qapı açır. Bu üsul sayəsində binalar sadəcə cansız divarlar deyil, təbiətin bir parçası kimi ağıllı və funksional strukturlara çevrilir. Bu həm dizayn baxımından yenilikdir, həm də gələcəyin memarlığının əsasını qoyur.

Açar sözlər: *Orqanik memarlıq, kristalloqrafik struktur, parametrik formayaratma, alqoritmik optimallaşdırma*

Abstract: Throughout history, architects have always tried to learn something from nature. For example, the ancient Greeks and Romans built their houses in such a way that they could receive maximum heat from the sun. Today, we go one step further and bring nature's "codes" - that is, the internal structure of crystals - to architecture. Crystals are the most orderly, solid and strong structures in nature. That perfect geometric arrangement inside them is an excellent basis for us to create new and interesting buildings. The main goal of this work is to transfer the solid and symmetrical structure of crystals into architectural forms. However, this is very difficult to do using old methods, that is, just by drawing on paper. Here, modern computational methods and software come to our aid. We enter the mathematical rules of the internal structure of the crystal as a "template" into a computer program. In this case, we do not draw the building by hand; we simply specify certain parameters, and the program creates the most suitable, strongest form for us. Thanks to this approach, we can design more durable and unusual buildings using less material. For example, when cubic or hexagonal networks in crystals form the skeleton of a building, that building looks both very modern and balanced like living organisms in nature. In conclusion, I can say that combining crystallography with digital methods opens a new door in architecture. Thanks to this method, buildings are not just lifeless walls, but become intelligent and functional structures as part of

nature. This is both an innovation in terms of design and lays the foundation for the architecture of the future.

Keywords: *Organic architecture, crystallographic structure, parametric shaping, algorithmic optimization.*

GİRİŞ

Əvvəllər, bina sadəcə yerində duran bir kütlə idi. İndi isə o, məlumatlarla işləyən, günəşə, küləyə və ya insan sayına görə formasını və ya funksiyasını dəyişə bilən bir orqanizm kimidir. Artıq bina tikilmədən əvvəl, onun rəqəmsal mühitdə bütün fiziki xüsusiyyətlərini sınaqdan keçirə bilirik. Kristalloqrafik modulların küləyə, yükə və seysmik təsirlərə necə reaksiya verəcəyini kompüter proqramları saniyələr içində hesablayır. Bu, memara sadəcə "gözəl" deyil, həm də "mühəndislik baxımından qüsursuz" formalar yaratmağa imkan verir. Ənənəvi dizaynda bir memar binanın divarını çəkirsə və sonra onu sürüşdürmək istəyirsə, bütün çertyoju yenidən qurmalı olur. Lakin parametrik dizaynda biz divarı deyil, divarın yerini təyin edən qaydanı çəkirik.

- *Çeviklik (Flexibility):* Əgər sən bir kristal strukturunun bucağını 60 dərəcədən, 45dərəcəyə dəyişmək istəsən, bütün layihəni yenidən çəkmirsən. Sadəcə bir rəqəmi (parametri) dəyişirsən və bütün bina forması həmin yeni rəqəmə uyğun olaraq avtomatik "yenidən doğulur".
- *Mürəkkəb Həndəsə:* İnsan əli ilə çəkilməsi və ya hesablanması mümkün olmayan qeyri-adi orqanik formalar (məsələn, kristalların iç-içə keçmiş layları) bu metodla bir neçə saniyəyə yaradılır.
- *Dəqiqlik:* Hər bir qeyri-adi formanın arxasında dəqiq riyazi rəqəmlər durduğu üçün, bu formaları sonradan istehsal etmək və tikmək daha asan olur.

Müasir memarlıqda dizayn prosesi, sadəcə binaların xarici görünüşünü təsvir etməkdən ibarət deyil; bu sahə getdikcə rəqəmsal texnologiyalar tərəfindən daha dərindən formalaşdırılır. Ənənəvi metodlardan fərqli olaraq, parametrik dizayn bizə imkan yaradır ki, əvvəlcədən təyin etdiyimiz müəyyən rəqəmlər və qaydalar vasitəsilə çox mürəkkəb, çevik və qeyri-adi formalar yaradaq. Bu yanaşma memarlığı, standart qəliblərdən çıxararaq həm estetik görünüş, həm də funksionallıq baxımından tamamilə yeni və innovativ bir dövrün qapılarını açır.Tədqiqatın əsas ilham mənbəyi, təbiətdəki kristalloqrafik strukturlar, onlardakı simmetriya və riyazi qanunauyğunluqlardır. Memarlıqda "biomimetik yanaşma" çərçivəsində biz təbiəti sadəcə zahirən təqlid etmirik, onun daxili strukturundakı nizamı və dayanıqlıq şifrələrini öyrənirik. Parametrik modelləşdirmə vasitəsilə kristalların bu mürəkkəb riyazi quruluşunu rəqəmsal mühitə köçürərək, binalarımız üçün həm estetik cəhətdən zəngin, həm də konstruktiv baxımdan optimallaşdırılmış skeletlər yarada bilərik.

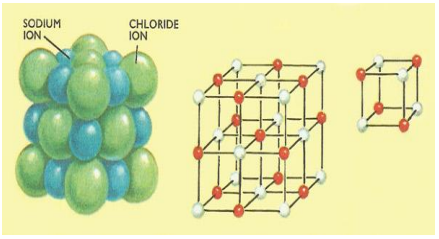
Eyni zamanda, süni intellekt texnologiyalarının dizayn prosesinə tətbiqi, memarlıqda tamamilə yeni bir mərhələnin başlanğıcıdır. Generativ alqoritmlər, artıq saniyələr ərzində yüzlərlə dizayn alternativi hazırlaya və onları bir-biri ilə müqayisə edərək ən səmərəli variantı tapa bilərik. Bu, memarın işini sadələşdirməklə yanaşı, həm də layihənin texniki göstəricilərini mükəmməlləşdirir.Müasir dövrdə, memarlıq təkcə divarlar tikməkdən ibarət deyil; o, məlumatların, alqoritmlərin və dizaynın harmonik birliyidir. Bu elementlər birlikdə işlədikdə, yaranan sistemlər daha çevik və ətraf mühitə uyğunlaşan olur. Düzgün memarlıq, məlumatları idarə edir, alqoritmlər onu emal edir, dizayn isə funksionallığı maksimum dərəcəyə çatdırır.

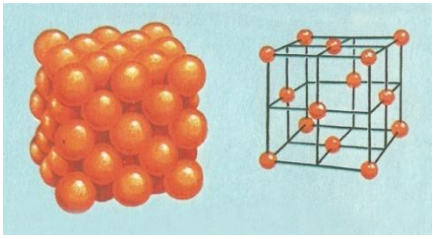
Bu işin əsas məqsədi, parametrik dizaynı, kristalloqrafik prinsipləri və süni intellekti sintez edərək memarlıqda yeni forma-yaradma imkanlarını araşdırmaqdır. Tədqiqat boyunca, metodların birləşməsindən yaranan yeni dizayn dilini və onun gələcəyin memarlığındakı rolunu müəyyən etməyə çalışacağıq.

TƏDQİQAT METODU

Tədqiqat işinin metodologiyası nəzəri təhlil, alqoritmik modelləşdirmə və eksperimental tətbiq mərhələlərini əhatə edən sistemli bir yanaşma üzərində qurulmuşdur. Tədqiqat prosesi aşağıdakı ardıcıllıqla həyata keçirilir:

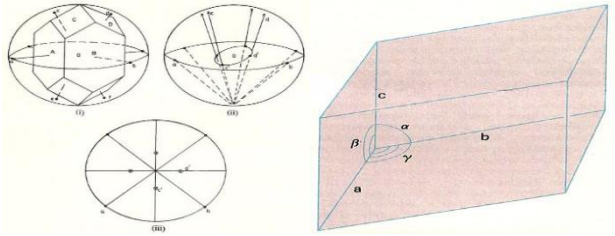
1. Kristalloqrafik sistemlərin struktur analizi: Tədqiqatın ilkin mərhələsində təbiətdə mövcud olan kristal şəbəkələrinin həndəsi və riyazi prinsipləri araşdırılır. Bu mərhələdə kristalların daxili simmetriyası, dövriliyi və struktur möhkəmliyi memarlıq formayaradması üçün əsas baza rolunda çıxış edir. Toplanmış məlumatlar, memarlıqda tətbiq oluna biləcək modul sistemlərin formalaşdırılmasına xidmət edir.





Şəkil. 1. Adi duzun kiçik bir fraqmentində atomların düzülüşü.
Şəkil. 2. Kiçik bir mis parçasında atomların düzülüşü.

2. Parametrik dizayn və rəqəmsal kodlaşdırma: Müəyyən edilmiş həndəsi prinsiplər parametrik modelləşdirmə vasitəsilə rəqəmsal mühitə köçürülür. Bu metodla formalar statik cizgilər şəklində deyil, dəyişən parametrlərə (bucaq, miqyas, sıxlıq) əsaslanan alqoritmlər şəklində qurulur. Belə bir yanaşma, dizayn prosesində mürəkkəb formaların çevik şəkildə transformasiyasına və struktur optimallaşdırılmasına imkan yaradır.



Şəkil. 3. Kristal üzlərə perpendikulyar çəkilmiş normallar sistemi.
Şəkil. 4. Triklinik kristalın vahid hüceyrəsi.

3. Süni İntellekt əsaslı generativ alternativlərin yaradılması: Növbəti mərhələdə, tədqiqat prosesinə generativ alqoritmlər tətbiq edilərək, qabaqcadan təyin olunmuş kriteriyalar daxilində çoxsaylı dizayn alternativləri yaradılır. Bu alternativlər həm estetik-vizual keyfiyyətlər, həm də konstruktiv dözümlülük baxımından avtomatik şəkildə təhlil edilərək ən optimal variantlar müəyyənləşdirilir.

4. Eksperimental layihələndirmə və nəticələrin sintezi: Yekun mərhələdə əldə olunmuş rəqəmsal modellər konkret memarlıq obyekti üzərində tətbiq edilir. Kristalloqrafik prinsiplərin və süni intellekt texnologiyalarının sintezi nəticəsində ortaya çıxan formanın funksional səmərəliliyi və konstruktiv dayanıqlığı qiymətləndirilir. Bu mərhələ təklif olunan metodologiyanın real layihələndirmə mühitində tətbiq imkanlarını və üstünlüklərini sübut etməyə xidmət edir.



Şəkil. 5. Mən bu layihədə təbiətdən seçdiyim xüsusi bir kristal modelini əsas götürərək, onun həndəsi strukturunu süni intellekt vasitəsilə müasir bir memarlıq formasına çevirdim.

TƏDQİQATIN VƏZİFƏLƏRİ

Tədqiqatın qarşısına qoyulmuş əsas məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı vəzifələrin yerinə yetirilməsi müəyyən edilmişdir:

- *Kristalloqrafik prinsiplərin memarlıq kontekstində nəzəri təhlili:* Kristalların daxili həndəsi nizamını idarə edən simmetriya, dövrilik və şəbəkə strukturlarının orqanik memarlıq fəlsəfəsi ilə əlaqəsinin araşdırılması.
- *Biomimetik yanaşma ilə struktur optimallaşdırılması imkanlarının öyrənilməsi:* Təbiətdəki kristal sistemlərinin minimum material sərfi ilə maksimum dayanıqlıq təmin etmə prinsiplərinin memarlıq karkas sistemlərinə transformasiya potensialının tədqiqi.

- *Parametrik dizayn alqoritmlərinin işlənilməsi:* Kristalloqrafik məlumatların rəqəmsal koda çevrilməsi üçün dəyişən parametrlərə əsaslanan riyazi modellərin və vizual proqramlaşdırma skriptlərinin (məsələn, Grasshopper mühitində) qurulması.
- *Süni intellektin generativ dizayn prosesinə inteqrasiyası:* Dizayn alternativlərinin yaradılması prosesində süni intellekt alqoritmlərinin tətbiqi və bu alternativlərin performansa əsaslanan meyarlar (estetika, struktur dözümlülük, funksionallıq) üzrə müqayisəli analizinin aparılması.
- *Eksperimental modelin vizuallaşdırılması və qiymətləndirilməsi:* Sintez olunmuş metodologiya əsasında konkret memarlıq obyektinin (memorial, pavilyon və ya kiçik memarlıq forması) layihələndirilməsi və əldə olunan nəticənin ənənəvi forma-yaradma üsulları ilə səmərəlilik baxımından müqayisəsi.
- *Tədqiqatın gələcək tətbiq perspektivlərinin müəyyənləşdirilməsi:* Kristalloqrafik yanaşma və süni intellekt sintezinin müasir şəhərsalma və sənaye üsulu ilə tikinti (prefabrikasiya) sahələrində istifadə imkanlarının proqnozlaşdırılması.

ELMİ YENİLİK

Bu tədqiqatın elmi yeniliyi *"Təbiət + Alqoritm + İntellekt"* üçbucağında yeni bir memarlıq dili formalaşdırmasındadır. Bu metodologiya gələcəyin memarlığında binaların həm canlı bir orqanizm kimi təbiətlə vəhdətdə olması, həm də süni intellekt vasitəsilə ən yüksək səmərəliliklə layihələndirilməsi üçün nəzəri və praktiki zəmin yaradır.

Kristalloqrafik Prinsiplərin Memarlıq Strukturuna İnteqrasiyası: İlk dəfə olaraq, kristalloqrafiya elminin daxili struktur qanunauyğunluqları (simmetriya, dövrilik və həndəsi şəbəkə sistemləri) sadəcə vizual element kimi deyil, memarlıq formayaradmasının birbaşa alqoritmik təməli kimi tətbiq edilir. Bu, memarlıqda "biomimetik yanaşma"nı zahiri bənzərlikdən struktur-məntiqi səviyyəyə qaldırır.

Süni İntellekt və Parametrik Dizaynın Hibrid Modeli: Süni intellektin generativ alqoritmləri ilə parametrik modelləşdirmənin vəhdəti əsasında yeni bir dizayn mühiti təklif olunur. Bu hibrid model, memara minlərlə kristalloqrafik forma alternativini saniyələr içində yaratmağa və onları avtomatik şəkildə müqayisə etməyə imkan verir ki, bu da layihələndirmə prosesində innovativ bir mərhələdir.

Performansa Əsaslanan "Ağıllı" Formaların Yaradılması: Elmi yenilik həm də formanın təsadüfi deyil, dəqiq rəqəmsal analizlər (struktur dözümlülük, material səmərəliliyi və ekoloji adaptasiya) əsasında "doğulmasıdır". Bu yanaşma, memarlıq formasını subyektiv bədii təfəkkürdən çıxararaq, onu obyektiv verilənlərə əsaslanan, optimallaşdırılmış bir mühəndislik həllinə çevirir.

Minimum Material Sərfi ilə Maksimum Struktur Dözümlülüyün Elmi Əsaslandırılması: Kristalların təbii molekulyar şəbəkə məntiqini memarlıq karkaslarına köçürməklə, daha az material istifadə edərək daha böyük və dayanıqlı məkanların qurulması üçün yeni nəzəri və praktiki həllər təklif edilir. Bu, həm iqtisadi, həm də ekoloji baxımdan davamlı memarlıq üçün yeni bir perspektivdir.

Rəqəmsal İstehsala Uyğun Modulyar Sistemin İşlənilməsi: Tədqiqatda təklif olunan kristalloqrafik modullar müasir rəqəmsal istehsal texnologiyalarına (3D çap, robotik tikinti və CNC kəsim) tam uyğunlaşdırılmışdır. Bu, mürəkkəb həndəsi formaların real tikinti mühitində ən az xəta ilə və sənaye üsulu ilə reallaşdırılması üçün elmi baza yaradır.

Nəticə

Tədqiqat işi ilə biz, təbiətdəki nizamı müasir texnologiyalarla birləşdirərək, memarlıqda tamamilə yeni bir yol yaratdıq.İlk növbədə, kristalloqrafik sistemlərin memarlıq karkaslarına transformasiya imkanları sübut edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, kristalların daxili simmetriya və dövrilik prinsipləri, ənənəvi modulyar sistemlərdən fərqli olaraq, daha mürəkkəb, lakin struktur baxımından daha dayanıqlı formalar yaratmağa imkan verir. Bu yanaşma, memarlıqda "biomimetik dizayn"ın sadəcə vizual təqlid deyil, dərin riyazi-struktur bir proses olduğunu ortaya qoyur.Parametrik modelləşdirmənin dizayn prosesindəki həlledici rolu ilə bağlıdır. Tədqiqat göstərir ki, formanın statik cizgilərlə deyil, alqoritmik kodlarla qurulması, memara layihə üzərində sonsuz variativlik və çeviklik qazandırır. Bu metod sayəsində mürəkkəb kristal strukturları rəqəmsal mühitdə asanlıqla idarə olunan və transformasiya edilə bilən sistemlərə çevrilmişdir.Eyni zamanda, süni intellektin dizayn prosesinə inteqrasiyasının effektivliyi elmi şəkildə əsaslandırılmışdır. Generativ alqoritmlər vasitəsilə yaradılan yüzlərlə dizayn alternativinin performans analizlərinə tabe tutulması, subyektiv seçim meyarlarını obyektiv verilənlərlə əvəz etmişdir. Nəticələr göstərir ki, süni intellekt tərəfindən optimallaşdırılmış formalar həm konstruktiv dözümlülük, həm də material səmərəliliyi baxımından ənənəvi formalardan daha üstündür.

Eksperimental layihələndirmə mərhələsində kristalloqrafik yanaşmanın praktiki tətbiqi, bu metodun müasir memarlıq dilinə gətirdiyi estetik və funksional yeniliyi təsdiqləmişdir. Yaradılan formaların həm ekoloji adaptasiyası (işıqlanma və ventilyasiya səmərəliliyi), həm də rəqəmsal istehsal texnologiyalarına tam uyğunluğu, təklif olunan metodologiyanın real tikinti sektorunda tətbiq perspektivlərini nümayiş etdirir.Yekun olaraq qeyd etmək olar ki, bu tədqiqat işi memarlığın gələcəyini "Təbiət + Alqoritm + İntellekt" vəhdətində görür. Əldə edilən metodoloji baza, gələcəkdə daha dayanıqlı, resurslara qənaət edən və estetik cəhətdən zəngin memarlıq mühitinin formalaşdırılmasına xidmət edir.

References

1. F. L. Wright. The Natural House. New York: Horizon Press, 1954, pp. 15–45. [Online]. Available: https://archive.org/details/naturalhouse0000wrig
C. Balmond. Informal. Munich: PrestelPub,2002,pp. 120–165. [Online]. Available: https://prestelpublishing.penguinrandomhouse.de/book/Informal/Cecil-Balmond/Prestel/e156476.rhp
2. B. Kolarevic. "Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing," Taylor & Francis, 2003, pp. 40–85. [Online]. Available: https://www.routledge.com/Architecture-in-the-Digital-Age-Design-and-Manufacturing/Kolarevic/p/book/9780415381413
3. K. Terzidis. "Algorithmic Architecture," Architectural Press, 2006, pp. 20–65. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/book/9780750667463/algorithmic-architecture
4. P. Schumacher. "Parametricism as a Style - Parametricist Manifesto," Patrik Schumacher - Writings, 2008. [Online]. Available: http://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20a%20Style.htm

AZƏRBAYCANIN TARİXİ ŞƏHƏRLƏRİNDƏ YAŞAYIŞ TİKİLİLƏRİNİN TİPOLOJİ VƏ MEMARLIQ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Gülbəst Fərzəliyeva
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat fakültəsi
Xırdalan, Azərbaycan
gferzeliyeva@std.beu.edu.az

Şəhla Abbasova
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat fakültəsi
Xırdalan, Azərbaycan
shahla.abbasova@azmiu.edu.az

Xülasə: Məqalədə Azərbaycanın tarixi şəhərlərində yerləşən yaşayış tikililərinin tipoloji və memarlıq xüsusiyyətləri Şəki və Şuşa şəhərlərin nümunəsində araşdırılır. Tədqiqatda bu tikililərin plan quruluşu, istifadə olunan tikinti materialları və kompozisiya xüsusiyyətləri təhlil edilir.Şəkixanovların evi, Şəki Xan Sarayı və Şuşada yerləşən tarixi yaşayış evləri əsasında aparılan müqayisə onların oxşar və fərqli cəhətlərini müəyyənləşdirməyə imkan verir. Araşdırma nəticəsində müəyyən olunur ki, bu memarlıq xüsusiyyətləri əsasən iqlim şəraiti, relyef və sosial-mədəni amillərin təsiri ilə formalaşmışdır.

Açar sözlər: *Azərbaycanın tarixi şəhərləri; yaşayış memarlığı;* tipoloji *xüsusiyyətlər; Şəki və Şuşa*

I. GİRİŞ

Azərbaycanın tarixi şəhərləri zəngin memarlıq irsi ilə seçilir və bu irsin mühüm hissəsini yaşayış tikililəri təşkil edir. Bu tikililər yalnız məişət ehtiyaclarını qarşılayan məkanlar deyil, eyni zamanda insanların həyat tərzini, sosial münasibətlərini və məkanın təşkili prinsiplərini əks etdirən memarlıq nümunələridir.

Tarixi şəhər mühitində yaşayış tikililərinin formalaşması iqlim şəraiti, relyef xüsusiyyətləri, tikinti materialları və gündəlik həyat tərzi ilə sıx bağlı olmuşdur. Bu amillərin təsiri nəticəsində müxtəlif bölgələrdə fərqli plan quruluşuna və memarlıq xüsusiyyətlərinə malik yaşayış tikililəri yaranmışdır.

Bu baxımdan Şəki və Şuşa şəhərləri daha səciyyəvi nümunələr təqdim edir. Hər iki şəhərdə yaşayış tikililərinin formalaşmasında təbii şərait mühüm rol oynamış, lakin bu təsir müxtəlif formalarda özünü göstərmişdir. Şəki şəhərində yaşayış tikililərində plan quruluşu, məkanın təşkili və interyer həlləri ilə yanaşı dekorativ elementlər də mühüm yer tutur. Şuşa şəhərində isə yaşayış evləri relyefə uyğun tikinti prinsipləri, daş materialdan istifadə və eyvanlı kompozisiya həlləri ilə fərqlənir.

Məqalədə Şəki və Şuşa şəhərlərində yerləşən yaşayış tikililərinin tipoloji və memarlıq xüsusiyyətləri konkret nümunələr əsasında təhlil olunur.

II. Şəki şəhərində yaşayış tikililərinin memarlıq xüsusiyyətləri

Şəki şəhəri Azərbaycanın tarixi memarlıq mərkəzlərindən biri olmaqla, yaşayış tikililərinin formalaşmasında təbii şəraitin mühüm rol oynadığı şəhərlərdən hesab olunur. Şəhərin dağətəyi zonada yerləşməsi, mürəkkəb relyefi və iqlim xüsusiyyətləri yaşayış mühitinin təşkili və tikililərin plan quruluşuna birbaşa təsir göstərmişdir.

Şəki şəhərində ənənəvi yaşayış tikililəri adətən həyət sistemi əsasında formalaşmışdır. Həyət daxili məkanın ayrılmaz hissəsi kimi çıxış edərək yaşayış və köməkçi sahələr arasında əlaqəni təmin edir. Bu tikililərdə məkanın təşkili funksional prinsiplərə əsaslanır, gündəlik istifadə üçün nəzərdə tutulan otaqlar ilə qonaq qəbuluna xidmət edən məkanlar arasında müəyyən fərqləndirmə aparılır.

Yaşayış tikililərində tikinti materialı kimi əsasən yerli şəraitə uyğun olan daş, ağac və digər təbii materiallardan istifadə olunmuşdur. Bu material seçimi həm iqlim şəraitinə uyğunlaşmanı təmin etmiş, həm də tikililərin uzunömürlü olmasına şərait yaratmışdır.

Şəki şəhərində yaşayış memarlığının səciyyəvi xüsusiyyətlərindən biri də məkanın yalnız funksional deyil, eyni zamanda estetik baxımdan formalaşdırılmasıdır. İnteryer həllərində dekorativ elementlər, xüsusilə şəbəkə pəncərələr və divar rəsmləri mühüm yer tutur. Lakin bu elementlər tikililərin ümumi memarlıq quruluşundan ayrılıqda deyil, onunla vəhdətdə çıxış edir.

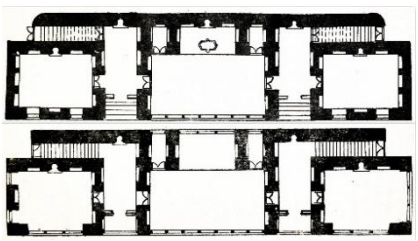
Şəki şəhərində yaşayış memarlığının xüsusiyyətlərini daha aydın şəkildə göstərən nümunələrdən biri Şəki xan sarayıdır. Bu tikilidə məkanın təşkili, interyer həlləri və dekorativ elementlərin vəhdəti özünü aydın şəkildə göstərir. Bununla yanaşı, şəhərdə yerləşən digər yaşayış tikililəri, o cümlədən Şəkixanovların evi bu xüsusiyyətlərin daha sadə və gündəlik yaşayış mühitinə uyğun formada tətbiqini nümayiş etdirir.

Sarayın plan quruluşu və məkanın təşkili bu ikili funksiyaya uyğun şəkildə formalaşdırılmışdır. Tikili iki mərtəbədən ibarət olmaqla, birinci mərtəbədə daha çox xidmət və köməkçi xarakterli sahələr, ikinci mərtəbədə isə qəbul və yaşayış funksiyasını daşıyan əsas məkanlar yerləşdirilmişdir (şəkil 1). Bu cür zonalaşma yaşayış mühitinin funksional baxımdan səmərəli təşkil olunduğunu göstərir və sonrakı yaşayış tikililərində də tətbiq olunan plan prinsiplərinin formalaşmasına təsir göstərmişdir.

Sarayın interyer həllində məkanın təşkili ilə dekorativ elementlər arasında sıx əlaqə müşahidə olunur. Şəbəkə pəncərələr vasitəsilə daxil olan təbii işıq məkan daxilində yumşaq şəkildə yayılaraq həm işıqlandırma, həm də estetik mühitin formalaşmasına xidmət edir (şəkil 2). Divar rəsmləri və ornamental bəzəklər isə məkanın bədii ifadəliliyini artırmaqla yanaşı, onun kompozisiya bütövlüyünü təmin edir.

Fasad həllində Azərbaycan memarlığına xas olan ənənəvi elementlər aydın şəkildə özünü göstərir. Giriş hissəsində tətbiq olunan portal-kompozisiya və tağvari qapı açılışları tikilinin həm konstruktiv, həm də estetik baxımdan formalaşmasında mühüm rol oynayır. Eyni zamanda fasadda yerləşdirilmiş iri ölçülü şəbəkə pəncərələr kompozisiyanın əsas vurğu nöqtəsini təşkil edir və tikilinin ümumi bədii ifadəliliyini artırır (şəkil 3).

Şəki xan sarayı yalnız fərdi memarlıq nümunəsi kimi deyil, həm də sonrakı dövrlərdə yaşayış memarlığının formalaşmasına təsir göstərmiş tipoloji əsas kimi qiymətləndirilə bilər. Burada tətbiq olunan plan quruluşu, məkanın təşkili və dekorativ həll prinsipləri müxtəlif yaşayış tikililərində daha sadələşdirilmiş formada davam etdirilmişdir. Bu isə zamanla fərqli bölgələrin xüsusiyyətlərinə uyğun olaraq müxtəlif tipoloji formaların yaranmasına səbəb olmuşdur.





(şəkil 1) (şəkil 2) (şəkil 3)

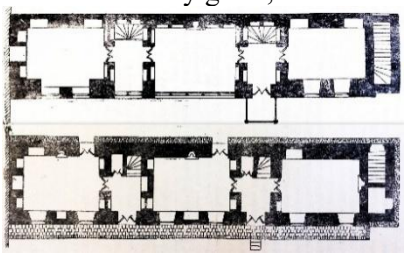
Beləliklə, Şəki xan sarayı Azərbaycan yaşayış memarlığında formalaşmış prinsiplərin daha inkişaf etmiş və kompleks şəkildə tətbiq olunduğu nümunə kimi çıxış edir və sonrakı yaşayış tikililərinin formalaşmasına təsir göstərən mühüm memarlıq mərhələlərindən biri hesab olunur.

Şəki xan sarayında müşahidə olunan memarlıq prinsiplərinin daha sadə və gündəlik yaşayış mühitinə uyğunlaşdırılmış forması şəhərdə yerləşən yaşayış evlərində, o cümlədən Şəkixanovların evində öz əksini tapır. Bu baxımdan Şəkixanovların evi Şəki şəhərində ənənəvi yaşayış memarlığını xarakterizə edən mühüm nümunələrdən biridir.

Evin plan quruluşu sadə və funksional prinsiplərə əsaslanır. Daxili məkanlar gündəlik yaşayış tələblərinə uyğun şəkildə təşkil olunmuş, otaqların yerləşdirilməsi isə istifadə rahatlığını təmin edəcək formada qurulmuşdur (şəkil 4). Bu xüsusiyyət evin daha çox praktik məqsədlərə xidmət etdiyini göstərir.

Fasad həllində tikilinin ümumi memarlıq quruluşuna uyğun, lakin nisbətən sadə yanaşma müşahidə olunur. Qapı və pəncərə açılışları kompozisiyaya uyğun yerləşdirilmiş və fasadda müəyyən ritmik quruluş yaradılmışdır (şəkil 5). Bu baxımdan fasad Şəki xan sarayı ilə müqayisədə daha təvazökar xarakter daşıyır.

Bununla yanaşı, interyer həllində daha zəngin və işlənmiş dekorativ yanaşma özünü göstərir. Şəbəkə pəncərələr, divar rəsmləri və ornamental bəzəklər daxili məkanın estetik baxımdan formalaşdırılmasında mühüm rol oynayır (şəkil 6). Bu elementlər saray memarlığında müşahidə olunan bədii prinsiplərin yaşayış mühitində daha yığcam, lakin ifadəli formada davam etdirildiyini göstərir.





(şəkil 4) (şəkil 5) (şəkil 6)

Beləliklə, Şəkixanovların evi Şəki şəhərində formalaşmış yaşayış memarlığı ənənələrinin gündəlik həyat şəraitinə uyğunlaşdırılmış nümunəsi kimi çıxış edir. Burada sadə plan quruluşu ilə zəngin interyer həllinin birləşməsi tikilinin həm funksional, həm də estetik baxımdan balanslı şəkildə formalaşdırıldığını göstərir.

III. Şuşa şəhərində yaşayış evlərinin memarlıq xüsusiyyətləri

Şuşa şəhərində yerləşən tarixi yaşayış evləri plan quruluşu, istifadə olunan tikinti materialları və məkanın təşkili baxımından Azərbaycan memarlığının regional xüsusiyyətlərini əks etdirən mühüm nümunələrdəndir. XVIII əsrin ikinci yarısında formalaşmış bu şəhərdə yaşayış tikililəri dağlıq mühit şəraitində inkişaf etmiş və yerli təbii-coğrafi amillərin təsiri altında özünəməxsus memarlıq xüsusiyyətləri qazanmışdır.

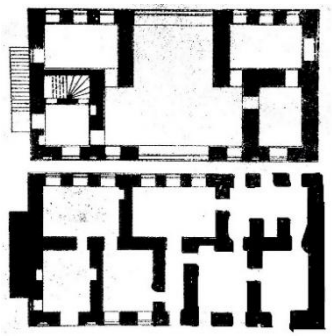
Şuşa yaşayış evlərində əsas tikinti materialı kimi yerli daşdan istifadə olunmuşdur. Bu material seçimi tikililərin həm konstruktiv dayanıqlığını təmin etmiş, həm də onların ətraf mühitə uyğunlaşmasına şərait yaratmışdır. Evlərin plan quruluşunda daxili məkanlar funksional bölgü əsasında təşkil olunmuş və yaşayış mühitinin gündəlik tələblərinə uyğun şəkildə formalaşdırılmışdır.

Şuşa şəhərində yerləşən yaşayış evləri arasında Xan qızı Natəvanın evi memarlıq xüsusiyyətlərinə görə seçilən mühüm nümunələrdən biridir. XIX əsrdə inşa olunmuş bu tikili plan quruluşu, konstruktiv həlli və memarlıq xüsusiyyətləri baxımından Qarabağ bölgəsində formalaşmış yaşayış tikililərinin memarlıq ənənələrinin səciyyəvi ifadəsi kimi çıxış edir.

Evin plan quruluşu mərtəbələr üzrə funksional bölgü prinsipi əsasında təşkil olunmuşdur. Tikilinin aşağı səviyyəsində yerləşən məkanlar əsasən təsərrüfat və köməkçi funksiyalar üçün nəzərdə tutulmuş, yuxarı mərtəbədə isə yaşayış və qəbul məkanları yerləşdirilmişdir (şəkil 6).

Tikilinin konstruktiv həllində əsas material kimi yerli daşdan istifadə olunmuşdur. Qalın daş divarlar tikilinin həm dayanıqlığını təmin edir, həm də iqlim şəraitinə uyğun olaraq daxili mühitin tənzimlənməsinə xidmət edir. Bu xüsusiyyət Qarabağ memarlığında müşahidə olunan konstruktiv və iqlimə uyğunlaşma prinsiplərini göstərir. Eyni zamanda tikilinin yerləşdiyi ərazinin relyef xüsusiyyətləri onun ümumi həcmi-məkan quruluşunda nəzərə alınmışdır.

Fasad həllində qapı və pəncərə açılışları sadə formalarda təşkil olunmuş, lakin onların yerləşdirilməsi nəticəsində ümumi kompozisiyada ritmik quruluş formalaşdırılmışdır. Tikilinin aşağı səviyyəsində pəncərə açılışlarının daha kiçik ölçüdə olması bu hissənin köməkçi funksiyalar daşıması və qalın daş divarların konstruktiv xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır. Yuxarı mərtəbədə isə pəncərə açılışlarının daha böyük ölçüdə həll olunması yaşayış və qəbul məkanlarının daha yaxşı işıqlandırılmasına xidmət edir və fasadda əsas yaşayış səviyyəsinin vurğulanmasına imkan yaradır (şəkil 7). Bu yanaşma Azərbaycan yaşayış memarlığında müşahidə olunan funksional və kompozisiya prinsiplərinin nümunəsi kimi çıxış edir.





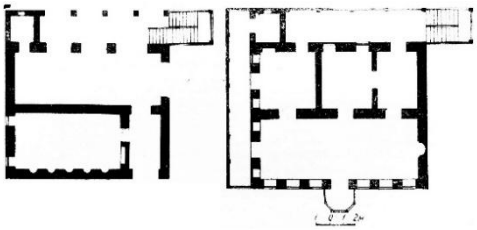
(Şəkil 6) (şəkil 7)

Beləliklə, Xan qızı Natəvanın evi Azərbaycan yaşayış memarlığında formalaşmış prinsiplərin regional xüsusiyyətlərin təsiri altında necə inkişaf etdiyini göstərən səciyyəvi nümunələrdən biri hesab olunur.

Şuşa şəhərində yerləşən Mehmandarovların malikanə kompleksinə daxil olan kiçik yaşayış evi Qarabağ bölgəsində formalaşmış yaşayış memarlığının səciyyəvi xüsusiyyətlərini özündə əks etdirən nümunələrdən biridir. XVIII əsrə aid olan bu tikili yalnız ayrı-ayrı memarlıq elementləri ilə deyil, həm də bütöv məkan həlli və konstruktiv yanaşması ilə diqqəti cəlb edir.

Tikilinin plan quruluşunda məkanlar funksional bölgü prinsipi əsasında təşkil olunmuşdur (şəkil 8). Plandan göründüyü kimi, əsas yaşayış sahələri bir-biri ilə əlaqəli şəkildə yerləşdirilmiş və əsasən mərkəzi məkan ətrafında toplanmışdır. Bu yanaşma daxili məkanın vahid şəkildə təşkil olunduğunu göstərir. Köməkçi sahələr isə ayrıca yerləşdirilərək ümumi planın daha rahat və məqsədyönlü istifadəsinə şərait yaradır.

Tikilinin fasad həllində yerli daş materialı ilə ağac elementlərinin birgə istifadəsi aydın şəkildə müşahidə olunur. Aşağı səviyyədə qalın daş divarlar tikilinin möhkəmliyini və dayanıqlığını təmin etdiyi halda, yuxarı hissədə taxta konstruksiyalar fasada daha yüngül və açıq xarakter verir. Fasadın əsas xüsusiyyətlərindən biri birinci səviyyədə yerləşən tağlı açıq keçidlər – arkada tipli həllərdir ki, bu da həm konstruktiv baxımdan yükün paylanmasına, həm də vizual olaraq alt hissənin yüngülləşməsinə xidmət edir. Bu hissənin üzərində isə açıq eyvan yerləşir və tikilinin memarlıq kompozisiyasında əsas elementlərdən birini təşkil edir. Ümumilikdə fasadda iki eyvan müşahidə olunur: biri daha açıq və uzun həll olunmuş eyvan, digəri isə daha kompakt və qismən örtülü formada təşkil olunmuşdur (şəkil 9), (şəkil 10). Bundan əlavə, fasadda çıxıntı şəklində irəli verilmiş qapalı eyvan – erkər tipli həcm də diqqəti cəlb edir. Bu element həm daxili məkanın genişləndirilməsinə, həm də fasadın plastikliyinin artırılmasına xidmət edir. Eyvanların bu şəkildə tətbiqi yalnız estetik məqsəd daşımır, eyni zamanda kölgəlik yaratmaq, hava dövranını təmin etmək və daxili məkanın iqlim şəraitinə uyğunlaşmasını yaxşılaşdırmaq kimi funksional xüsusiyyətlərə malikdir. Beləliklə, daş və ağacın birgə istifadəsi, tağlı alt səviyyə və müxtəlif tipli eyvanların tətbiqi tikilidə həm konstruktiv, həm də memarlıq baxımından balanslı və məqsədyönlü bir həllin formalaşdığını göstərir.





(şəkil 8) (şəkil 9) (şəkil10)

IV. NƏTİCƏ

Beləliklə, aparılan təhlil göstərir ki, Azərbaycanın müxtəlif bölgələrində formalaşmış yaşayış tikililəri ümumi memarlıq prinsiplərinə əsaslansa da, onların tətbiqi yerli təbii və sosial şəraitə uyğun olaraq fərqli formalarda inkişaf etmişdir. Şəki şəhərində memarlıq həllində dekorativ və bədii tərtibat elementlərinin daha qabarıq olduğu, Şuşa şəhərində isə konstruktiv və funksional yanaşmanın üstünlük təşkil etdiyi müşahidə olunur. Bununla yanaşı, hər iki bölgədə plan quruluşu və məkanın təşkili prinsiplərinin müəyyən davamlılıq göstərdiyi aydın olur. Bu isə Azərbaycan yaşayış memarlığının həm vahid ənənəyə əsaslandığını, həm də regional xüsusiyyətlər əsasında inkişaf etdiyini göstərir.

ƏDƏBİYYAT SİAHISI

[1] Fətullayev-Figarov Ş. S. Azərbaycan memarlığı tarixi. Bakı, 2013.
[2] Bretanitski L. S., Veymarn B. V. Азербайджанское зодчество. Москва, 1976.
[3] Salamzadə Ə. V. Azərbaycan memarlıq tarixi. Bakı, 1986.
[4] Fətullayev-Figarov Ş. S. Шуша – историко-архитектурный очерк. Баку, 1970.
[5] Məmmədzadə K. M. Azərbaycanın yaşayış evləri. Bakı, 1983.

AZƏRBAYCAN MEMARLIĞINDA FRAKTAL ŞƏHƏR MORFOLOGİYASI VƏ HARMONİYA SİSTEMİ: NƏZƏRİ VƏ SEMANTİK TƏHLİL

Şahin Cəlilov İlham / Shahin Calilov Ilham
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Memarlıq Mühitinin Dizaynı Kafedrası, Xırdalan, Azərbaycan
Baku Engineering University, Faculty of Architecture and Construction, Department of Architectural Environment Design,
Khirdalan, Azerbaijan
calilovshahin1@gmail.com
scelilov2@std.edu.beu.az
ORCID: 0009-0000-3234-0606

Xülasə: Fraktal anlayışı memarlıqda yalnız riyazi model kimi deyil, formanın və məkanın təkrarlanan struktur motivləri, miqyaslı uyğunluğu, ritmik qruplaşma və iyerarxik nizam prinsipi kimi nəzəri səviyyədə təhlil edilir. Nəticədə, Azərbaycanda tarixi memarlıq nümunələrində fraktal xüsusiyyətlərin armoniya yaradıcı mexanizmlərin əsas komponenti olduğu ortaya çıxır. Əldə edilən nəticələrə görə, fraktal struktur memarlıq harmoniyasının formalaşmasında əsas rol oynayan morfoloji və semantik vasitələrlə ifadə olunur. Araşdırma göstərir ki, Şirvan-Abşeron memarlığı, İçərişəhər şəhər planı, Şəki Xan sarayı və Qarabağ memarlığı kimi nümunələrdə təkrarlanan formalar və miqyaslı düzən harmoniyanın strukturunda mühüm rol oynayır. Eyni zamanda, fraktal-semantik analizə əsaslanaraq “Fraktal Harmoniya Sistemi” adlı

konseptual model formalaşdırılmışdır ki, burada formal, məkan və semantik qatlar birgə nəzərə alınır. Bu model memarlıqda fraktal prinsiplərin dil və məna kimi təqdim olunmasını göstərir və Azərbaycan memarlığında harmoniyanın əsas mexanizm kimi çıxış etdiyini isbat edir.
Açar sözlər: *Memarlıq harmoniyası, Şəhər morfologiyası, Ənənəvi Azərbaycan memarlığı*

FRACTAL URBAN MORPHOLOGY AND THE SYSTEM OF HARMONY IN AZERBAIJANI ARCHITECTURE: A THEORETICAL AND SEMANTIC ANALYSIS

Abstract: The concept of fractality in architecture is analyzed not merely as a mathematical model, but as a theoretical principle that generates repetition, rhythmic organization, scale coherence, and hierarchical order within form and space. As a result, it is revealed that fractal characteristics constitute fundamental mechanisms of harmony formation in historical architectural examples of Azerbaijan.The findings indicate that fractal structures are expressed through morphological and semantic means that play a central role in the formation of architectural harmony. The study demonstrates that in cases such as Shirvan–Absheron architecture, the urban fabric of Icherisheher, the Sheki Khan's Palace, and the architectural traditions of Karabakh, recurring forms and multi-scale organization significantly contribute to the structural logic of harmony. Furthermore, based on fractal-semantic analysis, a conceptual framework titled the *"Fractal Harmony System"* is proposed, incorporating formal, spatial, and semantic layers. This model illustrates how fractal principles can be interpreted as both a language and a system of meaning in architecture, and substantiates their role as a fundamental mechanism underlying harmony in Azerbaijani architecture.
Keywords: *Architectural harmony, Urban morphology, Traditional architecture Azerbaijan*

Giriş

Müasir şəhərlərin dinamik inkişafı fonunda memarlıqda harmoniyanın qorunması çətin bir problemə çevrilib. Yeni binalar və infrastruktur artdıqca, kompleks şəhər sistemlərində vizual və funksional nizamsızlıq yaranır. Belə bir şəraitdə təbiətdəki və klassik memarlıqda mövcud olan daxili tarazlıq axtarışları yenidən aktuallaşır. Fraktal analojiya mühəndislərə və memarlara şəhər və tikililərin orqanik görünməsini təmin etməkdə bir yol təklif edir. Lakin, fraktalı kontekstdən yalnız riyazi model kimi qəbul etmək memarlıq tədqiqatında məhdud nəzər nöqtəsidir. Buna görə də bu məqalənin məqsədi fraktal prinsipini memarlığın dili, morfoloji prinsipi və semantik sistemi səviyyəsində təqdim etməkdir. Araşdırma sualına cavab axtarışında soruşuruq: *"Fraktal məkan məntiqi Azərbaycan memarlığında harmoniyanın formalaşmasında necə iştirak edir və bu harmoniya hansı memarlıq vasitələri ilə ifadə olunur?"* Hipotezlərimiz belədir: Azərbaycan memarlığında fraktal xüsusiyyətlər (təkrarlanan motivlər, ritm, ölçüvahiddə miqyaslılıq, iyerarxik təşkil) memarlıq harmoniyasının əsas struktur mexanizmlərindən biridir, və bu xüsusiyyətlər riyazi deyil, morfoloji-semantik vasitələrlə (forma, ornament, məkan quruluşu) ifadə olunur. Bu sual və hipotezlərdən çıxış edərək, müvafiq metodologiya (memarlıq semiotikası, morfoloji analiz, mədəni-tarixi hermenevtik yanaşma, müqayisəli təhlil) ilə fraktal məntiqi araşdırırıq. Məqalə fraktal anlayışını memarlıq miqyasında baxışdan təqdim edir, Azərbaycan memarlığında fraktal morfologiyanın nümunələrini analiz edir, semantik əlaqələrini müzakirə edir və yeni "Fraktal Harmoniya Sistemi" modelini irəli sürür.

Fraktal Məntiqin Nəzəri Əsasları

Fraktal konsepti adətən riyaziyyatdıadır və öz-bənzərlik, miqyaslilik, fraktal ölçü kimi terminlərlə açıqlanır. Ancaq memarlıq baxımından fraktal prinsipinin əsas mahiyyəti qaydaların maddi formaya çevirilməsindən ibarətdir. Fraktallıq memarlıq elementlərinin böyükdən-kiçiyə variasiyalı miqyasda təkrarlandığı, hər təkrarda bənzər məna və forma strukturunu saxladığı prinsipi ehtiva edir[1][2]. Məsələn, W. Lorenz və b. (2017) qeyd edir ki, memarlıqda özü-bənzərlik "böyükdən-başa xırda detallara qədər hər şeyi birləşdirən bir ardıcıllıq" rolunu oynayır[1]. Bu, klassik simmetriyanın müasir analoqu kimi dəyərləndirilir. Bir binada əsas formalarla ölçüvahid (məsələn, eni-hündürlüyü nisbəti) hər elementi bir-birinə bağlı saxlayır, yəni tutaq ki, giriş arxası, pəncərə, ornament və daxili məkan arasında vahid nisbət qorunur[2]. Beləliklə, memarlıqda fraktal anlayışının təkrarlama və nisbətlər sistemi kimi başa düşülməsi mümkündür. Christopher Alexander'ın qeyd etdiyi "ölçülər pilləsi" (Levels of Scale) prinsipi də fraktal anlayışına bənzəyir. Onun fikrincə, kompleks və həyat dolu memarlıq obyektində müxtəlif səviyyələrdə (ölçülərdə) strukturlar eynilə təkrarlanır, bu da minimalizmdən fərqli estetika yaradır[3]. Eyni zamanda, təkamül və təbii sistemlərdəki nümunələr də fraktal prinsipləri əks etdirir. Örnək üçün, təbiətdəki ağac ağacı və ya sahil xətti kimi mövqelər hər ölçüdə oxşar struktur təkrarına malikdir. İnsanlar biologiyasından gələn estetik duyğu fraktal formaları məqbul hesab edir. Intezopdakı araşdırmada göstərilir ki, təbii formaların fraktallıq,

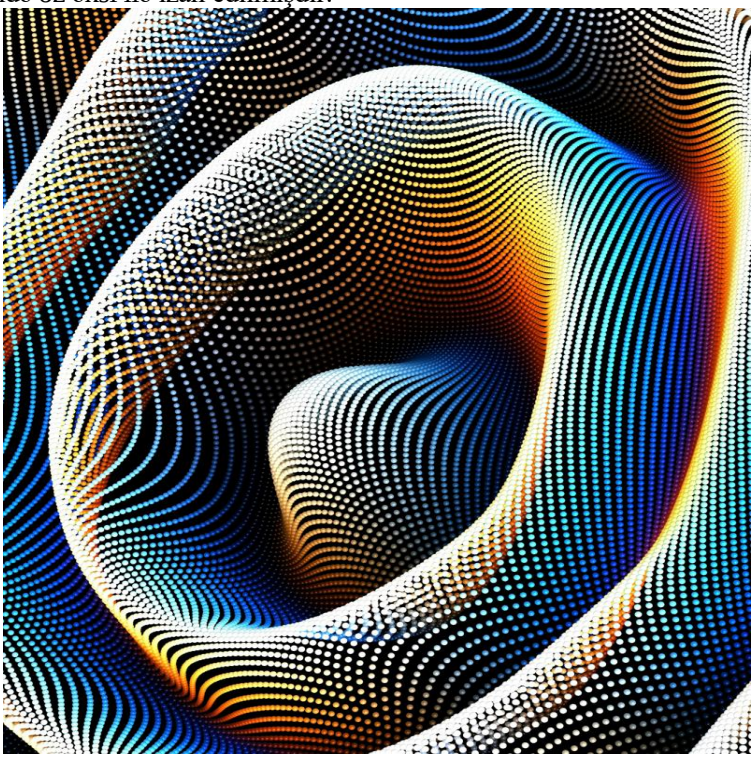
miqyas davamlılığı, simmetriya və kompleks iyerarxiya xüsusiyyətləri insan zehni ilə bağlanır və memarlıqda da bu prinsiplər intuitiv olaraq görünür[4]. Ümumiyyətlə, memarlıqda fraktalizm nizam-intizam anlayışına uyğun gəlir və daxili harmoniyanı təmin edən yoldur. Arxitekturada binaların, məhəllələrin və şəhərin müxtəlif tərkib hissələrinin bir-biri ilə ardıcıl olaraq bağlı olması özü-bənzərlik (self-similarity) prinsipi vasitəsilə baş verir[5]. Belə ki, eyni üslubda təkrarlanan arxitektonik elementlər şəhər mühitinə ahəng gətirir, müxtəlif səviyyələrdə vahidlik və nizam hissi yaradır[5].

Fraktal anlayışının memarlıqda təzahürü: Məlumdur ki, fraktal formalar böyük ölçüdən kiçiyə sanki eyni motivləri təkrar edir. Bu kontekstdə azərbaycanlı tədqiqatçılar da mədəni təsvirlərdə bu prinsipi aşkar edirlər. Məsələn, R. Məmmədova Aşıq sənətində "Əbədi İndi" anlayışını izah edərkən, bunu şəbəkə naxışlarında ilkin motivin **fraktal həndəsə** prinsipi üzrə sonsuz təkrarı kimi ifadə edir[6]. Deməli, ənənəvi dekorativ sənətdə fraktal məntiq insan idrakına yaxın bir daxili struktur yaratmışdır. Memarlıqda isə fraktal məntiq formanın hər səviyyədə ritmlə təkrarında, miqyaslı uyğunlaşmada və məkan quruluşunda iyerarxiyada özünü göstərir.

Fraktal prinsipləri (ana məqamlar): Araşdırma metodologiyamızda aşağıdakı aspektləri əsas götürürük:

- **Öz-bənzərlik (self-similarity):** Memarlıqda təkrarlanan motivlər və elementlər bütövlə detalları birləşdirən ardıcıllığı təşkil edir[1]. Məsələn, bir tarixi binanın giriş portalındakı ornament də eyni nisbətlə pəncərə dekorunda təkrarlana bilər.
- **Miqyaslı uyğunluq (scaling):** Kiçikdən böyük obyektlərə qədər ölçüpillərinin uyğun gəlməsi – misal üçün, binanın siniflərarası pillə planından tutmuş bütöv şəhər blokuna qədər analoji strukturlar[2]. Beləliklə, memarlıqda "bina–məhlə–şəhər" ölçülərində ardıcıllıq əmələ gəlir.
- **İyerarxiya:** Məkanın pillə-pillə təşkili; məsələn, məscidin daxili zalından portala, portaldan və minarələrdən ibarət kompleksə doğru yüksələn struktur iyerarxiyası.
- **Ritm:** Ornamentin, pəncərə formalarının və plan düzülüşünün təkrarlanan ritmik strukturu; memarlıq kompozisiyasına estetik ahəng qatır.

Bunlar memarlıq semiotikası çərçivəsində forma və məna vasitələri kimi şərh olunur: ölçüvahid, simmetriya, ornamentik ritm memarlıq dilində harmoniya mesajını çatdıran elementlərdir[1][5]. Biz bu məqamları nəzəri baxımdan analiz edərək, təbii sistemlərdəki fraktal harmoniyanın memarlığa adaptasiyasını araşdıracağıq. Ümumilikdə, bu bölmədə fraktal anlayışı bəndən-bəndə dildə verilmiş, memarlıq kontekstində öz əksi ilə izah edilmişdir.



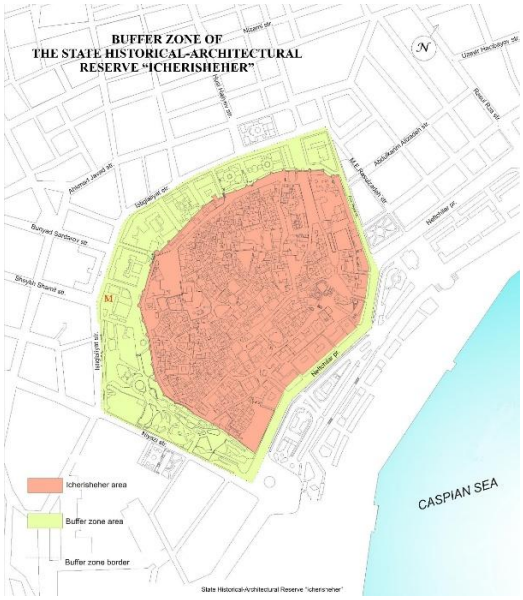
Şəkil 1. Fraktal morfologiya diaqramı (motivlərin miqyaslı təkrarı). Bu diagramda təsvir olunduğu kimi,

fraktal prinsiplərin öz-bənzərlik və miqyaslı ardıcıllığı binanın müxtəlif ölçülərində təkrarlanır. Məsələn, motiv üst quruluşdan əsas elementə qədər nəhayətsiz şəkildə yenidən düzdür.

Azərbaycan Memarlığında Fraktal Morfologiya

Tarixi Azərbaycan memarlığı fraktal məntiqin mühüm nümunələrini saxlayır. Burada dövri təkrarlanan formalar, miqyaslı uyğunluq və məkan iyerarxiyası sistemli surətdə ifadə olunur. Dörd əsas nümunə üzərində bu xüsusiyyətləri nəzərdən keçirək:

- **Şirvan-Abşeron memarlığı:** XVII–XIX əsrlər Abşeron memarları simmetrik plan və eyni elementlərin təkrarı ilə xarakterizə olunan məskun planları yaradıb. Məsələn, ənənəvi bağ evi planında bir orta otaqdan yan otaqlara uzanan məkan strukturu Abşeron yarımadasında təkrar olunur. Həmçinin portalların üstündəki daşı naxışlar, farş motifləri və divar süsləmələri bir-birinə bənzər ritmlə yer almaqdadır. Bu, fraktal məntiqin konkret təzahürüdür: aşağı ölçüdəki ornament motivləri oxşar üslubla binanın iri ölçülü strukturlarında da təkrarlanır. Baza mərtəbədən yuxarı çıxan nisbət və üslub pillələri binada ölçüvahid simmetriya yaradır. Bir başqa misal, XIX əsr memarının memarlıq ansambları olan "Abşeron" və "Azərbaycan" mehmanxanalarında neoklassik üslub elementləri fraktal uyumla planlaşdırılmışdır[7]. Bu nümunələr, təkrarlama, ritm və miqyas prinsiplərinin memarlıq harmoniya formalaşdırmaqda necə inteqrasiya edildiyini göstərir.
- **İçərişəhər şəhər toxuması:** İçərişəhər – Bakı şəhərinin tarixən mənzərəli şəhər planı fonunda yaranmış yaşayış mərkəzi, özündə müxtəlif ölçüdə memarlıq ünsürlərini birləşdirir[8]. Burada dar küçələr və meydanlar simmetrik olaraq fırlanan; məscidlər, hamamlar və karvansaralar isə tipik memarlıq formasında ardıcıllıq göstərir. İçərişəhərin abidələri və məskun binaları miqyas baxımından əlaqəlidir, şəhər ərazisi bir "qalan şəhər" formasında heyrətamiz bir orqanizmə çevrilib[9][8]. Məqalənin təsvirinə görə, İçərişəhər "şəhər içində şəhər", yəni yaşayış məskənləri və müxtəlif infrastrukturu olan canlı orqanizm kimidir[9]. Burada həyat məkanı özünəməxsus memarlıq harmoniyası ilə balanslıdır. Arxitektural toxuma baxımından İçərişəhərdə əsas formaların – məscid məharət nümunələri, qala divarları, qədim dar küçələr – dövrlü şəkildə təkrarı müşahidə olunur. Məsələn, İçərişəhərin planında fərqli binalar arasında formativ əlaqə var, hər bir detal böyükdəki planın bir hissəsini əks etdirir. Bu konseptual planın morfologiyası geridə qalmış kompleksi timsalında fraktal xüsusiyyətləri nümayiş etdirir. **Şəkil 2**-də nümunəvi şəhər planı göstərilmişdir; baxmayaraq ki, bu konkret plan İçərişəhər planı deyil, memarlıqda hərəkətə gətirilmiş plan ilə eyni prinsipləri canlandırır. İçərişəhər planında da küçələr təşkilində oxşar ritm və iyerarxiya vardır: mərkəzdən çıxan əsas koridorlar kiçik saraylara, karvansaralara gedir və bütün memarlıq təsərrüfatları ardıcıl bir sxemdə yerləşir[8][9].



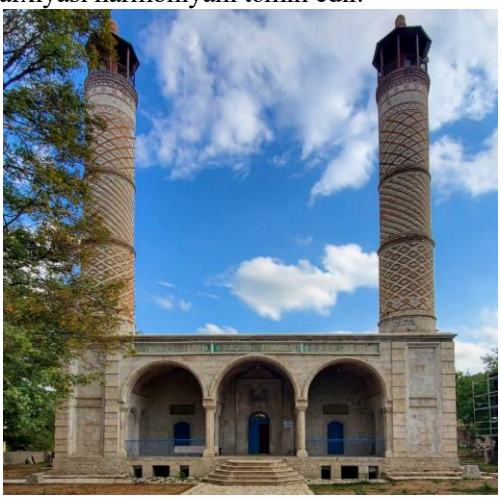
Şəkil 2. İçərişəhər plan quruluşu (xarici nümunəvi plan). Bu diaqramda şəhər içi məkan strukturunun miqyaslı təkrarı göstərilib. Qədim qalanın abidələri və küçə şəbəkəsi müxtəlif pillələrdə özü-bənzər formalara malikdir. İçərişəhər belə sistemli planlaşdırma sayəsində tarixi-mədəni harmoniya əldə edir[8][9].

- **Şəki Xan Sarayı:** 1797–1798-ci illərdə inşa olunmuş Şəki Xan sarayı zəngin dekor və fərqli mərtəbə strukturu ilə tanınır. Saray kompleksində iri tağlı pillə ev planı daxili divarlarla təkrar olunur, möhtəşəm ağac sütunlu giriş qülləsindən başlayaraq daxili zal və eyvanlara qədər. Xüsusilə, şəbəkəvari şüşəli pəncərələrin motivi mərtəbədən mərtəbəyə oxşar dövrəvi şəkildə təkrarlanır. Memarlıq ornamentləri – rəngli vitrajlar və divar boyalı naxışlar – binanın hər səviyyəsində eyni semantik kodu daşıyır: "sonsuzluq və simmetriya" simvolizmini. Belə ki, qat-qat təkrarlanan çiçəkli ornamentlər memarın fraktal məna mimarisini ifadə edir. Hər qatın ritmik quraşdırılması məkan iyerarxiyasını gücləndirir: fasaddakı dairəvi plan pəncərələr, arxitektur motivlər, sarayın mərkəzi zalına qədər miqyaslandırılır. Bu da memarlıq harmoniyasının əsas səbəbidir. Şəki sarayı struktur baxımdan alt qatlardan üst mərtəbəyə doğru plan səviyyələri ilə öz-içində bağlıdır; forma və ornamentatik təkrarlama sayəsində bələdçi və məna birləşir.



Şəkil 3. Şəki Xan Sarayı

- **Şuşa və Qarabağ memarlığı:** Qarabağ xanlığı dövrünün memarlıq nümunələri – Şuşa qalası, məscidlər, xan sarayları, xalq evləri – da oxşar fraktal xüsusiyyətləri əks etdirir. Şuşa şəhəri tipik dağ-şəhər planı ilə iyerarxik quruluşa malikdir: qala divarı içində təşkil olunan məscid və saraylar, üçüncü dərəcəli küçələrə malik mahal və kəndlər. Qala binasının burc düzümü fraktal bir quruluş kimi göstərilə bilər – hər burc əsas qala qala divarının bir kiçik surəti kimidir. 18–19-cu əsr ev memarlığında isə eyni temalarda təkrarlanan balkon elementləri, taxta ornamentlər, pəncərə frizləri, cütvari fasad quruluşu müşahidə olunur. Hər bir səviyyədə oxşar dizayn prinsipləri – pilləli dam örtüyü, kuzovvari plan, fasad sütunları – bir-birinin davamı kimi verilmişdir. Beləliklə, Qarabağ memarlığında dekorativ-elementar fraktallıq, makro-mikro miqyas quruluşu və məkan iyerarxiyası harmoniyanı təmin edir.



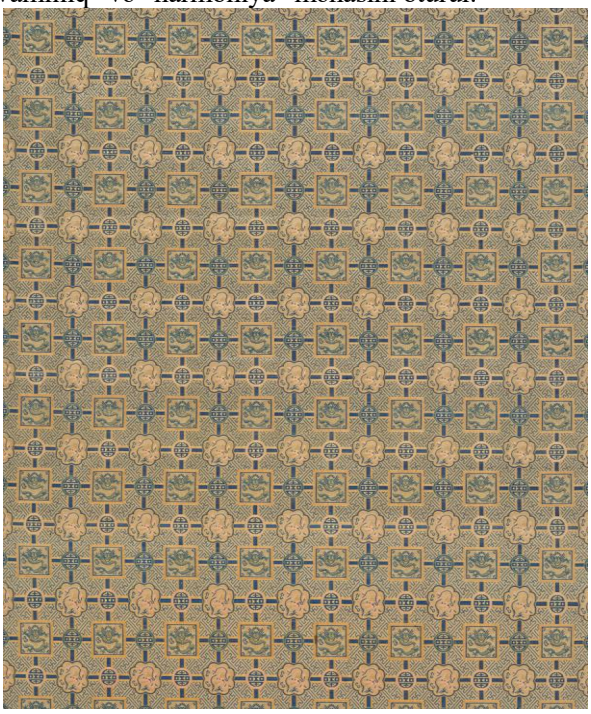
Şəkil 4. Yuxarı Gövhər ağa məscidi

Bu əsas memarlıq nümunələrində ümumi cəhət odur ki, fraktal xüsusiyyətlər (**təkrarlanan elementlər, miqyaslı uyğunluq, məkan iyerarxiyası, ritmik quruluş**) harmoniyanın struktur mexanizmlərinə çevrilib. Hər səviyyədə bənzər formalı motivlər memarlıq bütövlüyünü qoruyur. Binalar və şəhərlər öz-içində iyerarxik sistem kimi qurulur: iri strukturlardan («xan evi», «qala kompleksi») kiçik detallar («orentment naxışları», «pəncərə qranitləri») kimi aşkar olunur. Bu aspektlərdə memarlığın böyük ölçüdə sanatsal semiotikası ön plana çıxır. Nəticədə, Azərbaycan memarlığında fraktal morfologiya sadəcə riyazi aspekt deyil, form- məna funksiyaların birlikdə işlədiyi morfoloji prinsiplər sistemidir[1][5].

Fraktal və Semantik Harmoniya

Memarlıq dilində formalar yalnız estetik obraz deyil, həm də məna daşıyıcıdır. Bu baxımdan fraktal xüsusiyyətlər semantik qatla sıx bağlıdır. Memarlıqda fraktal elementlər formanın məna ilə əlaqəsini təmin edən vasitələr rolunu oynayır. Aşağıda bu əlaqəni üç aspektdə göstəririk:

- **Forma → Məna əlaqəsi:** Formal elementlərin təkrarı və ölçüvahid ardıcıllığı, memarlıq obyektlərinə koherent harmonik məna verir. Misal üçün, tağ pəncərələrin və ya sütunların plan üzrə təkrarlanması bu memar əsərlərinə "bütövlük", "təbiətə uyğunluq", "ümumiliyin davamı" kimi semantik anlamlar qazandırır. Alimlər qeyd edir ki, memarlıq kompozisiyasında bir nisbət modulunun təkrar tətbiqi bütün strukturları simmetrik olaraq bağlayır[2][4]. Klassik proporsiya sistemləri (qızıl nisbət və s.) da eyni prinsiplə estetik harmoniyanı formalaşdırır. Azərbaycanda da məsələn, məscidlərin və sarayların qüllə üslubunda yerləşdirilən pəncərə və gülüstan motiflərinin ardıcıl nisbəti sinəmizə bənzər bir uyğunluq verir – formalar dilində məna "bütünlük", "bütöv kainatla vahidlik"dır.
- **Ornament → sonsuzluq və davamlılıq:** Orta əsr Azərbaycan memarlığında ornamentlər teolojik və təbiətə nəğməli yanaşmanı ifadə edir. Fraktal kontekstdə ornament sonsuzluğa işarə sayılır. Məsələn, xilaskar naxışlarının sonsuz təkrarı İslam memarlığında ilahi sonsuzluq ideyasının simvolik təsvirinə çevrilir. Azərbaycan memarlığında da divar naxışları, pəncərə dəstələri, şəbəkə və bitki nişanları fraktal motivlərlə işlənir. Bu ornamentativ təkrar bitməmiş sonsuz nümunəsi kimi oxunur – hər naxışın içində yenə özünü təkrarlayan nümunələr var. Nəzəri aspektdən, bu dövri ritmlər memarın məkanla sonsuz dialoq qurmasına xidmət edir. Rena Məmmədovadan misal götürsək, muğam musiqisinin "Əbədi İndi" anlayışının kökündə olduğu kimi, memarlıq ornamentlərində də fraktal strukturlar sonluqdan kənarlaşma, ünsiyyət məkanı kimi başa düşülür[6]. Beləliklə, ornament memar üçün semantik kod rolunu oynayır: onun simmetriyası və təkrarı "davamlılıq" və "harmoniya" mənasını ötürür.



Şəkil 5. Ornamentda ritmik qruplaşma nümunəsi. Bu foto memarlıqda təkrar və ritmi göstərir. Rəngarəng naxışların və motivlərin qrafik düzəni fraktal konseptini xatırladır: hər bir ornament detayı bütövlə uyğunluq halında təkrarlanır, məkan məna səviyyəsində sonsuzluq hissi yaradır.

- **Məkan → sosial və mədəni sistem:** Fraktal məkan iyerarxiyası memarlıqla sosial funksiyalar arasında da əlaqə yaradır. Məsələn, ticarət, ibadət, yaşayış, inzibati funksiyaları fərqli ölçülü məkanlarda yerləşən abidələrin təkrarlanması, şəhər harmoniyasını təmin edir. İçərişəhərin divarları içində məscidlər, hamamlar və sarayların simmetrik yerləşdirilməsi əslində cəmiyyətin mürəkkəb iyerarxiyasını (xan, alim, kişi, insan ...) əks etdirir. Hər ölçüdəki məkan təkrarları sosial stratifikasiyanı simvolizasiya edir. Fraktal yanaşma göstərir ki, memarlıq obyektindəki bütün strukturlar – funksional zonalar, oxşar formalar, ornament səviyyələri – cəmiyyətin makro-iç-içindəki mədəni-semantic şəbəkəsini bərabər miqyasda əks etdirir. Yəni, fraktal məkan korporativ daxili ahəng sayılır ki, burada formal öz-bənzərlik sosial-siyasi öz-bənzərliklə səsləşir.

Beləliklə, formal təhlildə fraktal elementlər memarlıq obyektinə əlavə semantik qat gətirərək harmoniya prosesinə qatqı verir. Forma və ornamentla ifadə olunan fraktal nizam-məşum harmoniyada, strukturda məna ilə formanın vəhdətini təmin edir[1][5]. Məsələn, Şəkil 3-dakı motivdə rəng və xətt harmonik təkrarı göstərir – oxşar komponentlər ardıcıl olaraq yerləşdirilərək vizual "musiqi" yaradır. Fraktal-semantik qarışım memarlıqda "dil" rolunu oynayır: bina səhnəsi oxunaqlı strukturlar silsiləsi kimi başa düşülür.

Müqayisəli Təhlil

Azərbaycan memarlığındakı fraktal xüsusiyyətləri qlobal miqyasda təhlil etsək, qərb və şərq memarlığındakı fərqlilikləri görmək olar. **Şərq (İslam) memarlığında:** tipik olaraq ornament və dekorativ detal təkrarları üstünlük təşkil edir. Məsələn, İran, Səfəvilər dövrü moskvələrində, türk memarlığında dövri ornament motivləri (arabeska, Şəbəkə sənəti) memarlığı fraktal formada strukturlaşdırır. İnnovativ nümunə kimi, Mərakeşdəki Alhambra sarayı xəzinəsində həndəsi tiling və lövhə quraşdırmaları öz-bənzərliyi və iyerarxiyanı açıq göstərir[4]. **Qərb memarlığında:** klassik dövrlərdə sadə simmetriya və ölçü vahidi əsas olduğundan, fraktal öz-bənzərlik konsepti daha məhdud idi. Yeniyetmə Qərb müasir memarlığında isə parametriya və rəqəmsal dizaynla fraktal strukturları bəzi obyektlərdə bərpa etməyə çalışır. Məsələn, Qərbdə bəzi ekoloji memarlar binanın formasını təkrarlanan modullardan quraraq fraktal estetika axtarırlar. Lakin çox vaxt Qərb şəhərsalmasında bir növ qəzənfil prinsipi üstün gəlir – hierarxik, sadə blok stili, bizantiner və minimal üslubla şəhər planları. Şərq memarlığında isə sintezli kompleks sistem və ornamentatik çoxluq (qalereya, hirəlik, at kəkinə bənzər dövri formalar) ağlabatan kəmiyyət təşkil edir. Bu mənada, Azərbaycan memarlığındakı fraktal harmoniyanın əsas xüsusiyyətləri **Şərq-memarlıq arenasında** (ornament zənginliyi, təkrarlanan plaza, kub-bonaşa struktur) görünən elementləri ilə eynidir, lakin **Qərb urbanistikası ilə müqayisədə** onların sistematik dəyərləndirilməsi daha şərqə xasdır. Bütün bu müqayisələr göstərir ki, fraktal vizual ahəng **şərqdən çıxan** memarlıq dillərində daha kəsişir; Qərb isə daha çox riyazi proyeksiyalar və minimalizmə meyllidir. Buna baxmayaraq, dünya memarlığında fraktal motivlərin artan istifadəsi harmoniyanın qlobal konsepsiyalarında da şərh olunur[1][5]. Nəticədə, araşdırmamız onu göstərir ki, Azərbaycan memarlığındakı fraktal-semantik harmoniya həm şərqin zəngin ornament ənənəsi, həm də qlobal ahəng axtarışı prinsipləri əsasında formalaşıb.



Şəkil 6. Sagrada Familia

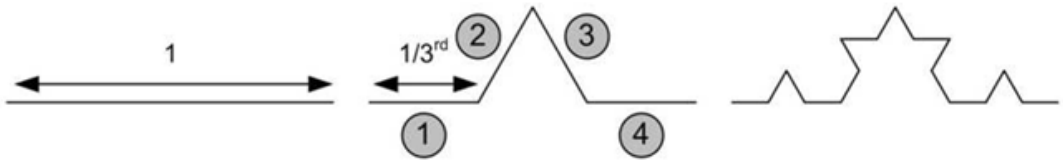


Şəkil 7. Əsas dizayn xüsusiyyətləri (əsas hissələr: dam və divar, ikinci dərəcəli hissələr: dəliklər və kiçik divar səthləri) və ikinci dərəcəli dizayn xüsusiyyətləri (əsas hissələr: dəliklər və kiçik divar səthləri, ikinci dərəcəli hissələr: pəncərə çərçivələri, vitrajlar və üzlük kərpicləri)

Konseptual Model: "Fraktal Harmoniya Sistemi"

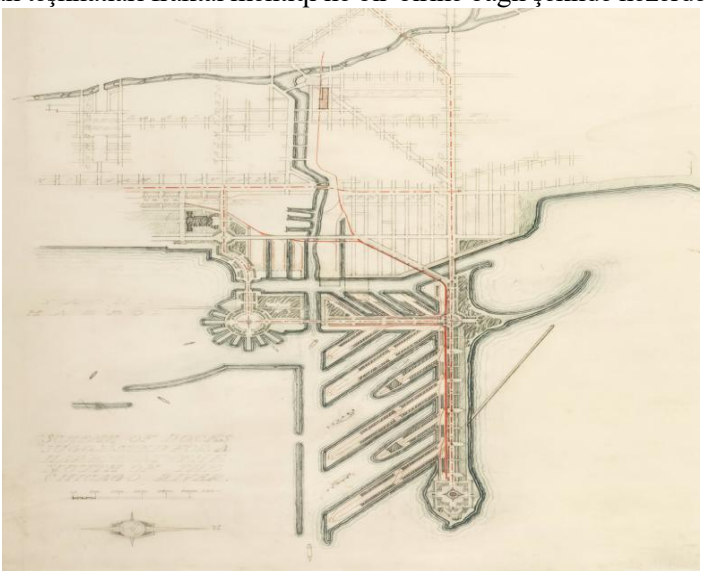
Yuxarıda qeyd olunan analiz əsasında yeni bir konseptual model – **"Fraktal Harmoniya Sistemi"** – təqdim olunur. Bu model formal, məkan və semantik qatları ehtiva edir və hər birini öz fərqli səviyyəsində harmoniya məntiqi kimi təfsir edir:

- **Formal qat:** Burada fraktal öz-bənzərlik formalarının və nisbət modulunun təkrarı əsas götürülür. Formal qat estetik elementlərin (fasad nisbətləri, ornament sxemi, ornament-repetisiya) analizi vasitəsilə modelə daxil edilir. Misal üçün, bir memarlıq obyektində bina ölçülərinin, tağ və sütun dizaynının eynilik təşkil etməsi burada nəzəri çərçivəyə alınır. Formal qat memarlıq dilində fraktal strukturun dizayn prinsiplərini ifadə edir: simmetriya, modul təkrarları, qızıl nisbət kimi nizamlı sturuktur elementləri.



Şəkil 8. N = 4 və s = 1/3 olduqda, Koç əyrisinin özünəbənzər ölçüsü (fraktal ölçüsü) 1.2619-a bərabərdir.

- **Məkan (plan) qat:** Bu qat memarlıq kompozisiyasının miqyaslı təkrarı və iyerarxiyasına diqqət yetirir. Məkan qatında bina planı, şəhərsalma strukturu və mühitin makro-mikro iyerarxiyası təhlil olunur. Misal üçün, bir qala kompleksi ilə onun ətraf kəndi, ya da şəhər mərkəzi ilə hündürmərtəbəli binaların yerləşmə nümunəsi arasında miqyaslı uyğunluq nümunələri bu qatın mövzusudur. Məkan qatında "spatial hierarchy" prinsipinə görə, sosial və memarlıq səviyyələrinin uyğunluğu vurğulanır: ayrı-ayrı tikili blokları, küçə rəqsləri və meydan təşkilatları fraktal məntiqi ilə bir-birinə bağlı şəkildə nəzərdən keçirilir.



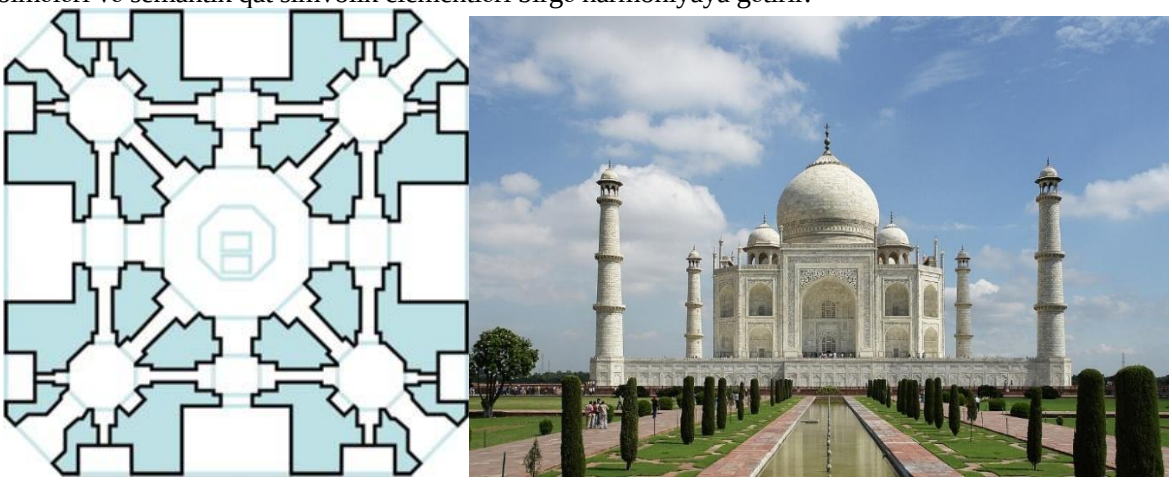
Şəkil 9. Məkan iyerarxiyası diaqramı (nümunəvi plan). Bu sxemdə geniş koordinatlı plan hierarxiyasının fraktal quruluşu təsvir edilir. İrəvan plan nümunəsi İraqdan götürülmüşdür və orada böyükdən-kiçiyə şəhər planının təkrarları müşahidə olunur. Memarlıq kontekstində formal və məkan qatının sintezini göstərir.

- **Semantik qat:** Burada fraktal elementlərin mənəvi-fəlsəfi və simvolik aspektləri araşdırılır. Semantik qatda ornamentlərin metaforik məzmunu, naxışların sonsuzluq ideyası və məkanın sosial-maqəmsal demarsiyası önəmlidir. Bu qat fraktal polifoniyasını açıqlayır: hər təkrarlanan element insan algısında hansı mifoloji, dini və ya psixoloji məna buraxır. Misal üçün, üçüzlü ornamentin sonsuz təkrarı Alov qəlbində "əbədi alov" metaforunu yaratdığı kimi, plan iyerarxiyasındakı ardıcıl ölçüvahidlər də icmanın sosial-piramidası barədə mesaj verir. Semantik qat memarlıq harmoniyasının əlifbasıdır: arxitektur elementlərin düzümü ilə onların mədəni-idrak tərkibi arasındakı əlaqə burada əsaslanır.

Bu üçqatlı model göstərir ki, **Azərbaycan memarlığında harmoniyanın formalaşması fraktal ardıcıllığın həm formal, həm mütəşəkkil məkan, həm də dərin semantik quruluşunda mövcuddur**. Formal qat ölçüvahid və öz-bənzərlik vasitəsilə harmoniyanı təsvir edirsə, məkan qat strukturun miqyaslı yerləşməsini təmin edir, semantik qat isə memarlıq nümunəsinə dərin mədəni məna verir. Bu model fraktal prinsipini sadəcə riyazi nəzəriyyə deyil, memarlıq dilinin təməl hissəsi kimi təqdim edir. Nəticədə, **"Fraktal Harmoniya Sistemi"** memarlıq formalarının iç-içə harmonik şəbəkəsi kimi başa düşülür – burada hər səviyyə bir-birini dəstəkləyən simmetrik ardıcıllıq təşkil edir.

Nəticə

Bu tədqiqat fraktal anlayışını yalnız riyazi model kimi deyil, Azərbaycan memarlığında harmoniyanın struktur mexanizmi kimi təqdim edir. Aparılan nəzəri analiz və seçilmiş tarixi nümunələr göstərir ki, fraktal strukturlar memarlıqda forma və məna vasitələri ilə ifadə olunur. Əldə olunan əsas nəticələr belədir: (a) **Fraktal xüsusiyyətlər** – təkrarlanan motivlər, miqyaslı uyğunluq, məkan iyerarxiyası, ornamental ritm – Azərbaycan memarlığının harmonik kompozisiyasının təməl elementləridir; (b) Bu xüsusiyyətlər **riyazi ölçülərdən çox morfoloji və semantik strukturlarla** (simmetriya, proporsiya nisbətləri, ornament konfiqurasiyası, məkan pillələri) əlaqələndirilir[1][4]; (c) Yaranan **"Fraktal Harmoniya Sistemi"** modelinə görə, memarlıq dili fraktal bir məna sistemi kimi formalaşır: formal qat nisbətləri, məkan qat bölmələri və semantik qat simvolik elementləri birgə harmoniyaya gətirir.



Şəkil 10. Taj Mahal

Tədqiqatın elmi töhfəsi ondadır ki, fraktal konseptini memarlıq dilinə inteqrasiya edərək onun vizual-morfoloji və semantik aspektlərini aydınlaşdırmışıq. Bu, Azərbaycandakı memarlıq irsinin analitik təhlili üçün yeni konseptual çərçivə yaradır və memarlıq harmoniyasını fraktal ardıcıllıq baxımından başa düşməyə imkan verir. Araşdırma, həmçinin Şərq və Qərb memarlığının harmoniya konsepsiyasının müqayisəli təhlili vasitəsilə Azərbaycan memarlığının spesifik xüsusiyyətlərini vurğulayır. Nəticədə, fraktal anlayışının memarlıq koordinatında dil, morfologiya və semantika kimi istifadəsi təsdiqlənmiş olur və Azərbaycan memarlığında harmoniyanın əsas mexanizmlərindən biri kimi əsaslandırılır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. [1] [2] naturalspublishing.com
2. https://www.naturalspublishing.com/files/published/2z172l3c323t1r.pdf
3. [3] Unified Architectural Theory, Lecture 8: "Fractals and ornament generate attachment" | Architecture's New Scientific Foundations
4. https://patterns.architexturez.net/pst/az-cf-219462-1618710682

5. [4] Fractal Dimension and Perception of Order in Islamic Art | IntechOpen
6. https://www.intechopen.com/chapters/86254
7. [5] arxiv.org
8. https://arxiv.org/pdf/2403.14175
9. [6] Şərq Ölkələri Beynəlxalq Memarlıq Akademiyası öz nəzər-nöqtələri, ideyaları və təklifləri ilə bölüşməyi arzu edən memarlıq tarixi və şəhərsalma, eləcə də sənətşünaslıq mütəxxəsisləri arasında böyük populyarlıq qazanan toplusunun növbəti nömrəsi
10. https://ecia-academy.org/pdf/2021%20N1%20(21).pdf
11. [7] [PDF] ŞÖBMA; Memarlıq, şəhərsalma tarixi və bərpası. Cild 25, № 1, 2025
12. https://ecia-academy.org/pdf/2025%20Vol%2025%20N%201.pdf
13. [8] Icherisheher (Azerbaijan) - Organization of World Heritage Cities
14. https://www.ovpm.org/city/icherisheher-azerbaijan/
15. [9] “Icherisheher” Architectural and Urban Planning Complex - "Icherisheher" State Historical-Architectural Reserve Administration
16. https://icherisheher.gov.az/en/monuments/show/iceriseher-memarliq-sehersalma-kompleksi

“ART STUDİO AZƏRBAYCAN” SƏNƏT MƏRKƏZİ LAYİHƏSİNİN KONSEPTUAL DİZAYN HƏLLİ

Arzu Mammadova
Ph. D.Assoc.Prof.
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Dizayn kafedrası
Bakı,Azərbaycan
amemmedova1@beu.edu.az
0000-0002-9474-4566

Aysu Şahbazlı
Tələbə
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Dizayn kafedrası
Bakı,Azərbaycan
ashahbazli@std.beu.edu.az

Türkan Qayıbova
Tələbə
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Dizayn kafedrası
Bakı,Azərbaycan
tqayibova@std.beu.edu.az
0009-0004-4111-0772

Vüsalə Heydərova
Tələbə
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Dizayn kafedrası
Bakı,Azərbaycan
vheyderova1@std.beu.edu.az

Xülasə: Sənət insanların estetik zövqünün formalaşmasında, yaradıcı təfəkkürünün inkişafında və emosional ifadə imkanlarının genişlənməsində mühüm rol oynayır. Müasir dövrdə incəsənət məkanlarının funksional və inklüziv interyer həlləri xüsusi aktuallıq kəsb edir. Bu məqalədə “Art Studio Azerbaijan” adlı 3 mərtəbəli art studiya mərkəzinin interyer dizayn konsepsiyası təqdim olunur. Layihə çərçivəsində rəsm, rəngkarlıq, keramika, xalçaçılıq və digər sənət sahələri üzrə tədris məkanları nəzərdə tutulmuşdur. Xüsusilə uşaqların yaradıcı təfəkkürünün formalaşdırılması və sənətə marağının artırılması layihənin əsas prioritet istiqamətlərindən biridir. Eyni zamanda, müxtəlif yaş qruplarını və fiziki məhdudiyyətli şəxsləri əhatə edən bu mərkəz inklüziv dizayn prinsiplərinə uyğun şəkildə işlənmişdir. İnteryer həllərində erqonomik və funksional yanaşmalar tətbiq olunmuş, müasir nanomateriallardan istifadə edilərək dayanıqlı və innovativ mühit formalaşdırılmışdır.
Açar sözlər: *Sənət, Art Studio, İnteryer dizaynı, Tədris məkanları*

Abstract: Art plays a significant role in shaping individuals’ aesthetic taste, developing creative thinking, and expanding emotional expression. In the modern era, functional and inclusive interior solutions for art spaces have become particularly relevant. This article presents the interior design concept of a three-story art studio center called “Art Studio Azerbaijan.” Within the scope of the project, educational spaces for painting, fine arts, ceramics, carpet weaving, and other artistic fields are proposed. In particular, fostering children’s creative thinking and increasing their interest in art are among the main priorities of the project.

At the same time, the center is designed in accordance with inclusive design principles, accommodating different age groups and individuals with physical disabilities. Ergonomic and functional approaches have been applied in the interior solutions, and a sustainable and innovative environment has been created through the use of modern nanomaterials
Keywords: *Art, Art Studio, Interior design, Educational Spaces*

GİRİŞ

İncəsənət insanın daxili dünyasının ifadə vasitəsi olmaqla yanaşı, onun estetik zövqünün, yaradıcılıq potensialının və dünyagörüşünün formalaşmasında mühüm rol oynayır. Müasir dövrdə sənət yalnız fərdi yaradıcılıq aktı deyil, həm də sosial inteqrasiyanı, ünsiyyəti və mədəni mübadiləni təşviq edən bir platformadır. Bu baxımdan, müxtəlif yaş qruplarını əhatə edən və onların yaradıcı bacarıqlarını inkişaf etdirməyə yönəlmiş məkanların təşkili aktuallıq kəsb edir.

Təqdim olunan layihə Qobustan ərazisində yerləşən və 7-dən 70-ə qədər hər kəsin maraq dairəsinə uyğunlaşdırılmış çoxfunksiyalı art-studio kompleksinin dizaynına həsr olunmuşdur. Layihənin əsas məqsədi müxtəlif incəsənət sahələrini bir məkanda birləşdirərək, istifadəçilər üçün həm öyrədici, həm də inklüziv və ilhamverici mühit yaratmaqdır.

LAYİHƏNİN KONSEPTUAL ƏSASLARI

Art-studio layihəsinin əsas ideyası yaradıcı fəaliyyətin sərbəst və rahat həyata keçirilə biləcəyi mühitin formalaşdırılmasıdır. Bu konsepsiya çərçivəsində məkan yalnız tədris funksiyası daşımır, eyni zamanda sosiallaşma, istirahət və özünüifadə üçün açıq platforma rolunu oynayır.

Layihənin konsepsiyası inklüziv dizayn prinsiplərinə əsaslanır. Bu yanaşma bütün istifadəçilər üçün — o cümlədən fiziki məhdudiyyətli şəxslər üçün — bərabər və maneəsiz istifadə imkanlarının yaradılmasını nəzərdə tutur. Beləliklə, məkan sosial bərabərliyi təşviq edən və hər kəs üçün əlçatan olan bir mühit kimi formalaşdırılır.

MƏKANIN FUNKSİONAL TƏŞKİLİ

Layihələndirilən art-studio müxtəlif fəaliyyət zonalarına bölünərək istifadəçilərin rahat hərəkəti və funksional bölgü təmin edilmişdir. Kompleksdə aşağıdakı əsas bölmələr nəzərdə tutulmuşdur:

rəsm və rəngkarlıq emalatxanaları,keramika və heykəltaraşlıq studiyaları, xalçaçılıq və tətbiqi sənət otaqları, sərgi və nümayiş sahələri, istirahət və sosial ünsiyyət zonaları

Bu zonaların təşkili zamanı universal dizayn prinsipləri əsas götürülmüş, hərəkət trayektoriyaları geniş və maneəsiz şəkildə planlaşdırılmışdır.

İNKLÜZİV DİZAYN VƏ ƏLÇATANLIQ

Layihənin mühüm xüsusiyyətlərindən biri fiziki məhdudiyyətli şəxslər üçün əlverişli şəraitin yaradılmasıdır. Bu məqsədlə aşağıdakı memarlıq və dizayn həlləri tətbiq edilmişdir:

pandus və maili keçidlərin təşkili, geniş qapı keçidlərinin planlaşdırılması, əlil arabası istifadəçiləri üçün uyğun dövriyyə sahələri, xüsusi sanitar qovşaqların yaradılması, vizual və taktil istiqamətləndirmə elementlərinin tətbiqi

Bu yanaşma nəticəsində məkan yalnız fiziki deyil, həm də sosial baxımdan inklüziv bir mühitə çevrilir. İnklüziv dizaynın tətbiqi istifadəçilər arasında bərabər iştirak imkanlarını təmin etməklə yanaşı, onların psixoloji rahatlığını da artırır.

İNTERYER VƏ EKSTERYER DİZAYN HƏLLƏRİ

Layihənin interyer dizaynında müasir üslub əsas götürülmüş, lakin milli elementlərlə zənginləşdirilmişdir. Rəng həllində əsasən açıq və neytral tonlara üstünlük verilmiş, bu isə məkanın daha geniş və işıqlı görünməsinə şərait yaradır. Eyni zamanda vurğu elementləri kimi daha canlı rənglərdən istifadə olunaraq dinamik vizual effekt əldə edilmişdir.

Eksteryer dizaynında isə bina ətraf mühitlə harmoniyada yerləşdirilərək landşaftla vizual əlaqə yaradılmışdır.

NANOMATERİALLARIN TƏTBİQİ\

Müasir memarlıq və interyer dizaynında innovativ materiallardan istifadə layihənin keyfiyyət göstəricilərini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bu baxımdan layihədə nanomateriallardan istifadəyə xüsusi üstünlük verilmişdir.

Nanomateriallar yüksək möhkəmlik, davamlılıq və funksionallıq xüsusiyyətləri ilə seçilir. Onların tətbiqi aşağıdakı üstünlükləri təmin edir:
səthlərin özünü təmizləmə qabiliyyəti, antibakterial və gigiyenik xüsusiyyətlər,yüksək istilik izolyasiyası,materialların daha uzunömürlü olması
Məsələn, nanoörtüklü şüşə və panellər günəş işığını optimal şəkildə tənzimləyərək enerji səmərəliliyini artırır. Eyni zamanda, bu materiallar baxım xərclərini azaldaraq iqtisadi cəhətdən də əlverişli həll təqdim edir.\

ERQONOMİKA VƏ İSTİFADƏÇİ RAHATLIĞI

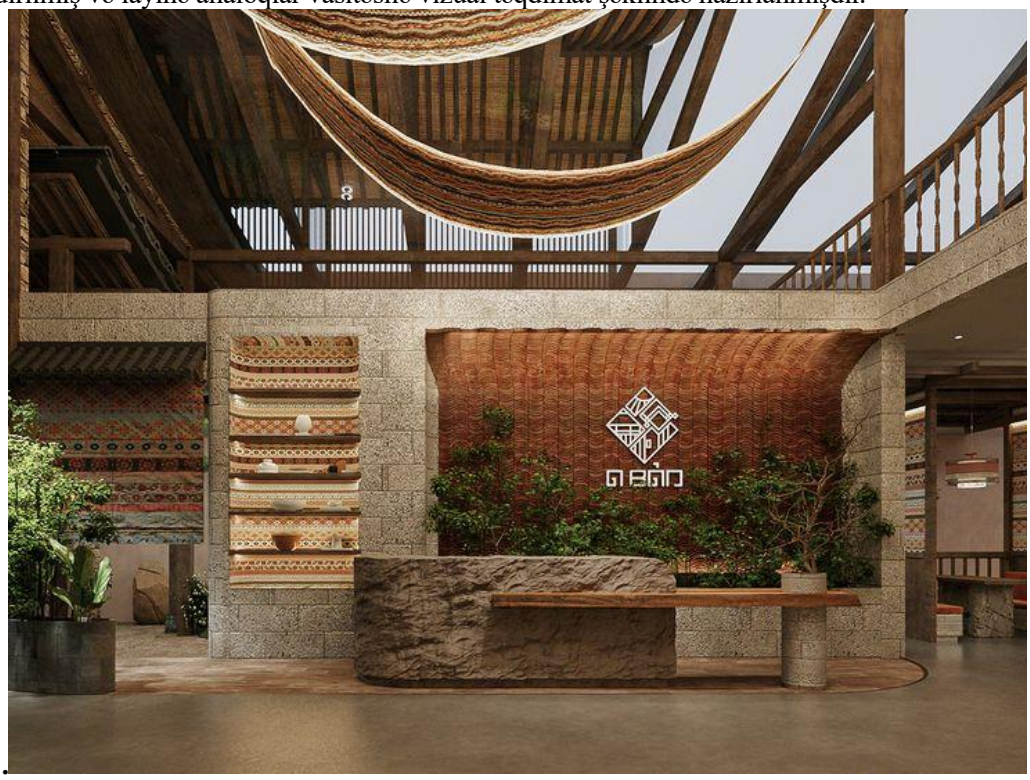
Məkanın layihələndirilməsində insan faktorunun nəzərə alınması əsas prioritetlərdəndir. Hər bir otağın ölçüləri, işıqlandırılması və mebel yerləşimi istifadəçilərin fiziki və psixoloji rahatlığına uyğun tərtib edilmişdir.
Təbii işıqlandırma və ventilyasiya sistemlərinin düzgün təşkili istifadəçilərin sağlamlığına müsbət təsir göstərir. Eyni zamanda akustik həllər musiqi və yaradıcılıq zonalarında səs keyfiyyətini optimallaşdırır.

RƏNG VƏ PSİXOLOJİ TƏSİR

Rənglərin insan psixologiyasına təsiri nəzərə alınaraq interyer dizaynında balanslı palitra seçilmişdir. Açıq tonlar sakitlik və konsentrasiya yaradır, pastel çalarlar isə yaradıcılığı stimullaşdırır. Aktiv zonalarda daha canlı rənglərdən istifadə edilərək dinamiklik hissi gücləndirilmişdir.
Nəticə etibarilə, aparılan tədqiqat göstərir ki, müasir sənət mərkəzlərində interyer dizaynı yalnız estetik görünüşlə məhdudlaşmır, eyni zamanda funksionallıq, rahatlıq və istifadəçi təcrübəsinin yaxşılaşdırılması əsas məqsəd kimi çıxış edir. Bu prinsiplər əsasında hazırlanan Art Studio Azerbaijan layihəsi də həm sərgi, həm də tədris fəaliyyətlərini bir arada təmin edən müasir və cəlbedici məkan kimi formalaşdırılmışdır.

TƏDQİQAT METODU

Tədqiqatın ilkin mərhələsində internet resurslarından istifadə olunaraq müxtəlif incəsənət məktəbləri və sənət mərkəzlərinin interyer və eksteryer dizayn xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. Araşdırma zamanı məkanların plan quruluşu, rəng həlləri, istifadə olunan materiallar, konstruktiv elementlər və işıqlandırma prinsipləri geniş şəkildə təhlil edilmişdir.Əldə olunan məlumatlar əsasında oxşar layihələr müqayisə edilmiş, müasir memarlıq və dizayn yanaşmaları nəzərə alınaraq ən uyğun həll yolları seçilmişdir.Bu tədqiqatın nəticələrinə əsasən “Art Studio Azerbaijan” layihəsinin ümumi interyer konsepsiyası formalaşdırılmış və layihə analoqlar vasitəsilə vizual təqdimat şəklində hazırlanmışdır.



Şəkil 1. *Analoq*

Şəkil 2.



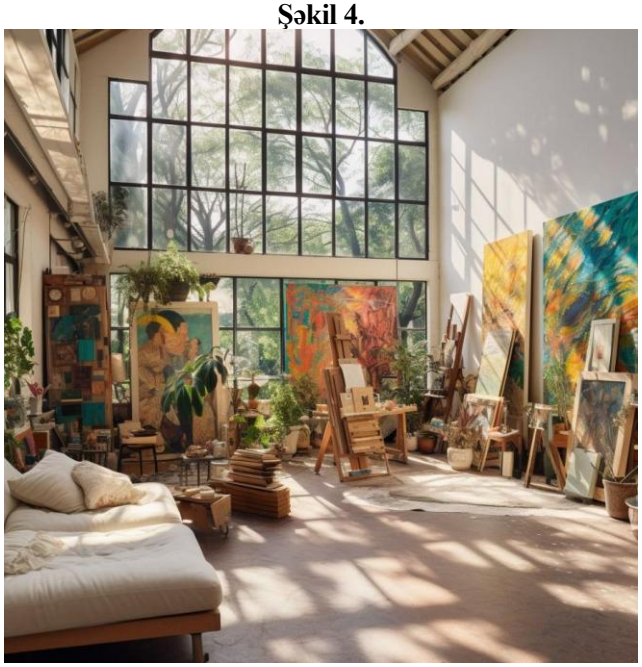
Analoq

Şəkil 3.



Analoq

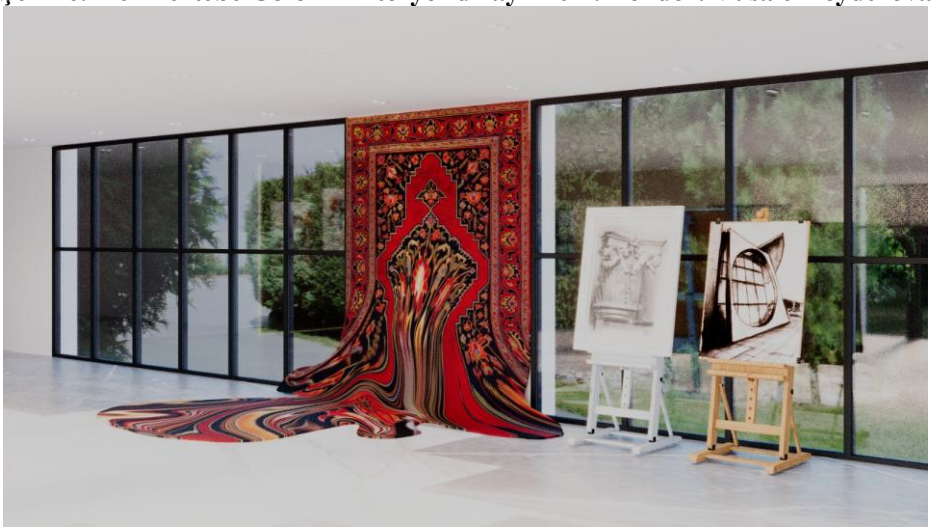
Şəkil 4.



Şəkil 5. Analoq



Şəkil 6. 1-ci mərtəbə Cofenin interyer dizayn həlli. Render: Vüsalə Heydərova



Şəkil 7. 1- ci mərtəbə Reseption dizayn həlli. Render: Türkan Qayıbova

NƏTİCƏ

Qobustan ərazisində yerləşən bu art-studio layihəsi müasir memarlıq, inklüziv dizayn və innovativ materialların sintezini özündə birləşdirən kompleks yanaşma nümunəsidir. Layihə yalnız estetik və funksional məkan yaratmaqla kifayətlənmir, eyni zamanda sosial inklüzivliyi və texnoloji inkişafı təşviq edir.

Beləliklə, təqdim olunan art-studio modeli gələcəkdə analoji layihələr üçün nümunəvi həll kimi çıxış edə bilər və cəmiyyətin mədəni inkişafına mühüm töhfə verə bilər

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Francis D. K. Ching – Architecture: Form, Space, and Order. John Wiley & Sons, 2014.
(məkanın təşkili, planlaşdırma və kompozisiya hissələri üçün)
2. Francis D. K. Ching – Interior Design Illustrated. John Wiley & Sons, 2018.
(interyer həlləri və funksional zonalaşdırma üçün)
3. Jan Gehl – Life Between Buildings: Using Public Space. Island Press, 2011.
(ictimai məkan və istifadəçi davranışı üçün)
4. World Health Organization – World Report on Disability. Geneva, 2011.
(inklüzivlik və fiziki məhdudiyyətli şəxslər üçün mühit)

5. ISO – ISO 21542: Accessibility and Usability of the Built Environment, 2011.
(pandus, keçidlər və əlçatanlıq standartları üçün)
6. Universal Design Handbook – McGraw-Hill, 2010.
(universal/inclusive dizayn prinsipləri üçün)
7. Donald A. Norman – The Design of Everyday Things. Basic Books, 2013.
(istifadəçi rahatlığı və erqonomika üçün)
8. William D. Callister Jr. – Materials Science and Engineering: An Introduction. Wiley, 2020.
(material seçimi və xüsusiyyətləri üçün)
9. Mark Ratner – Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Big Idea. Pearson, 2003.

MEMARLIQ VƏ OYUNUN İNTEQRASİYASI: YİNYANG HARMONY KONSEPSİYASINDA MƏKAN HARMONİYASININ TƏHLİLİ

Şahin Cəlilov İlham / Shahin Calilov Ilham
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Memarlıq Mühitinin Dizaynı Kafedrası, Xırdalan, Azərbaycan
Baku Engineering University, Faculty of Architecture and Construction, Department of Architectural Environment Design, Khirdalan, Azerbaijan
calilovshahin1@gmail.com
scelilov2@std.edu.beu.az
ORCID: 0009-0000-3234-0606

Xülasə: Bu məqalə memarlıq və oyun dizaynının qarşılıqlı əlaqəsini nəzəri metodlarla araşdırır və Yin-Yang fəlsəfəsinə əsaslanan "YinYang Harmony" layihəsi nümunəsində məkan harmoniyasının yeni modelini təqdim edir. Giriş bölməsində texnoloji dəyişikliklərin memarlıq mühitinə təsiri, xüsusilə oyun elementlərinin arxitekturaya tətbiqi kontekstində tənqidi təhlil edilir. Nəzəri çərçivədə Venturi, Jencks, Norberg-Schulz və Pallasmaa kimi memarlıq nəzəriyyəçilərinin harmoniyaya dair ideyaları ilə oyun və oyunlaşdırma nəzəriyyələri sintez edilir; memarlıq obyektində statikliyi qıran dinamik, interaktiv "oyun məkanı" konsepti izah olunur. YinYang Harmony layihəsi isə nəzəriyyəni praktikada bir araya gətirən haltədqiqatdır: bu layihə məkanında texnoloji (Yang) və təbii (Yin) elementlərin qarşılıqlı tamamlanması, ekoloji-biofilik strategiyalar və interaktiv dizayn vasitəsilə dinamik tarazlıq təmin edir. Müqayisəli analizdə Tencent Seafront Towers və Epic Games Campus kimi nümunələr araşdırılaraq humanist və texnoloji yanaşmaların müxtəlifliyi müzakirə edilir. Tədqiqat nəticələri göstərir ki, oyun mexanikalarının memarlıqda tətbiqi istifadəçilərin məkanla bağlılığını və emosional məmnunluğunu artırır, Yin-Yang əsaslı məkan təşkili isə psixoloji rahatlıq və yaradıcılıq potensialını gücləndirir. Bu iş oyun dizaynı və məkan nəzəriyyəsini sintez edən yeni nəzəri model təklif edir, memarlıq elminə konseptual və metodoloji töhfə verir və Azərbaycan memarlığı üçün innovativ perspektivlər açır.
Açar sözlər: *Memarlıq harmoniyası, oyunlaşdırılmış memarlıq, məkan interaktivliyi, Yin-Yang fəlsəfəsi, biofilik dizayn*

INTEGRATION OF ARCHITECTURE AND GAMING: ANALYSIS OF SPATIAL HARMONY IN THE YINYANG HARMONY CONCEPT

Abstract: This article investigates the relationship between architecture and game design through theoretical and analytical methods, and proposes a new model of spatial harmony based on the "YinYang Harmony" project grounded in Yin–Yang philosophy. The introduction critically examines the impact of technological transformations on the architectural environment, particularly in the context of integrating game elements into spatial design. Within the theoretical framework, concepts of architectural harmony

developed by theorists such as Venturi, Jencks, Norberg-Schulz, and Pallasmaa are synthesized with game theory and gamification approaches, leading to the formulation of a dynamic and interactive "playful space" that disrupts the static nature of architectural objects. The YinYang Harmony project functions as a case study in which theoretical principles are materialized in spatial practice. Within this project, technological (Yang) and natural (Yin) elements are configured as complementary forces, generating a dynamic equilibrium through ecological–biophilic strategies and interactive design mechanisms. A comparative analysis involving projects such as Tencent Seafront Towers and the Epic Games Campus highlights the divergence between technological and human-centered approaches, emphasizing the significance of philosophical depth in architectural production. The findings indicate that the integration of game mechanics into architectural environments enhances user engagement, emotional attachment, and experiential satisfaction, while a Yin–Yang-based spatial organization contributes to psychological well-being and creative potential. The study proposes a novel theoretical model that synthesizes game design and spatial theory, offering both conceptual and methodological contributions to architectural discourse and opening new perspectives for contemporary architectural practice, particularly within the Azerbaijani context.

Keywords: *Architectural harmony, playful architecture, spatial interactivity, Yin–Yang philosophy, biophilic design*

I. Giriş

Müasir dövrün texnoloji inkişafı ilə oyun sənayesi bəşəriyyətin mədəni, sosial və iqtisadi həyatında dərin izlər buraxmaqdadır. Artıq oyunlar sadəcə əyləncə vasitəsi olaraq qəbul edilmir; onlar interaktiv öyrənmə, yaradıcılıq, problem həll etmə bacarıqları və psixoloji balansın formalaşdırılması kimi çoxşaxəli funksiyaları özündə birləşdirən mürəkkəb sosial-mədəni fenomenə çevrilmişdir. Eyni zamanda, memarlıq da tarix boyu insanların həyat tərzini, düşüncə tərzini və dəyər sistemlərini əks etdirən ən fundamental mədəniyyət göstəricilərindən biri olmuşdur. Bu iki sahənin qovuşması – memarlıq məkanında oyun fəlsəfəsinin və oyun dizayn prinsiplərinin tətbiqi – nəinki yeni estetik formaların yaranmasına, həm də insan-məkan münasibətlərinin keyfiyyətcə dəyişməsinə səbəb olan innovativ bir istiqamət kimi formalaşmaqdadır.

Beynəlxalq memarlıq nəzəriyyəsində son onillikdə "oyunlaşdırılmış memarlıq" (playful architecture) anlayışı getdikcə daha çox diqqət mərkəzinə çevrilmişdir. Danimarka, Niderland, Cənubi Koreya və Yaponiya kimi ölkələrdə həm akademik tədqiqatlar, həm də praktik layihələr bu istiqamətdə ciddi irəliləyişlər əldə etmişdir. Lakin Azərbaycan memarlıq mühitində bu cür yanaşmalar hələ ilkin mərhələdədir. Ənənəvi memarlıq paradiqmaları hələ də forma və funksiyanın instrumental əlaqəsinə yönəlsə də, müasir dünya memarlığı artıq emosional və təcrübə yönümlü məkan dizaynı mərhələsinə keçmişdir. Məhz bu kontekstdə təqdim olunan tədqiqat, memarlıq və oyun arasındakı əlaqəni nəzəri və analitik baxımdan dərindən araşdırmaq, həmçinin Azərbaycan memarlıq mühitində bu istiqamətin inkişafı üçün konseptual baza yaratmaq məqsədi daşıyır.

Tədqiqatın mərkəzində müəllif tərəfindən işlənmiş "YinYang Harmony" ofis binası layihəsi durur. Bu layihə qədim Çin fəlsəfəsinin Yin və Yang konsepsiyasından ilhamlanaraq, müasir memarlıqda balans, qarşılıqlı asılılıq və insan rifahı kimi anlayışları ön plana çıxarır. Məqalənin əsas elmi məqsədi oyun məntiqinin memarlıq məkanında harmoniyanın formalaşmasına təsirini bu layihə nümunəsində analitik şəkildə tədqiq etmək, həmçinin oyunlaşdırılmış memarlığın nəzəri-metodoloji əsaslarını Azərbaycan kontekstində işləyib hazırlamaqdır.

II. Nəzəri Çərçivə və Konseptual Yanaşma

Memarlıq harmoniyası anlayışı klassik nəzəriyyələrdən postmodern yanaşmalara qədər uzanan zəngin bir təkamül yolu keçmişdir. Robert Venturi "Memarlıqda Mürəkkəblik və Ziddiyyət" əsərində modernizmin sadəliyinə və purizminə qarşı çıxaraq, həqiqi memarlıq harmoniyasının ziddiyyətli elementlərin qarşılıqlı əlaqəsindən doğduğunu irəli sürmüşdür. Venturiyə görə, "ya bu, ya da o" (either-or) məntiqi ilə idarə olunan sadə harmoniya anlayışı həyatın özünün mürəkkəb təbiətini əks etdirmir; bunun əvəzinə, "həm də, həm də" (both-and) prinsipi əsasında qurulan mürəkkəb harmoniya daha dərin və mənalı memarlıq təcrübəsi yaradır. Bu fikir Yin-Yang fəlsəfəsinin əsas prinsipi olan ziddiyyətlərin qarşılıqlı tamamlanması ideyası ilə sıx bağlıdır.

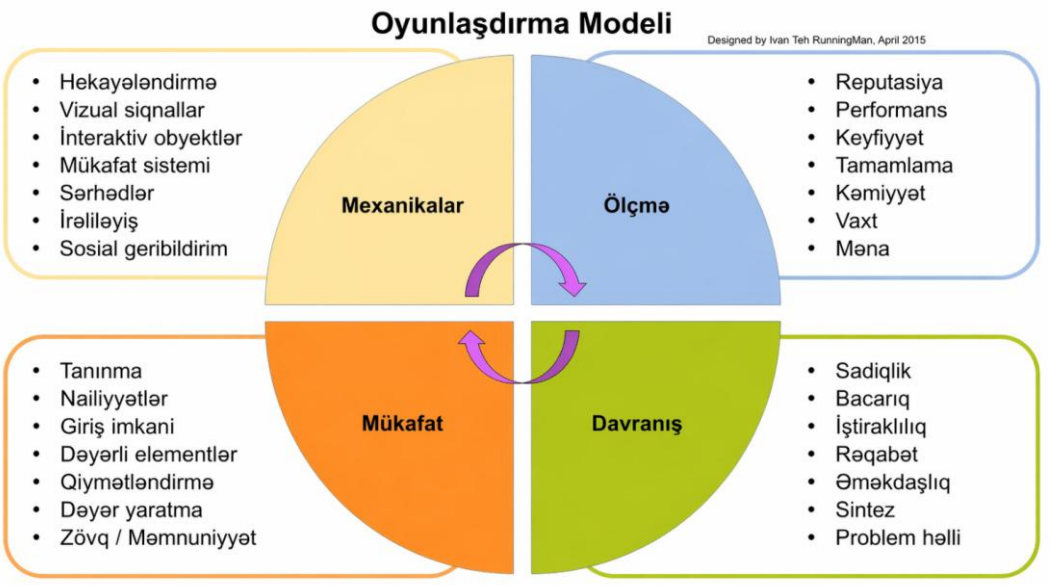
Charles Jencks postmodern memarlıq nəzəriyyəsində semiotik yanaşmanı inkişaf etdirərək, memarlıq formalarının yalnız funksional deyil, həm də mədəni mənalar daşıdığını vurğulamışdır. Jencks-in "ikiqat

kodlaşdırma" (double coding) konsepsiyası – memarlığın eyni zamanda həm peşəkar mütəxəssislərə, həm də geniş ictimaiyyətə müraciət etməsi – oyunlaşdırılmış memarlığın əsas xüsusiyyətlərindən birini əvvəlcədən formalaşdırmışdır. Oyun mədəniyyəti də məhz bu cür çoxqatlı məna istehsalı mexanizmi ilə işləyir: oyunlar eyni vaxtda həm oyunçuya, həm dizaynerə, həm də müşahidəçiyə fərqli mənalar təklif edir.

Christian Norberg-Schulz-un "genius loci" (yerin ruhu) konsepsiyası memarlıq məkanlarının insanlarda yer hissi yaratmaq qabiliyyətini nəzəri cəhətdən əsaslandırmışdır. Norberg-Schulz-a görə, hər bir məkan özünəməxsus identikliyə malikdir və bu identiklik insanın məkana emosional bağlılığının əsasını təşkil edir. Oyunlaşdırılmış memarlıq kontekstində bu ideya xüsusi əhəmiyyət kəsb edir, çünki oyun mexanikaları məkanın identikliyinin formalaşmasında aktiv rol oynaya bilər: istifadəçi məkanı tədricən kəşf etdikcə, onun strukturu ilə qarşılıqlı münasibətə girdikcə, məkanın "ruhu" da dinamik şəkildə inkişaf edir.

Juhani Pallasmaa "təcəssüm olunmuş təcrübə" (embodied experience) konsepsiyasını inkişaf etdirərək, memarlığın yalnız vizual deyil, həm də taktil, eşitmə, hətta qoxu və proprioseptiv vasitələrlə qavranıldığını vurğulamışdır. Pallasmaa-ya görə, müasir rəqəmsal mədəniyyət və virtual texnologiyalar bədən təcrübəsini zəiflədir, insanı dünyadan uzaqlaşdırır; memarlığın əsas vəzifələrindən biri məhz bu tarazlığı bərpa etmək, bədənin məkanla canlı əlaqəsini yenidən qurmaqdır. Oyunlaşdırılmış memarlıq bu baxımdan maraqlı bir potensiala malikdir: oyun mexanikaları istifadəçinin bədən hərəkətlərini stimullaşdırmaqla, onun məkanla aktiv qarşılıqlı əlaqəsini təmin edə bilər.

Oyun nəzəriyyəsi sahəsində Jesper Juul oyunu "real və qeyri-real arasında yarı-real" (half-real) bir fenomen kimi təyin etmişdir. Bu tərif oyun məkanlarının ontoloji statusunu dərk etmək üçün əsas əhəmiyyət kəsb edir: oyun məkanları eyni vaxtda həm fiziki qaydalara (real), həm də oyun qaydalarına (qeyri-real) tabedir. Bu ikili ontologiya memarlıq məkanlarına da tətbiq edilə bilər: oyunlaşdırılmış memarlıq məkanı eyni vaxtda həm funksional iş mühiti (real), həm də oyun təcrübəsinin səhnəsi (qeyri-real) kimi fəaliyyət göstərir.



Şəkil 1. "Oyunlaşdırma" (gamification) konsepsiyası

"Oyunlaşdırma" (gamification) konsepsiyası Deterding və başqaları tərəfindən "oyun olmayan kontekstlərdə oyun elementlərinin istifadəsi" kimi təyin edilmişdir. Memarlıq kontekstində oyunlaşdırma, məkanın istifadəçi ilə interaktiv əlaqəsini gücləndirən dizayn strategiyalarını əhatə edir. Bu strategiyalara müsabiqə mexanizmləri (məsələn, müxtəlif iş qrupları arasında məkanın istifadə intensivliyi əsasında yarış), əməkdaşlıq mexanizmləri (kollektiv problem həllini tələb edən məkan konfiqurasiyaları), çağırış-mükafat mexanizmləri (müəyyən məkan hərəkətlərinin vizual və ya funksional mükafatlarla dəstəklənməsi) daxildir.

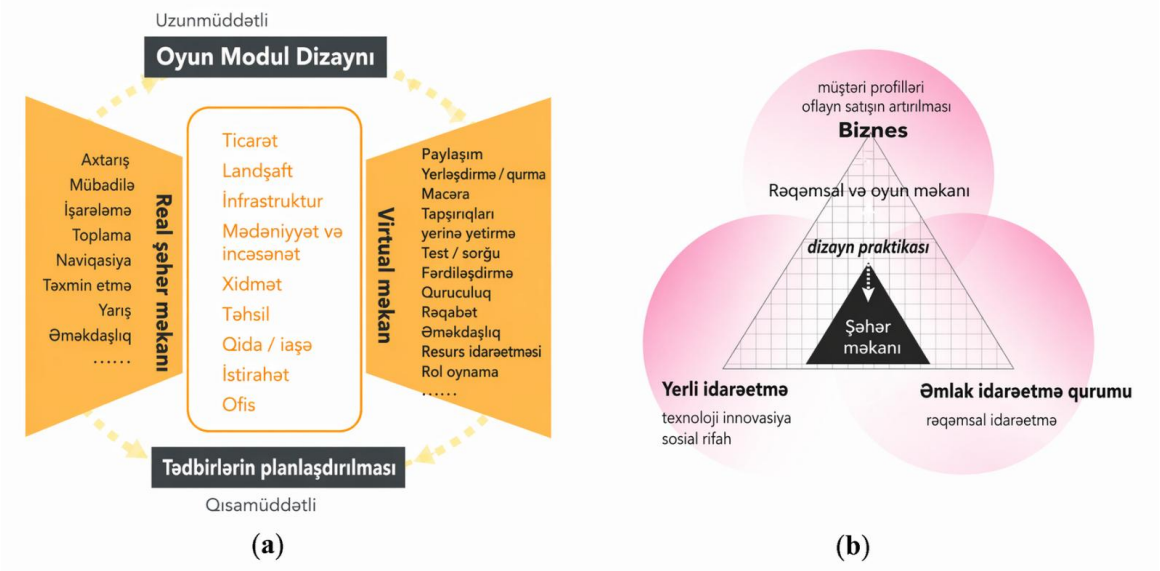
Bu nəzəriyyələrin sintezi tədqiqat üçün üç əsas konseptual sütun müəyyən etməyə imkan verir. Birincisi, memarlıq harmoniyası anlayışı Venturi-nin ziddiyyətli elementlərin qarşılıqlı tamamlanması, Jencks-in semiotik kodlaşdırma, Norberg-Schulz-un genius loci və Pallasmaa-nın təcəssüm olunmuş təcrübə

nəzəriyyələrinin inteqrasiyası kimi başa düşülməlidir. İkincisi, oyunlaşdırılmış memarlıq (playful architecture) oyun mexanikalarının məkan dizaynına sistemli tətbiqi kimi təyin edilə bilər. Üçüncüsü, məkan interaktivliyi istifadəçi ilə məkan arasında ikitərəfli əlaqə mexanizmləri kimi anlaşılmalıdır – yəni məkan istifadəçinin hərəkətlərinə reaksiya verir və bu reaksiyalar istifadəçinin sonrakı davranışını formalaşdırır.

III. Memarlıq və Oyun Sintezinin Analitik Şərhi

Memarlıq və oyun anlayışlarının birləşməsi müasir cəmiyyətin inkişaf trayektoriyasında mühüm intellektual istiqamət kimi formalaşmaqdadır. Hər iki sahə insanın yaradıcılıq, təcrübə və emosional potensialını reallaşdıran mədəniyyət formalarıdır. Lakin bu birləşmənin dərinliklərini anlamaq üçün onların hər birinin mahiyyətini daha dərindən təhlil etmək zəruridir.

Oyun anlayışı insanın zehni və psixoloji fəaliyyətini aktivləşdirir, onun təxəyyül gücünü, qərarvermə qabiliyyətini və emosional əlaqələrini inkişaf etdirir. Johan Huizinga-nın "Homo Ludens" (oynayan insan) konsepsiyasına görə, oyun mədəniyyətin yaranmasının əsasında duran fundamental fəaliyyət formasıdır. Oyun vasitəsilə insan real dünyanın məhdudiyyətlərindən müvəqqəti azad olur, yeni identikliklər sınayır, risklər alır və bu prosesdə həm özünü, həm də ətraf mühiti dərk edir. Memarlıq isə bu prosesin maddi və məkan ifadə vasitəsidir. Başqa sözlə, memarlıq oyun üçün kontekst yaradır, oyun isə bu kontekstdə insanın təcrübəsini və sosial qarşılıqlı münasibətlərini formalaşdırır. Bu baxımdan, oyun və memarlıq arasındakı əlaqə sadəcə estetik deyil, həm də psixoloji, sosial və fəlsəfi bir təbiətə malikdir.



Şəkil 2. Oyun Modul Dizaynı

Oyun məntiqinin məkan təcrübəsinə təsiri üç əsas səviyyədə təhlil edilə bilər. Birinci səviyyə qavrayış səviyyəsidir: oyun mexanikaları (məsələn, kəşf və gizlilik) istifadəçinin məkanı qavrayış tərzini dəyişdirir. Ənənəvi memarlıq məkanında istifadəçi passiv qavrayıcı mövqeyindədirsə, oyunlaşdırılmış məkanda o, aktiv kəşfiyyatçı rolunu oynayır. İkinci səviyyə davranış səviyyəsidir: oyun mexanikaları istifadəçinin məkan daxilində hərəkət trayektoriyasını, dayanma müddətini, sosial qarşılıqlı əlaqələrinin intensivliyini formalaşdırır. Üçüncü səviyyə emosional səviyyədir: oyun təcrübəsi istifadəçinin məkana qarşı emosional münasibətini – bağlılıq, sahiblik, maraq, məmnuniyyət kimi hisslərini – müəyyən edir.

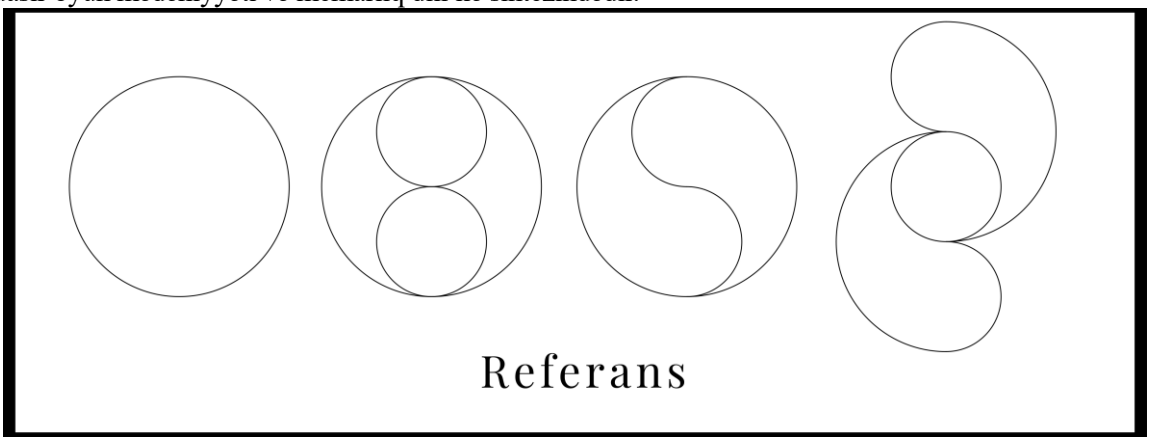
Müasir memarlıq nəzəriyyəsində "playful architecture" anlayışı məhz bu üç səviyyəli təsir mexanizmini nəzərə alaraq formalaşmışdır. Bu konsepsiya memarlığı yalnız funksional obyekt kimi deyil, həm də dinamik, dəyişkən və istifadəçi ilə qarşılıqlı əlaqədə olan bir sistem kimi dəyərləndirir. Burada memarlıq məkanının məqsədi yalnız fiziki sığınacaq və ya iş mühiti təmin etmək deyil, həm də insanın emosional və yaradıcılıq potensialını stimullaşdırmaqdır. Oyun məntiqi (game logic) bu sistemdə mərkəzi rol oynayır – istifadəçi məkanı tədricən kəşf edir, onun strukturu ilə qarşılıqlı münasibətə girir və nəticədə hər dəfə fərqli təcrübə yaşayır. Bu, məkanın statik obyektdən dinamik sistemə çevrilməsi deməkdir.

Bu çevrilmənin ən mühüm nəticələrindən biri məkanın "müqavimət" (resistance) xüsusiyyətidir. Ənənəvi memarlıq məkanı istifadəçiyə minimal müqavimət göstərir – onun divarları hərəkətə mane olmur,

işıqlandırması passivdir, temperaturu sabitdir. Oyunlaşdırılmış məkan isə aktiv müqavimət göstərir: o, istifadəçinin hərəkətlərinə reaksiya verir, onu çətinliklərlə qarşılaşdırır, həll etməsi üçün problemlər təqdim edir. Məhz bu müqavimət oyun təcrübəsinin əsasını təşkil edir və məkanın "canlı" kimi qavranılmasına səbəb olur.

IV. YinYang Harmony Layihəsinin Analizi

"YinYang Harmony" layihəsinin memarlıq ideyası qədim Çin fəlsəfəsinin əsas prinsiplərindən biri olan Yin və Yang konsepsiyasına əsaslanır. Yin və Yang kainatdakı bütün hadisələrin və varlıqların bir-birini tamamlayan ziddiyyətlər əsasında mövcud olduğunu ifadə edir. Bu fəlsəfədə harmoniya qarşılıqlı asılılığın nəticəsidir – yəni işıq və qaranlıq, hərəkət və sakitlik, texnologiya və təbiət, oyun və reallıq arasında tarazlıq yaratmaqla bütövlük əldə edilir. Layihənin konseptual yeniliyi məhz bu qədim fəlsəfi prinsipin müasir oyun mədəniyyəti və memarlıq dili ilə sintezindədir.



Şəkil 3. YinYang Harmony lahiyəsinin referans forması

Memarlıq baxımından bu ideya "YinYang Harmony" binasının həm zahiri formalarında, həm də daxili məkan strukturunda təcəssüm olunur. Binanın bir hissəsində dinamik, texnoloji və rəqəmsal elementlər üstünlük təşkil edir – bu, oyun dünyasının enerjisini, innovasiyanı və sürəti simvollaşdırır. Digər hissə isə təbiilik, sakitlik və bioloji sistemlərlə əlaqələndirilmişdir – bu, insanın psixoloji sabitliyini və təbii mühitlə harmoniyasını əks etdirir. Beləliklə, layihə texnologiya və təbiətin, süni və bioloji elementlərin, rəqəmsal və fiziki məkanların bir-birini tamamlayan harmoniyasını yaradır. Venturi-nin "həm də, həm də" prinsipi baxımından bu, oyunlaşdırılmış memarlığın ən parlaq təzahürlərindən biridir.



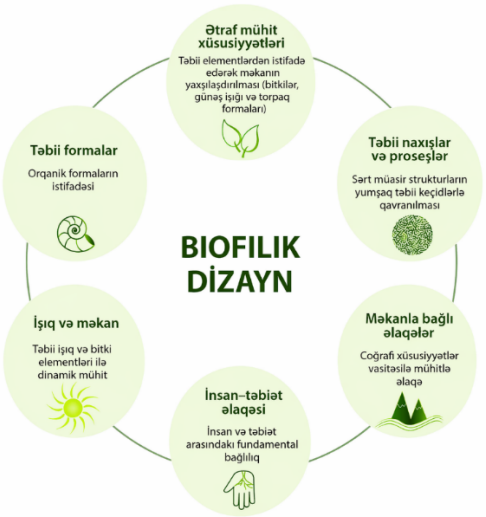
Şəkil 4. YinYang Harmony lahiyəsi. Müəllif : Şahin Cəlilov

Layihənin məkan zoninqi üç əsas səviyyədə təşkil olunmuşdur ki, bu da istifadəçi təcrübəsinin mürəkkəb və çoxqatlı olmasını təmin edir. Birinci səviyyə – ictimai zona – binanın ətraf mühitini əhatə edir və uşaqlar üçün oyun parkları, gənclər və böyüklər üçün idman meydançaları, oturacaqlar və geniş gəzinti zolaqlarından ibarətdir. Bu zonanın funksiyası Norberg-Schulz-un genius loci konsepsiyası baxımından "yerin ruhunu" formalaşdıran kollektiv yaddaş məkanı yaratmaqdır. İkinci səviyyə – iş zonası – binanın daxili məkanını təşkil edir və oyun studiyaları, inkişaf otaqları, interaktiv laboratoriyaları əhatə edir. Bu zonanın təşkili açıq plan (open plan) prinsipi əsasında qurulmuş, lakin müxtəlif funksiyalar üçün yarı-açıq nişlər (alcoves) yaradılmışdır ki, bu da həm fərdi konsentrasiyanı, həm də komanda işini dəstəkləyir. Üçüncü səviyyə – inteqrativ zona – iş və istirahət, texnologiya və təbiət arasında keçid rolunu oynayır. Burada bitki sistemləri, su elementləri və rəqəmsal interaktiv panellər eyni məkanda birləşdirilmişdir ki, bu da Pallasmaa-nın təcəssüm olunmuş təcrübə nəzəriyyəsinə görə, insanın məkana emosional bağlılığını gücləndirir.

Layihənin funksional təşkilində oyun mexanikaları ilə məkan məntiqi arasında sistemli əlaqələr qurulmuşdur. Kəşf (exploration) mexanikası məkanın açıq plan quruluşu və vizual keçidləri vasitəsilə reallaşdırılır – istifadəçi məkanı tədricən kəşf edir, hər dəfə yeni perspektivlər və gizli guşələr aşkar edir. Çağırış (challenge) mexanikası problem həllini tələb edən məkan konfiqurasiyaları – məsələn, mürəkkəb sirkulyasiya sistemi və ya interaktiv laboratoriyalar – vasitəsilə təmin edilir. Mükafat (reward) mexanikası estetik və funksional "məkan bonusları" – gizli istirahət guşələri, mənzərə terrasları, xüsusi işıqlandırma effektləri – şəklində təzahür edir. Əməkdaşlıq (cooperation) mexanikası açıq studiyalar və çoxfunksiyalı zal vasitəsilə dəstəklənir. Reaksiya (feedback) mexanikası isə sensor sistemlər – işıqlandırma və iqlim parametrlərinin istifadəçi hərəkətinə uyğun dəyişməsi – vasitəsilə həyata keçirilir.

Layihənin ekoloji strategiyası üç əsas komponentdən ibarətdir və bu komponentlərin hər biri oyunlaşdırılmış memarlığın biofilik aspektlərini təşkil edir. Enerji səmərəliliyi komponentinə elektriklə işləyən nəqliyyat vasitələri üçün doldurma stansiyaları, velosiped dayanacaqları və günəş panelləri daxildir. Biosistem inteqrasiyası komponenti binanın daxilində bitki divarları, su hovuzu və təbii havalandırma kanallarını əhatə edir. Bu elementlər yalnız estetik dəyər daşımır, eyni zamanda havanın təmizlənməsinə, rütubətin tənzimlənməsinə və istifadəçinin psixoloji rifahına birbaşa təsir göstərir. Biofilik prinsiplər komponenti isə Kellert tərəfindən müəyyən edilmiş biofilik dizayn prinsiplərinə – təbii işığın maksimum istifadəsi, təbii materialların üstünlüyü, təbiət mənzərələrinə vizual əlaqə – uyğun olaraq inkişaf etdirilmişdir.

Elmi tədqiqatlar göstərir ki, bioloji sistemlərin və təbii elementlərin iş mühitinə inteqrasiyası insanın zehni konsentrasiyasını, yaradıcı düşünmə qabiliyyətini və stress müqavimətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Ulrich-in (1984) xəstəxana otaqlarında təbiət mənzərəsinin sağalma prosesinə təsirini tədqiq edən klassik işindən tutmuş, Kellert-in (2008) biofilik dizaynın iş məhsuldarlığına təsirini araşdıran tədqiqatlarına qədər, geniş empirik material bu əlaqəni təsdiq edir. "YinYang Harmony" layihəsində bu prinsiplərin tətbiqi memarlığın yalnız texniki və funksional deyil, həm də psixoloji və davranışsal dəyərlər daşıdığını göstərir.

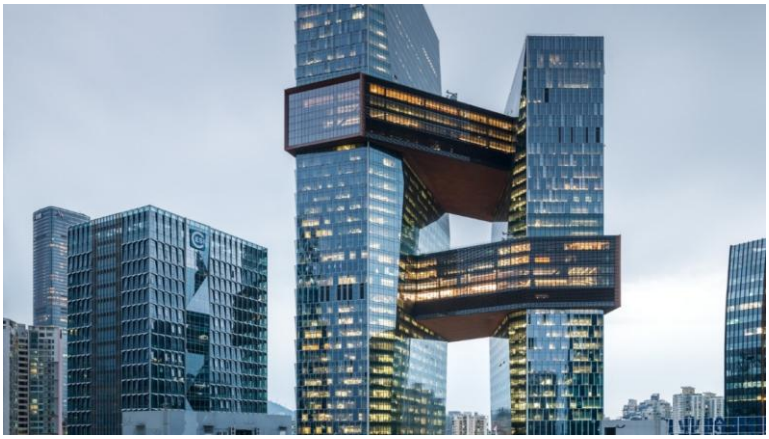


Şəkil 5. Biofilik Dizayn

V. Müqayisəli və Tənqidi Müzakirə

"YinYang Harmony" layihəsinin konseptual yeniliyini daha dərindən dərk etmək üçün onu beynəlxalq miqyasda tanınmış oxşar layihələrlə müqayisə etmək faydalıdır. Bu müqayisə həm layihənin fərqləndirici xüsusiyyətlərini, həm də ümumi memarlıq tendensiyaları kontekstində onun yerini müəyyən etməyə imkan verir.

Tencent Seafront Towers (OMA tərəfindən dizayn edilmiş, 2017) oyun sənayesi üçün tikilmiş ən böyük kampuslardan biridir. Bu layihə ilə "YinYang Harmony" arasında bir sıra oxşarlıqlar mövcuddur: hər iki layihə oyun sənayesi mütəxəssisləri üçün nəzərdə tutulmuşdur, hər ikisi açıq plan prinsipinə əsaslanır, hər ikisi iş və istirahət zonalarını birləşdirir. Lakin əsas fərqlər daha dərin və konseptual xarakter daşıyır. Tencent Seafront Towers əsasən texnoloji səmərəliliyə – server infrastrukturu, lojistika, enerji idarəetməsi – diqqət yetirir, "YinYang Harmony" isə psixoloji rifahı prioritetləşdirir. Tencent-də təbiət elementləri əsasən xarici mənzərə kimi mövcuddur, "YinYang Harmony"-də isə binanın daxilinə inteqrasiya olunmuşdur. Tencent-in memarlıq dili neofuturist və texnoloji dominantdır, "YinYang Harmony" isə Yin-Yang simvolizminə əsaslanan fəlsəfi dilə malikdir. Bu müqayisə göstərir ki, "YinYang Harmony" texnoloji səmərəlilikdən daha çox humanist dəyərləri – insan rifahı, emosional balans, fəlsəfi dərinlik – ön plana çıxarır.



Şəkil 6. Tencent Seafront Towers (OMA tərəfindən dizayn edilmiş, 2017)

Epic Games Campus (ABŞ, 2019) oyun inkişafı üçün interaktiv mühit yaratmaq məqsədi daşıyır. Bu layihə ilə "YinYang Harmony" arasında interaktiv elementlərə (sensor sistemlər, rəqəmsal panellər) və komanda işini dəstəkləyən məkanlara diqqət yetirilməsi baxımından oxşarlıqlar vardır. Lakin fərqli cəhətlər daha çoxdur. Epic Games Campus daha çox "oyun mədəniyyətini" əks etdirən estetik dilə – parlaq rənglər, oyun qrafikası elementləri, qeyri-adi formalar – malikdir, "YinYang Harmony" isə fəlsəfi konsepsiyaya əsaslanan daha sakit və tarazlı bir dilə sahibdir. Epic Games-də təbiət inteqrasiyası minimaldır, "YinYang Harmony"-də isə əsas dizayn prinsipidir. Epic Games-in məkan təşkili daha sıx və intensivdir, "YinYang Harmony" isə yayılmış (dispersed) plana malikdir. Bu müqayisə "YinYang Harmony"-nin oyun mədəniyyətini təkcə estetik səviyyədə deyil, konseptual və fəlsəfi səviyyədə əks etdirdiyini göstərir.



Şəkil 7. Epic Games Campus (ABŞ, 2019)

Bu müqayisələrin işığında "YinYang Harmony" layihəsinin beynəlxalq kontekstdə iki əsas yenilik təklif etdiyi söylənə bilər. Birincisi, humanist yanaşma – layihə texnoloji səmərəlilikdən daha çox psixoloji rifaha, emosional balansa və istifadəçi təcrübəsinin keyfiyyətinə diqqət yetirir. İkincisi, fəlsəfi dərinlik – layihə oyun mədəniyyətini təkcə vizual və funksional səviyyədə deyil, qədim fəlsəfi ənənələrlə dialoqa girərək konseptual səviyyədə əks etdirir. Bu iki xüsusiyyət "YinYang Harmony"-ni sırf kommersiya məqsədli oyun kampuslarından fərqləndirir və ona daha universal, humanist bir memarlıq modeli statusu verir.

VI. Elmi Töhfə

Tədqiqatın əsas nəticələrini üç əsas istiqamətdə ümumiləşdirmək olar. Birinci istiqamət oyun məntiqi ilə məkan harmoniyası arasındakı əlaqənin nəzəri əsaslandırılmasıdır. Təhlil göstərir ki, oyun mexanikalarının memarlıq məkanına inteqrasiyası istifadəçinin məkan interaktivliyini, emosional bağlılığını və sosial qarşılıqlı əlaqələrini keyfiyyətcə dəyişir. Bu dəyişim üç səviyyədə baş verir: qavrayış səviyyəsində (istifadəçi passiv qavrayıcıdan aktiv kəşfiyyatçıya çevrilir), davranış səviyyəsində (istifadəçinin məkan daxilində hərəkət trayektoriyası və sosial qarşılıqlı əlaqələri dəyişir) və emosional səviyyədə (istifadəçinin məkana qarşı bağlılıq, sahiblik və məmnuniyyət hissləri güclənir).

İkinci istiqamət Yin-Yang fəlsəfəsinin memarlıq interpretasiyasının konkret formalarının müəyyən edilməsidir. Təhlil göstərir ki, bu fəlsəfi prinsipin memarlıqda tətbiqi üç növ harmonik əlaqə yaradır: məkan səviyyəsində tarazlıq (bir zona texnoloji, digəri təbii), funksional səviyyədə tarazlıq (iş və istirahət zonalarının qarşılıqlı tamamlanması) və təcrübə səviyyəsində tarazlıq (dinamizm və sakitlik, intensivlik və relaksasiya arasında keçidlər). Bu üç səviyyəli tarazlıq mexanizmi "YinYang Harmony" layihəsini sadəcə estetik və ya funksional baxımdan deyil, həm də təcrübəvi baxımdan harmonik bir məkana çevirir.

Üçüncü istiqamət Azərbaycan memarlıq konteksti üçün oyunlaşdırılmış memarlığın əhəmiyyətinin müəyyən edilməsidir. Tədqiqat göstərir ki, Azərbaycanda bu sahə hələ ilkin inkişaf mərhələsindədir. Yerli memarlıq studiyaları və universitetlər əsasən ənənəvi modelləşdirmə və render üsulları ilə kifayətlənirlər, halbuki beynəlxalq təcrübədə oyun mühərrikləri və oyun mexanikaları vasitəsilə memarlıq ideyasının təcrübə səviyyəsində sınanması həm dizayn keyfiyyətini, həm də emosional əlaqəni gücləndirir. "YinYang Harmony" layihəsi bu baxımdan Azərbaycanda oyun fəlsəfəsinin memarlıq dilinə çevrilməsi istiqamətində pioner nümunədir.

Tədqiqatın nəzəri töhfəsi üç əsas komponentdən ibarətdir. Birincisi, oyun məntiqi ilə memarlıq harmoniyası arasında əlaqəni sistemli şəkildə nəzəriləşdirən ilk cəhdlərdən biridir. İkincisi, "playful architecture" anlayışının Azərbaycan memarlıq nəzəriyyəsinə introduksiyasını təmin edir və bu anlayışın yerli kontekstdə işlədilməsi üçün konseptual baza yaradır. Üçüncüsü, Venturi, Jencks, Norberg-Schulz və Pallasmaa kimi memarlıq nəzəriyyəçilərinin ideyalarını oyun araşdırmaları (game studies) və gamification nəzəriyyəsi ilə sintez edərək, memarlıq nəzəriyyəsinin ənənəvi anlayışlarının (harmoniya, yerin ruhu, təcəssüm olunmuş təcrübə) oyunlaşdırılmış memarlıq kontekstində yenidən interpretasiyasını təklif edir.

Tədqiqatın metodoloji töhfəsi isə oyunlaşdırılmış memarlığın təhlili üçün dörd meyardan ibarət analitik çərçivənin təklif edilməsidir: məkan əlaqəliliyi (spatial connectivity), istifadəçi interaktivliyi (user interaction), təcrübə müxtəlifliyi (experiential diversity) və ekoloji inteqrasiya (environmental integration). Bu çərçivə gələcək tədqiqatlarda digər oyunlaşdırılmış memarlıq layihələrinin müqayisəli təhlili üçün istifadə oluna bilər.

VII. Nəticə

"YinYang Harmony" layihəsi memarlıq və oyun arasında yeni bir əlaqə forması təklif edir. Bu əlaqə sadəcə estetik və ya funksional deyil, fəlsəfi və psixoloji xarakter daşıyır. Layihə göstərir ki, memarlıq artıq yalnız fiziki sığınacaq və ya iş mühiti deyil, həm də emosional, sosial və kognitiv təcrübələrin formalaşdığı interaktiv bir sistemdir. Yin və Yang fəlsəfəsinin memarlıqda tətbiqi, müasir insanın həyatında ziddiyyət və qarşılıqlı tamamlanma anlayışlarını simvolik və funksional formada əks etdirir. Bina həm texnoloji tərəqqi ilə təbiiliyin, həm də iş fəaliyyəti ilə yaradıcılıq azadlığının birləşdiyi məkan kimi çıxış edir.

Azərbaycan memarlığı üçün bu cür konseptual layihələr yeni nəzəri istiqamətlərin və praktiki imkanların açılmasına xidmət edə bilər. Hal-hazırda ölkədə oyun əsaslı dizayn və interaktiv memarlıq sahəsində ciddi elmi və praktik araşdırmalar az olsa da, "YinYang Harmony" kimi layihələr bu sahəyə nəzəri və tətbiqi marağın artması üçün stimul yaradır. Bu cür konseptual layihələr həm gənc memarların, həm də oyun dizaynerlərinin yaradıcı düşüncə sərhədlərini genişləndirə, eyni zamanda Azərbaycan memarlığını beynəlxalq miqyasda innovativ yanaşmalar səviyyəsinə qaldıra bilər.

Gələcək tədqiqatlar üçün bir neçə perspektiv istiqamət müəyyən etmək olar. Birincisi, "YinYang Harmony" və ya oxşar layihələrdə istifadəçi təcrübəsinin empirik ölçülməsi – sorğular, davranış analizi, psixofizioloji ölçmələr – bu sahədə nəzəri nəticələrin empirik əsaslandırılmasını təmin edə bilər. İkincisi, müxtəlif mədəni kontekstlərdə (Şərq-Qərb, inkişaf etmiş-inkişaf etməkdə olan ölkələr) oyunlaşdırılmış memarlıq layihələrinin müqayisəli təhlili bu yanaşmanın mədəni universalizmini və ya lokal xüsusiyyətlərini aşkar edə bilər. Üçüncüsü, oyun mühərrikləri (Unreal Engine, Unity) vasitəsilə virtual istifadəçi təcrübəsinin simulyasiyası və analizi, layihələrin inşa edilməzdən əvvəl sınaqdan keçirilməsi imkanı yarada bilər. Dördüncüsü, Azərbaycan memarlıq təhsilində oyun əsaslı dizayn yanaşmalarının tətbiqi üçün strategiyaların işlənməsi bu sahədə gələcək mütəxəssislərin hazırlanmasına xidmət edə bilər.

Nəticə etibarilə, "YinYang Harmony" layihəsi yalnız bir ofis binası deyil, oyun, memarlıq, təbiət və insan arasında harmoniyanın elmi və estetik ifadəsi kimi qəbul olunmalıdır. Layihə müasir şəhər həyatında yeni sosial model yaradır: burada memarlıq məkan deyil, hiss, təcrübə və qarşılıqlı əlaqə fenomeninə çevrilir. Bu konsepsiya, gələcəkdə həm Azərbaycan memarlığında, həm də beynəlxalq miqyasda oyun əsaslı dizayn və biofilik urbanizm istiqamətlərinin inkişafı üçün nəzəri və praktiki baza yarada bilər.

Ədəbiyyat

1. Venturi, R. (1966). Complexity and Contradiction in Architecture. The Museum of Modern Art.
2. Jencks, C. (1977). The Language of Post-Modern Architecture. Rizzoli.
3. Norberg-Schulz, C. (1980). Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture. Rizzoli.
4. Pallasmaa, J. (2005). The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses. Wiley.
5. Huizinga, J. (1949). Homo Ludens: A Study of the Play-Element in Culture. Routledge.
6. Juul, J. (2005). Half-Real: Video Games between Real Rules and Fictional Worlds. MIT Press.
7. Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining "gamification". Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference, 9-15.
8. Kellert, S. R. (2008). Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life. Wiley.
9. Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. Science, 224(4647), 420-421.
10. Hvejsel, M. F. (2017). Playful architecture: A design approach for interactive spaces. Architectural Design, 87(6), 82-89.
11. Nitsche, M. (2008). Video Game Spaces: Image, Play, and Structure in 3D Worlds. MIT Press.
12. McGonigal, J. (2011). Reality is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World. Penguin Press.
13. Salen, K., & Zimmerman, E. (2004). Rules of Play: Game Design Fundamentals. MIT Press.
14. Alexander, C. (1977). A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction. Oxford University Press.
15. Lefebvre, H. (1991). The Production of Space. Blackwell.
16. Tuan, Y. F. (1977). Space and Place: The Perspective of Experience. University of Minnesota Press.
17. Carless, S. (2019). Gaming and Architecture: The Spatial Logic of Video Games. Routledge.
18. Klastrup, L. (2018). The poetics of game spaces: Towards a new spatial theory of games. Game Studies, 18(2).
19. Pearson, C. (2021). From blueprints to pixels: The synergy of architecture and video games. Journal of Architectural Education, 75(1), 34-48.
20. Moloney, J. (2019). Integrating BIM and gaming for real-time interactive architectural visualization. Automation in Construction, 98, 124-136.
21. Gee, J. P. (2007). What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy. Palgrave Macmillan.
22. Jenkins, H. (2006). Convergence Culture: Where Old and New Media Collide. New York University Press.
23. Pallasmaa, J. (2009). The Thinking Hand: Existential and Embodied Wisdom in Architecture. Wiley.
24. Bloomer, K. C., & Moore, C. W. (1977). Body, Memory, and Architecture. Yale University Press.
25. Rasmussen, S. E. (1959). Experiencing Architecture. MIT Press.

MÜQƏDDƏS YELİSEY KİLSƏSİNİN TARİXİ VƏ MEMARLIQ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Murad Müftəliyev
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat fakültəsi, Şəhərsalma ixtisası,
Bakı, Azərbaycan.
ORCID NO: 0009-0007-1578-7423
murad.mufteliyev.2003@gmail.com (00994) 553261865

Xülasə: Müqəddəs Yelisey Kilsəsi, Fransanın Paris şəhərində yerləşən məşhur dini abidədir. Bu kilsə, Parisin ən önəmli və tarixi əhəmiyyətə malik dini tikililərindən biridir. Kilsə, Parisin 8-ci bölgəsində, Champs-Élysées prospektinin yaxınlığında, 75008 Paris, Fransa ünvanında yerləşir. Kilsənin tarixi 17-ci əsrə dayanır və 1630-cu illərdə inşa edilməyə başlanmışdır. Arxitektura baxımından barok üslubunu təmsil edir və dövrünün ən yaxşı memarlarından olan Ange-Jacques Gabriel tərəfindən dizayn edilmişdir.
Müqəddəs Yelisey Kilsəsinin memarlıq xüsusiyyətləri, onu dövrünün ən zərif və impozant abidələrindən birinə çevirmişdir. Kilsənin fasadı və içərisindəki dizayn xüsusilə barok üslubunun özəlliklərini daşıyır. Daxilindəki rəngarəng pəncərələr, oyma və bəzəkli detallar, həmçinin kilsənin yüksək tavanı və gözəl mozaikalar, memarlıq baxımından xüsusi bir əhəmiyyət daşıyır.
Kilsə, həmçinin Parisin dini həyatında mühüm yer tutur və şəhərin mədəniyyətində böyük rolu olan abidələrdən biridir. O, həm yerli sakinlər, həm də turistlər üçün əhəmiyyətli bir ibadət yeri olaraq fəaliyyət göstərir.
Açar sözlər: *Yelisey, Paris, barok, abidə, memarlıq, Champs-Élysées, kilsə, Fransa.*

GİRİŞ

Müqəddəs Yelisey Kilsəsi, Parisin ən məşhur və tarixi əhəmiyyətə malik dini abidələrindən biri olaraq, şəhərin mədəni və dini irsinin mühüm bir hissəsini təşkil edir. Fransa paytaxtının mərkəzində, Champs-Élysées prospektinin yaxınlığında yerləşən bu kilsə, həm tarixi, həm də memarlıq baxımından unikal xüsusiyyətlərə sahibdir. 17-ci əsrin əvvəllərində inşa edilməyə başlanmış və öz dövrünün ən görkəmli memarlarından olan Ange-Jacques Gabriel tərəfindən dizayn edilmişdir. Kilsə, barok memarlığının incə nümunələrindən biri olmaqla yanaşı, həm də Parisin mədəni və dini həyatında böyük rol oynamışdır.
Müqəddəs Yelisey Kilsəsinin tarixi, Fransanın dini həyatının formalaşmasında mühüm bir mərhələni təmsil edir. Kilsənin inşası, dövrün memarlıq üslubunun inkişafı və Fransa cəmiyyətinin dini baxışları ilə əlaqəlidir. Abidənin inşa olunduğu dövr, Fransa tarixində dinin və monarxiyanın əhəmiyyətli bir yer tutduğu bir vaxtı əhatə edir. Müqəddəs Yelisey Kilsəsi, yalnız bir ibadət yeri kimi deyil, həm də dövrün siyasi və sosial strukturunun bir əksidir.
Kilsənin memarlıq xüsusiyyətləri, xüsusilə onun fasadı və daxili dizaynı, dövrün barok üslubunun əsas elementlərini əks etdirir. Gözəl mozaikalar, bəzəkli pəncərələr, zərif oymalar və yüksək tavanlar, kilsənin memarlıq baxımından qiymətli bir nümunə olmasına səbəb olmuşdur. Bu abidə, yalnız dini məqsədlər üçün istifadə edilməklə qalmamış, həm də turistlər və şəhər sakinləri üçün mədəniyyətin və tarixin bir hissəsi olaraq əhəmiyyətini qorumaqda davam edir.
Müqəddəs Yelisey Kilsəsi, Parisin dini və mədəni həyatında mühüm rol oynayır və şəhərin ən önəmli abidələrindən biri olaraq, ziyarətçiləri həm tarixi, həm də memarlıq baxımından cəlb edir. O, Parisin mədəniyyətindəki yerini və memarlıq ənənələrinin zənginliyini əks etdirən bir simvol olaraq qalır.

TƏHLİL

Müqəddəs Yelisey Kilsəsinin tarixi və memarlıq xüsusiyyətlərinin təhlili, həm dövrün memarlıq üslubunun inkişafını, həm də bu abidənin sosial və dini əhəmiyyətini əhatə edir. Bu kilsə, yalnız bir ibadət yeri olmaqla yanaşı, Fransa mədəniyyətinin və tarixinin bir hissəsi olaraq da özünəməxsus bir yer tutur. Onun inşa edildiyi dövrün tarixi şəraiti və memarlıq üslubunun əks olunması, kilsənin əhəmiyyətini daha da artırır [1].
Müqəddəs Yelisey Kilsəsinin inşası, 17-ci əsrin başlanğıcında Fransada dini və siyasi sistemin güclü olduğu bir dövrə təsadüf edir. Bu dövr, monarxiyanın dini təsirini artırdığı, kilsələrin, abidələrin və digər dini strukturların əhəmiyyətini vurguladığı bir dövr idi. Kilsənin barok üslubunda inşa edilməsi, həmin dövrdə sənət və memarlıqda hökm sürən tendensiyaları və dinin ictimai həyatdakı yerini əks etdirir. Barok memarlığı, zərif və əzəmətli bəzəkləri ilə seçilir və dini abidələrin yüksəkliyi, zənginliyi və gözəlliyi ilə

inananların ruhunu yüksəltməyi məqsəd qoyurdu. Müqəddəs Yelisey Kilsəsi də bu prinsipləri özündə cəmləşdirən bir tikili olaraq, yalnız ibadət məqsədini deyil, həm də dövrün sosial və mədəni dəyərlərini təmsil edir [2].

Memarlıq baxımından, kilsənin fasadı və daxili interyeri barok üslubunun xüsusiyyətlərini tam şəkildə özündə əks etdirir. Yüksək tavanlar, geniş pəncərələr və zərif mozaikalar, həm dini abidə, həm də memarlıq əsəri olaraq kilsənin müstəsna memarlıq keyfiyyətlərini nümayiş etdirir. Kilsənin içindəki oyma və bəzəkli elementlər, dövrün memarlarının və sənətkarlarının yüksək bacarıqlarını və dini inancın estetikaya verdiyi əhəmiyyəti göstərir. Bu cür memarlıq xüsusiyyətləri, kilsənin mənəvi və mədəni dəyərini daha da artırır və onu digər dövr abidələrindən fərqləndirir.

Kilsənin sosial əhəmiyyəti də təhlil edilməlidir. Müqəddəs Yelisey Kilsəsi, yalnız bir ibadət yeri olaraq fəaliyyət göstərmir; o, həm də Parisin mədəniyyətində, xüsusilə də dini həyatında mühüm bir yer tutur. Parisdə yerləşməsi və onun tarixi əhəmiyyəti, kilsənin yalnız dini ziyarətgahlardan biri olmasından daha çox, şəhərin tarixi və sosial həyatında böyük bir yer tutmasına səbəb olmuşdur. Bu abidə, eyni zamanda, şəhərin tarixi inkişafı və mədəni irsinin bir hissəsi olaraq, ziyarətçilərə tarix və mədəniyyət arasında bir körpü rolunu oynayır[]3.

Nəticə olaraq, Müqəddəs Yelisey Kilsəsi, həm tarixi, həm də memarlıq baxımından böyük əhəmiyyətə malik bir abidədir. Onun barok memarlığının ən gözəl nümunələrindən biri olaraq, yalnız dini əhəmiyyətini deyil, həm də dövrün sosial və mədəni mühitini əks etdirməsi, bu kilsəni xüsusi və qiymətli edir. Bu abidə, həm yerli sakinlər, həm də turistlər üçün tarixi və mədəni bir zənginlik qaynağı olaraq qalır[4].

Cədvəl 1: Müqəddəs Yelisey Kilsəsinin Tarixi və Memarlıq Xüsusiyyətləri

Xüsusiyyət	Təsvir
Adı	Müqəddəs Yelisey Kilsəsi
Yer	Paris, 8-ci bölgə, Champs-Élysées prospekti, 75008 Paris, Fransa
İnşa Tarixi	1630-cu illərin sonları, 17-ci əsr
Memar	Ange-Jacques Gabriel
Memarlıq Üslubu	Barok
Fasada Xüsusiyyətləri	Zərif və əzəmətli bəzəklər, geniş pəncərələr, yüksək tavanlar
Daxili Xüsusiyyətlər	Mozaikalar, oymalar, bəzəkli elementlər, zərif interyer
Tarixi Əhəmiyyəti	Dini və mədəni əhəmiyyət, Parisin tarixi və sosial həyatında mühüm yer tutan abidə
Sosial Əhəmiyyəti	Parisin dini və mədəni həyatında vacib rol, turistlər və şəhər sakinləri üçün zənginlik
İstifadə	İbadət yeri, mədəni və turistik abidə, ziyarətgah
Memarlıq İnnovasiyaları	Barok üslubunun tələblərinə uyğun geniş interyer və estetik detallarla inşa edilib
Ziyarətçilər Üçün Əhəmiyyəti	Şəhərin mədəni və tarixi irsinin nümayişi, dini və memarlıq baxımından unikal təcrübə

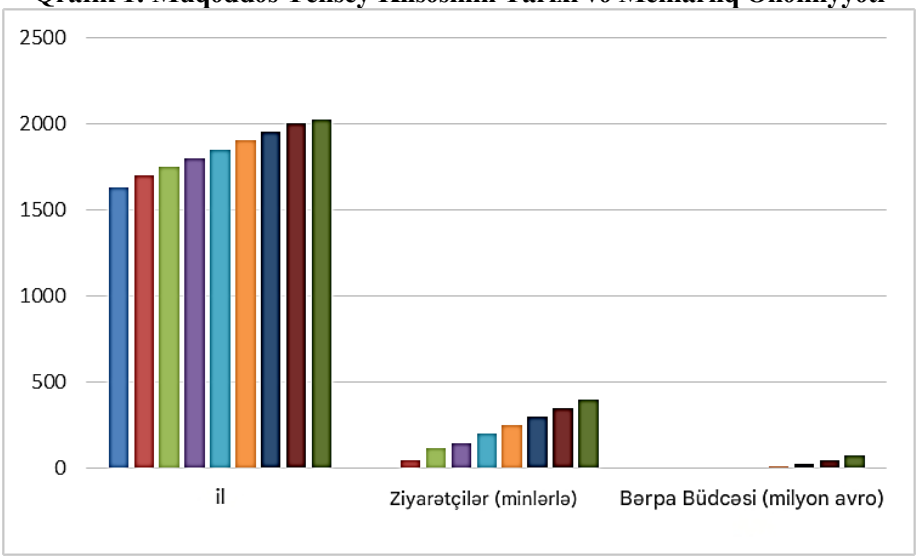
Mənbə:"Paris Architecture and History", Paris University Press, 2020.

Müqəddəs Yelisey Kilsəsi, Parisin 8-ci bölgəsində, Champs-Élysées prospektinin yaxınlığında yerləşən tarixi bir abidədir. Kilsənin inşasına 17-ci əsrin əvvəllərində başlanmış və memar Ange-Jacques Gabriel tərəfindən dizayn edilmişdir. Kilsə, barok memarlığı üslubunda inşa olunmuşdur, bu da onu dövrünün memarlıq təmayüllərini əks etdirən əhəmiyyətli bir abidə halına gətirir. Fasadı və daxili bəzəkləri ilə barok üslubunun təməl xüsusiyyətlərini daşıyan kilsə, zərif bəzəkləri, geniş pəncərələri və yüksək tavanları ilə diqqət çəkir. Kilsənin daxili interyerindəki mozaikalar, oymalar və digər bəzəkli elementlər, onun memarlıq baxımından nə qədər zəngin və incə olduğunu göstərir[4].

Kilsənin tarixi əhəmiyyəti, yalnız bir ibadət yeri olaraq deyil, həm də Parisin dini və mədəni həyatında mühüm yer tutması ilə bağlıdır. Onun inşa edildiyi dövr, Fransada monarxiyanın və kilsənin güclü olduğu, dini və mədəniyyətin birləşdiyi bir vaxtı əhatə edir. Bu abidə, həm dini baxımdan, həm də memarlıq əsəri

olaraq, şəhərin mədəni irsinin vacib bir hissəsi kimi qəbul edilir. Kilsə, həmçinin şəhər sakinləri və turistlər üçün əhəmiyyətli bir mədəni və tarixi ziyarətgah rolunu oynayır. Onun memarlıq innovasiyaları, barok üslubunun tələblərinə uyğun geniş interyer və estetik detallarla inşa edilməsi, kilsənin memarlıq baxımından unikal olduğunu göstərir. Müqəddəs Yelisey Kilsəsi, şəhərin tarixi və mədəni həyatında, eyni zamanda memarlıq tarixində öz yerini qoruyur.

Qrafik 1: Müqəddəs Yelisey Kilsəsinin Tarixi və Memarlıq Əhəmiyyəti



Mənbə: https://en.wikipedia.org/wiki/Saint_Elizabeth_of_Hungary_Church%2C_Paris

Qrafik 1 , Müqəddəs Yelisey Kilsəsinin tarixi və memarlıq əhəmiyyətinə dair ziyarətçilərin sayını və təmir büdcəsinin dəyişkənliyini zamanla göstərir. Qrafik 1 in birinci oxu il üzrə dəyişiklikləri, ikinci oxu isə ziyarətçilərin sayını (minlərlə) və təmir büdcəsini (milyonlarla EUR) göstərir[5].

Ziyarətçilərin sayı 1630-cu ildən 2020-ci ilə qədər artım göstərir. İlk dövrlərdə, kilsə hələ yeni inşa olunduğundan, ziyarətçilərin sayı minimal olmuşdur. Zamanla, kilsə Parisin mədəni və dini irsinin bir hissəsi olaraq daha çox ziyarətçi qəbul etməyə başlamışdır. 1900-cü ildən sonra isə kilsəyə gələn ziyarətçilərin sayı kəskin şəkildə artmışdır. Bu dövr, kilsənin həm Parisdəki həm də dünya miqyasında məşhurlaşdığı bir dövrü əhatə edir[6].

Təmir büdcəsi isə, kilsənin qorunması və təmiri məqsədilə zamanla artmışdır. 1630-cu ildən etibarən təmir işləri çox vaxt minimal idi, çünki kilsə yeni inşa olunmuşdu və əsasən istifadə üçün açıq idi. Ancaq zaman keçdikcə, xüsusilə 20-ci əsrdə, kilsənin təmir və bərpası üçün ayrılan büdcə getdikcə böyümüşdür. Bu, kilsənin struktural qorunmasına, həmçinin iç və xarici interyerinin bərpasına sərf olunan maliyyə vəsaitlərini göstərir.

Qrafik 1, kilsənin həm ziyarətçi sayının, həm də təmir işlərinə ayrılan büdcənin zamanla necə artdığını vizual olaraq təqdim edir. Bu məlumatlar, kilsənin artan sosial və mədəni əhəmiyyətini və onun qorunmasına göstərilən diqqəti vurğulayır[7].

NƏTİCƏ

Müqəddəs Yelisey Kilsəsinin tarixi və memarlıq əhəmiyyətini əks etdirən təhlil, abidənin zamanla artan sosial və mədəni əhəmiyyətini göstərir. Qrafikdən göründüyü kimi, kilsəyə gələn ziyarətçilərin sayı 1630-cu ildən 2020-ci ilə qədər davamlı olaraq artmışdır. Bu artım, kilsənin Parisin ən önəmli dini və mədəni abidələrindən birinə çevrilməsinin və şəhərin turistik mərkəzlərindən biri olmasının nəticəsidir. Ziyarətçilərin sayının artması, kilsənin yalnız dini ibadət yeri kimi deyil, həm də turizm və mədəniyyət baxımından əhəmiyyətli bir yer tutduğunu göstərir.

Bununla yanaşı, kilsənin təmir və bərpa işlərinə ayrılan büdcənin zamanla artması, abidənin qorunması və mühafizəsi üçün sərf olunan resursların artdığını ortaya qoyur. Xüsusilə 20-ci əsrdən sonra təmir büdcəsinin əhəmiyyətli dərəcədə artması, kilsənin tarixi və memarlıq dəyərlərinin qorunması üçün daha çox diqqət ayrıldığını göstərir. Bu, həm də müasir dövrdə mədəni irsin qorunmasının və bərpasının nə qədər vacib olduğunu göstərən bir göstəricidir.

ƏDƏBİYYAT

1. Dumoulin, A., Ardisson, A., Maingard, J., & Antonello, M. (2010). *Églises de Paris*. Massin. 191 s.https://books.google.com/books/about/%C3%89glises_de_Paris.html?id=y1EMfAEACAAJ
2. Ayers, A. (2004). *The Architecture of Paris*. Edition Axel Menges. 415 s.https://openlibrary.org/books/OL9027736M/The_Architecture_of_Paris
3. *The Story of the Paris Churches*. (n.d.). Historical text on Paris church architecture. 196 s. PDFhttps://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/The_story_of_the_Paris_churches_%28IA_cu31924015401304%29.pdf
4. *French Baroque Architecture*. (n.d.). Wikipedia. (Barok memarlıq və Parisdə tətbiqi haqqında məlumat). https://en.wikipedia.org/wiki/French_Baroque_architecture
5. Gerson, D. (2015). *Baroque Architecture Guide*. Gentleman's Gazette.https://www.gentlemansgazette.com/baroque-architecture-guide-explained/
6. *Églises de Paris* – Book details and reviews (French). https://www.amazon.in/%C3%89glises-de-paris/dp/2707210323
7. *Saint-Eustache, Paris*. (n.d.). Wikipedia (Paris kilsələrinin tarixi və memarlığı üçün kontekst).https://en.wikipedia.org/wiki/Saint-Eustache%2C_Paris

SÜNI İNTELLEKT VƏ KRISTALLOQRAFIYA: DAYANIQLI MEMARLIQ KONSTRUKSIYALARININ YENI FORMA YARADILMA METODLARI
ARTİFİCİAL INTELLİGENCE AND CRYSTALLOGRAPHY: METHODS FOR CREATİNG NEW FORMS OF DURABLE ARCHİTECTURAL STRUCTURES\

Yasin Xəlilov Xələf / Yasin Xalilov Xalaf
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat Fakültəsi,
Dizayn Bölümü,
Xırdalan, Azərbaycan
Baku Engineering University, Faculty of Architecture and Construction, Department of Design,
Khirdalan, Azerbaijan
yxalilov@beu.edu.az
Orcid İD: 0000-0001-6251-7556

Fəridə Məmmədli İltifat / Farida Mammadli İltifat
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Bina və Qurğuların Memarlığı Kafedrası,
Xırdalan, Azərbaycan
Baku Engineering University, Faculty of Architecture and Construction, Department of Building and Structure Architecture, Khirdalan, Azerbaijan
fmemmedli12@std.beu.edu.az
Orcid İD: 0009-0006-2058-8413

Xülasə: Biz, təbiətin milyonlarla il ərzində təkamüllə tapdığı o "mükəmməl nizamı" rəqəmsal dünyada yenidən kəşf edirik. Əvvəllər, "orqanik memarlıq" deyəndə ağla ancaq vizual oxşarlıq gəlirdi — yəni, binanı kənardan baxanda sadəcə bir yarpağa və ya dalğaya bənzədirdilər. Amma bu metodologiya formanın sadəcə qabığı ilə kifayətlənmir, məsələnin daxili strukturuna, yəni "genetik koduna" enir.Kristalloqrafik yanaşmanın əsas fəlsəfəsi bundan ibarətdir: Təbiətdəki ən möhkəm formalar, təsadüfən yaranmır, hamısının arxasında müəyyən bir simmetriya və riyazi qanun dayanır. Kristal qəfəslər, ən az materialla, ən çox yükü daşıya bilən mükəmməl sistemlərdir. Amma, problem budur ki, bu sistemləri insan beyni ilə minlərlə fərqli variantda hesablamaq və onları sərbəst orqanik formalara uyğunlaşdırmaq qeyri-

mümkün dərəcədə mürəkkəbdir. Bu məqamda, süni intellekt bizim "rəqəmsal memarımız" kimi köməyimizə çatır.Süni intellekt, kristalların sərt həndəsi qaydalarını götürür və onları generativ dizayn vasitəsilə daha sərbəst hala gətirir. Burada maraqlı məqam ondan ibarətdir ki, artıq memar formanı özü xətt-xətt çəkmir. Memar sadəcə "parametrləri" təyin edir — məsələn, binanın nə qədər yükə dözməli olduğunu, günəş işığını hansı bucaqdan alacağını və hansı materialdan istifadə olunacağını sistemə daxil edir. Süni intellekt isə bu çərçivədə kristalın daxili məntiqini pozmadan, həm ərazinin relyefinə, həm də funksional ehtiyaclara uyğun unikal, sanki "canlı" bir konstruksiya ortaya çıxarır.Xüsusilə dayanıqlıq tərəfi inqilabi bir şeydir. Çünki kristalloqrafik torlar, yükü bir nöqtəyə vurmur, bütün struktur boyu bərabər paylayır. Bu da bizə, qrafit kimi müasir materiallarla həm futuristik, həm də mühəndislik baxımından qüsursuz işlər görməyə imkan verir. Bir sözlə, bu yanaşma memarlığı sadəcə bina tikmək sənətindən çıxarıb, onu bioloji və riyazi bir "yaranış" prosesinə çevirir. Bina, sanki yerdən bir kristal kimi öz-özünə "bitir" və ətraf mühitlə tam təbii bir vəhdət yaradır.
Açar sözlər: *Bionik Memarlıq**,** Kristalloqrafik Simmetriya, Generativ Dizayn, Kristal Qəfəs Strukturları.*
Abstract: We are rediscovering in the digital world that "perfect order" that nature has found through millions of years of evolution. Previously, when we said "organic architecture", only visual similarity came to mind - that is, when viewed from the outside, the building was simply likened to a leaf or a wave. But this methodology does not stop at the mere shell of the form, but goes down to the internal structure of the matter, that is, the "genetic code". The basic philosophy of the crystallographic approach is this: The most solid forms in nature do not arise by chance, they all have a certain symmetry and mathematical law behind them. Crystal lattices are perfect systems that can carry the most load with the least material. However, the problem is that it is impossible to calculate these systems in thousands of different variants with the human brain and adapt them to free organic forms. At this point, artificial intelligence comes to our aid as our "digital architect". Artificial intelligence takes the rigid geometric rules of crystals and makes them more free through generative design. The interesting point here is that the architect no longer draws the form line by line. The architect simply sets the "parameters" - for example, how much load the building must withstand, from what angle it will receive sunlight, and what material will be used - and enters them into the system. Artificial intelligence, in this context, creates a unique, as if "living" construction that matches both the terrain and functional needs, without violating the internal logic of the crystal. The durability aspect in particular is revolutionary. Because crystallographic grids do not apply the load to one point, but distribute it evenly throughout the structure. This allows us to do both futuristic and engineering-perfect work with modern materials such as graphite. In short, this approach removes architecture from the art of simply building a building and turns it into a biological and mathematical "creation" process. The building, like a crystal from the ground, "finishes" itself and creates a completely natural unity with the environment.
Keywords: *Bionic Architecture, Crystallographic Symmetry, Generative Design, Crystal Lattice Structures.*

GİRİŞ

Müasir memarlıq elmi, təbiətdən sadəcə forma götürmək yox, həmin formaların necə bu qədər dayanıqlı və səmərəli olduğunu başa düşmək mərhələsinə keçib.Əvvəllər, orqanik binaların forması memarın xəyal gücündən asılı idi, lakin indi bu formaları daha dəqiq riyazi hesablamalar və rəqəmsal texnologiyalar vasitəsilə qururuq. Məhz bu mərhələdə, kristalloqrafiya köməyimizə çatır. Maddələrin daxili strukturunu və oradakı simmetriyanı öyrənən bu elm, memarlıqda həm möhkəm, həm də vizual olaraq fərqli binalar yaratmaq üçün əsl 'xəzinədir'.

Problem ondan ibarətdir ki, adi üsullarla həm çox mürəkkəb, həm də çox dözümlü bir bina qurmaq həqiqətən çətindir. Kristal qəfəslər, bizə az materialla, möhkəmlik qazandıran bir mühəndislik möcüzəsidir. Lakin, bu strukturları real binalara tətbiq etmək üçün insan zəkasından daha sürətli bir hesablama gücünə ehtiyac var. Məhz burada, süni intellekt və generativ dizayn bizim köməyimizə çataraq, həndəsi çətinlikləri mühəndislik dəqiqliyi ilə birləşdirir.

Mənim bu işdəki əsas məqsədim, kristalın sarsılmaz daxili həndəsəsi ilə süni intellektin hesablama gücünü birləşdirib, yeni bir dizayn dili ortaya qoymaqdır. Biz memarlığa, sadəcə gözəl görünən binalar kimi yox, təbiətin qanunları ilə işləyən və öz-özünü təkmilləşdirən sistemlər kimi baxırıq. Beləliklə, bu tədqiqat gələcəyin ağıllı və dayanıqlı binaları üçün yeni bir 'yol xəritəsi' təklif edir.

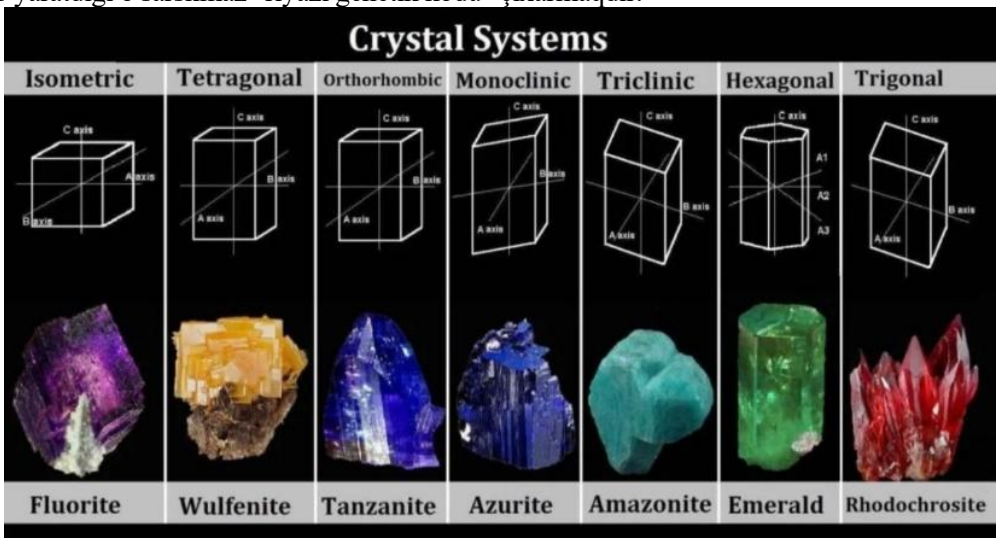
TƏDQİQAT METODU

Tədqiqat işində, kristalloqrafik prinsiplərin tətbiqi və bu prosesin süni intellekt vasitəsilə optimallaşdırılması üçün dörd mərhələli kompleks bir yanaşma tətbiq edilmişdir. Bu dörd mərhələ, bizə

imkan verir ki, memarlıqda 'təsadüfi gözəllikdən' uzaqlaşıb, 'hesablanmış mükəmməlliyə' keçid edək. Biz qaydaları təbiətdən (kristallardan) alırıq, sürəti və hesablama gücünü isə texnologiyadan (Sİ).

Kristalloqrafik Analiz (Strukturun Dekodlaşdırılması)

İlk mərhələdə, biz təbiətdəki müxtəlif kristal sistemlərinin (məsələn, kubik, heksaqonal və ya triqonal) daxili həndəsəsini və simmetriya qruplarını analiz edirik. Məqsədimiz, təbiətin milyonlarla il ərzində təkamüllə yaratdığı o sarsılmaz "riyazi genetik kodu" çıxarmaqdır.



Şəkil. 1. Müxtəlif kristal sistemlərinin daxili simmetriya strukturları və onlara uyğun təbii mineral nümunələrinin müqayisəli təhlili.



Şəkil. 2. Gələcəyin binaları üçün ilham mənbəyi: Təbiətdəki ən dayanıqlı minerallarn daxili həndəsəsi və simmetriyası.

Parametrik Modelləşdirmə (Qaydaların Təyini)

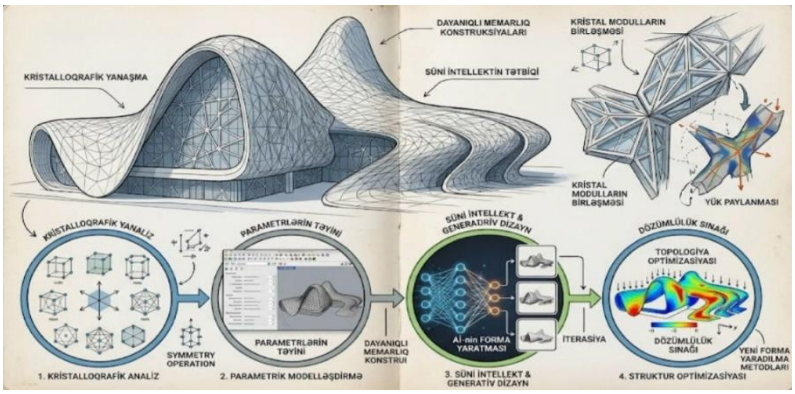
İkinci mərhələdə, bu həndəsi qaydaları rəqəmsal parametrlərə çeviririk. Burada, memar artıq formanı birbaşa çəkmir; o, sistemin sərhədlərini — yəni modul ölçülərini, birləşmə bucaqlarını və materialın fiziki xüsusiyyətlərini təyin edən alqoritmi qurur.

Süni İntellektlə Generativ Dizayn (Forma Doğuluşu)

Üçüncü mərhələdə, süni intellekt bir "rəqəmsal tərəfdaş" kimi dövriyyəyə girir. Müəyyən etdiyimiz parametrlər daxilində süni intellekt, saniyələr ərzində, minlərlə müxtəlif forma veriasiyası, yəni **iterasiyalar** yaradır. Bu mərhələdə biz insanın təsəvvür edə bilməyəcəyi qədər mürəkkəb, həm də kristal daxili nizamını pozmayan unikal formalar əldə edirik.

Topoloji Optimizasiya (Mühəndislik Validasiyası)

Son mərhələdə isə seçilmiş formalar dözümlülük testindən keçirilir. Süni intellekt struktur üzərindəki gərginlik xəritəsini analiz edərək materialın harada qalmalı, harada isə azaldılmalı olduğunu hesablayır. Nəticədə, həm futuristik-estetik, həm də mühəndislik baxımından qüsursuz olan final model formalaşır.



Şəkil. 3. Heydər Əliyev Mərkəzi nümunəsində: Kristal nizamı və süni intellektin köməyi ilə futuristik formaların yaranma mərhələləri.

TƏDQİQATIN VƏZİFƏLƏRİ

Tədqiqatın əsas məqsədinə nail olmaq üçün, aşağıdakı vəzifələrin yerinə yetirilməsi nəzərdə tutulur:

- *Nəzəriyyədən Praktikaya:* İlk növbədə, orqanik memarlığın keçmişini və kristalların bu sahədəki gizli rolunu dərindən araşdırırıq.
- *Ən Yaxşı Strukturun Seçilməsi:* Hansı kristal sistemlərinin (məsələn, kubik, heksaqonal və ya triqonal) binalar üçün daha dözümlü və səmərəli olduğunu müəyyən edirik.



Şəkil. 4. Süni intellektin kristal həndəsəsi ilə 'oynayaraq' ortaya çıxardığı rəngarəng və dözümlü memarlıq forması.

- *Rəqəmsal Alətlərin Təyini:* Bu mürəkkəb hesablamaları apara biləcək ən doğru süni İntellekt modellərini və generativ dizayn alqoritmlərini seçirik.
- *Parametrlərin Qurulması:* Binanın yükü, materialı və forması arasında əlaqə yaradan riyazi bir rəqəmsal model qururuq.
- *Virtual Sınaq:* Süni intellekt tərəfindən yaradılan formaları "virtual laboratoriyada" dözümlülük və material qənaəti baxımından sınaqdan keçiririk.
- *Yekun Metodika:* Sonda, bütün bu təcrübələrdən yola çıxaraq, gələcəyin memarları üçün kristalloqrafiya və süni intellektin birgə istifadəsi üzrə praktiki bir rəhbər hazırlayırıq.

ELMİ YENİLİK

Tədqiqat işinin elmi yeniliyi, memarlıq formayaradılma prosesinə çoxşaxəli yanaşmanın tətbiqindədir və aşağıdakı bəndlərlə xarakterizə olunur:

- *Subyektivlikdən Obyektivliyə:* Orqanik memarlıqdakı "mənə belə gözəl gəlir" yanaşmasını, kristalların obyektiv simmetriya və riyazi nizamı ilə əvəz etdik. Biz buna "Riyazi Orqaniklik" deyirik.
- *Vahid Proses (Simultant Həll):* Ənənəvi üsulda əvvəl forma çəkilir, sonra mühəndis onun dözümlülüyünü yoxlayır. Bizim metodda isə süni intellekt, həm gözəlliyi, həm də dayanıqlığı eyni anda, vahid bir proses kimi həll edir.
- *Canlı Kristal Qəfəslər:* Təklif etdiyimiz kristal strukturlar statik deyil. Süni intellekt, bu torları ərazinin relyefinə və binaya düşən yükə görə dərhal deformasiya edib, ən ideal formaya sala bilir.
- *Maksimum Dözümlü, Minimum Material:* Biz elə bir model hazırladıq ki, materiala maksimum qənaət etməklə ən yüksək konstruktiv dözümlülüyü əldə etmək mümkün olsun.

Nəticə

Müasir memarlıq, artıq sadəcə "gözəl binalar çəkmək" deyil. Biz indi, təbiətdəki mürəkkəb sistemlərin, mineralların daxili məntiqini, rəqəmsal dünyaya köçürürük. Orqanik memarlıq dedikdə, təbiəti kopyalamağı deyil, onun möhkəmlik sirrini, süni intellektlə yenidən kodlaşdırmağı nəzərdə tuturuq.Bu işdə bizim əsas bünövrəmiz, kristalloqrafiya elmidir. Maddələrin daxili həndəsəsini öyrənən bu elm, bizə unikal bir sistem təklif edir. Çünki təbiətdəki ən dayanıqlı formalar — kristal qəfəslər — təsadüfən deyil, müəyyən bir simmetriya və nizamla yaranır. Bu nizam binanın həm modulyar olmasını, həm də yükün bərabər paylanmasını təmin edir.

Lakin, bir problem var: bu sərt həndəsi qaydaları axıcı, yumşaq formalarla birləşdirmək və onları ərazinin relyefinə uyğunlaşdırmaq insan beyni üçün həddindən artıq mürəkkəbdir. Məhz burada, süni intellekt bizim ən yaxın köməkçimizə çevrilir. O, memarın fiziki olaraq çatdıra bilmədiyi minlərlə hesablama variantını saniyələr ərzində tamamlayır.Bizim metodologiyamıza görə, bina yaratmaq artıq bir xətt çəkmək deyil, bir proses başlatmaqdır. Süni intellekt, kristal torları, bir karkas kimi götürür, onları küləyə, günəşə və torpağın formasına görə sıxıb-genişləndirərək optimallaşdırır. Nəticədə, bina sanki yerdən bir kristal kimi "bitir" və ətrafla tam vəhdət təşkil edir. Memarlıq artıq cansız bir kütlə deyil, öz-özünü tənzimləyən "canlı" bir sistemə çevrilir.

Xüsusilə, qrafit kimi müasir materiallarla işləyəndə, bu metod bizə həm futuristik və sirli bir görünüş, həm də sarsılmaz bir dözümlülük qazandırır. Süni intellekt vasitəsilə, etdiyimiz topologiya optimallaşdırılması materialdan yalnız ehtiyac olan nöqtələrdə istifadə etməyə imkan verir ki, bu da həm təbiəti qoruyur, həm də büdcəyə qənaət edir.

Yekun olaraq, kristalloqrafiyanın dəqiqliyi ilə süni intellektin gücü birləşəndə, memarlıqda "riyazi orqaniklik" dövrü başlayır. Bu yanaşma, gələcəyin binalarını sadəcə tikili kimi deyil, ağıllı bir ekosistem kimi görür. Bu metodun tətbiqi, xüsusilə dövlət əhəmiyyətli memorial layihələrdə həm estetik əzəməti, həm də əbədi dayanıqlığı təmin edən ən güclü alətimiz olacaqdır.

References

[19] Schumacher, P. (2011). *The Autopoiesis of Architecture*. London: John Wiley & Sons, pp. 200–245.
[20] Balmond, C. (2002). *Informal*. Munich: Prestel Pub, pp. 120–165.
[21] Menges, A. (2012). *Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design*. Architectural Design, 82(2), pp. 14–21.
[22] Oxman, N. (2010). "Material Ecology". Computer-Aided Design, 42(12), pp. 1162–1171.
[23] Terzidis, K. (2006). "Algorithmic Architecture". Oxford: Architectural Press, pp. 35–82.

KİŞ KƏNDİNDƏ İNFRASTRUKTUR VƏ TURİZM OBYEKTLƏRİNİN FORMALAŞMASI

Murad Müftəliyev
Bakı Mühəndislik Universiteti, Memarlıq və İnşaat fakültəsi, Şəhərsalma ixtisası,
Bakı, Azərbaycan.
ORCID NO: 0009-0007-1578-7423
murad.mufteliyev.2003@gmail.com (00994) 553261865

Xülasə: Kiş kəndi Şəki rayonunun ərazisində yerləşən tarixi və təbii cəhətdən zəngin bir yaşayış məntəqəsidir. Kənddəki Kiş Alban məbədi, regionun turizm potensialının əsas dayağıdır. Son illərdə infrastruktur yenilənməsi və turizm obyektlərinin inkişafı, xüsusilə yol-nəqliyyat və kommunikasiya xidmətlərinin yaxşılaşdırılması, turist axınının artmasına səbəb olmuşdur. Kənddə qonaq evləri, restoranlar və istirahət məkanları yaradılaraq yerli turizm inkişaf etdirilib. Kişdə həmçinin aqroturizm, ekoturizm və etnoqrafik turizm modelləri sosial-iqtisadi inkişafı dəstəkləmişdir. Tarixi abidələrin qorunması və ətraf ərazilərin abadlaşdırılması, kəndin turizm infrastrukturunu təkmilləşdirmişdir. Nəticədə, Kiş kəndi müasir infrastruktur və tarixi dəyərləri birləşdirərək Azərbaycanın turizm xəritəsində mühüm yer tutmağa başlayıb.
Açar sözlər: *kiş, şəki, turizm, regional, kənd, aqroturizm, ekoturizm, inkişaf, irs.*

GİRİŞ

Azərbaycan Respublikasında regionların sosial-iqtisadi inkişafı strategiyasının mühüm istiqamətlərindən biri turizm sektorunun genişləndirilməsi və yerli potensialın səmərəli istifadəsidir. Bu baxımdan tarixi-mədəni irsi, təbii landşaftı və etnoqrafik xüsusiyyətləri ilə seçilən yaşayış məntəqələrinin inkişaf etdirilməsi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Belə məkanlardan biri də Şəki rayonunun ərazisində yerləşən Kiş kəndidir. Kiş kəndi həm qədim tarixi, həm də unikal coğrafi mövqeyi ilə Azərbaycanın turizm xəritəsində mühüm yer tutur.

Kəndin əsas turizm potensialını təşkil edən amillərdən biri Qafqaz Albaniyası dövrünə aid olan Kiş Alban məbədidir. Bu abidə yalnız dini-memarlıq nümunəsi kimi deyil, həm də Azərbaycanın qədim dövlətçilik və mədəniyyət tarixinin göstəricisi kimi böyük elmi və turistik əhəmiyyət daşıyır. Məbəd və ətraf ərazilər həm yerli, həm də xarici turistlərin diqqətini cəlb edir və bu da kənddə turizm infrastrukturunun formalaşdırılmasını zəruri edir.

Müasir dövrdə turizmin inkişafı yalnız tarixi obyektlərin mövcudluğu ilə məhdudlaşmır. Turizm sektorunun səmərəli fəaliyyəti üçün inkişaf etmiş yol-nəqliyyat şəbəkəsi, kommunikasiya sistemləri, yerləşmə və iaşə obyektləri, informasiya təminatı və xidmət keyfiyyəti mühüm rol oynayır. Son illərdə Kiş kəndində həyata keçirilən abadlıq işləri, yolların yenidən qurulması, qonaq evlərinin və istirahət obyektlərinin yaradılması kəndin turizm imkanlarını əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır. Bu proses həm dövlət proqramları, həm də yerli sahibkarlıq təşəbbüsləri çərçivəsində həyata keçirilmişdir.

Kiş kəndində infrastruktur və turizm obyektlərinin formalaşması yalnız iqtisadi baxımdan deyil, həm də sosial baxımdan mühüm nəticələr doğurur. Turizmin inkişafı yerli əhalinin məşğulluq səviyyəsinin yüksəlməsinə, ailə bizneslərinin yaranmasına və kənddə həyat səviyyəsinin yaxşılaşmasına şərait yaradır. Eyni zamanda, mədəni irsin qorunması və gələcək nəsillərə ötürülməsi üçün əlavə imkanlar formalaşdırır.

Beləliklə, Kiş kəndində infrastruktur və turizm obyektlərinin inkişafı regionun dayanıqlı inkişaf modelinin formalaşmasında mühüm rol oynayır. Bu mövzu həm turizm iqtisadiyyatı, həm regional planlaşdırma, həm də mədəni irsin qorunması baxımından aktualdır və elmi-tədqiqat baxımından geniş təhlil tələb edir.

TƏHLİL

Kiş kəndində infrastruktur və turizm obyektlərinin formalaşması prosesi regional inkişaf strategiyasının tərkib hissəsi kimi qiymətləndirilməlidir. Bu proses bir tərəfdən tarixi-mədəni irsin qorunması, digər tərəfdən isə iqtisadi diversifikasiya və kənd ərazilərində məşğulluğun artırılması məqsədlərinə xidmət edir. Şəki rayonunun turizm potensialı ümumilikdə yüksək olsa da, Kiş kəndi xüsusilə tarixi irs faktoru ilə fərqlənir və bu xüsusiyyət onun infrastruktur inkişafına birbaşa təsir göstərmişdir[1].

Kəndin turizm potensialının əsas dayağı olan Kiş Alban məbədi ətrafında formalaşan turizm axını xidmət sektorunun inkişafını stimullaşdırmışdır. İlkin mərhələdə turistlərin kəndə gəlişi daha çox mövsümi xarakter daşıyırdı və infrastruktur imkanları məhdud idi. Lakin son illərdə yol şəbəkəsinin yenilənməsi, abadlıq işlərinin aparılması və istiqamətləndirici lövhələrin quraşdırılması turistlərin rahat hərəkətini təmin etmişdir. Bu isə öz növbəsində ziyarətçi sayının artmasına səbəb olmuşdur[2].

İnfrastrukturun təhlili göstərir ki, nəqliyyat və kommunikasiya imkanlarının yaxşılaşdırılması turizmin davamlı inkişafı üçün əsas şərtdir. Kiş kəndinə aparan avtomobil yolunun yenidən qurulması regiona əlçatanlığı artırmış, kəndin turizm marşrutlarına inteqrasiyasını gücləndirmişdir. Eyni zamanda elektrik, su və rabitə təminatının sabitləşdirilməsi qonaq evlərinin və ictimai iaşə obyektlərinin fəaliyyətini daha dayanıqlı etmişdir. Bununla belə, bəzi hallarda mövsümi turist sıxlığı zamanı infrastrukturun yüklənməsi müşahidə olunur ki, bu da əlavə planlaşdırma və investisiya ehtiyacını ortaya qoyur.

Turizm obyektlərinin formalaşması əsasən kiçik və orta sahibkarlıq subyektlərinin təşəbbüsü ilə həyata keçirilmişdir. Kənddə ailə tipli qonaq evlərinin, milli mətbəx təqdim edən restoranların və suvenir satış məntəqələrinin açılması yerli əhalinin gəlir imkanlarını artırmışdır. Bu model icma əsaslı turizm prinsiplərinə uyğun olaraq inkişaf edir və kənd əhalisinin prosesə birbaşa cəlb olunmasını təmin edir. Lakin xidmət keyfiyyəti, kadr hazırlığı və marketinq strategiyalarının yetərli səviyyədə olmaması bəzi hallarda turizm potensialının tam reallaşdırılmasına mane olur[3].

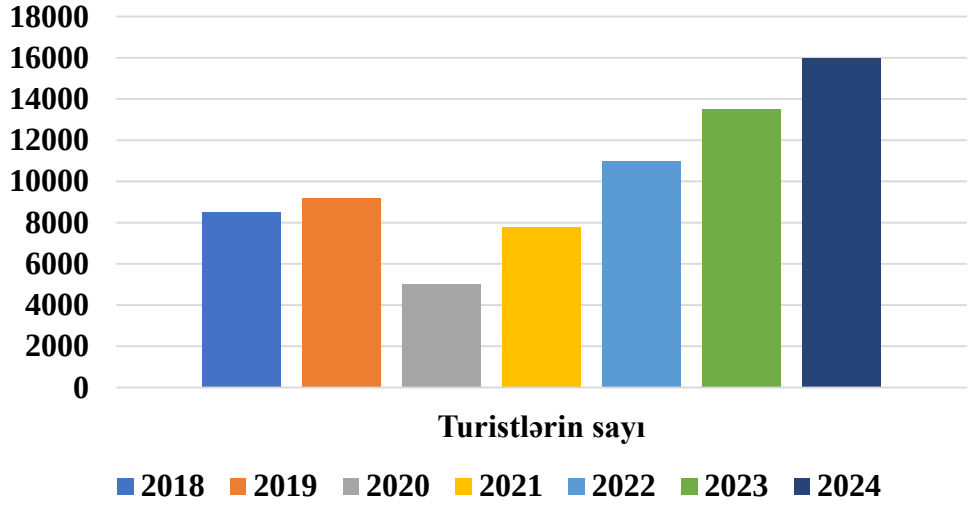
Ekoloji baxımdan isə turizmin artımı müəyyən risklər yarada bilər. Kiş kəndi dağlıq və təbii landşaft baxımından həssas ərazidə yerləşdiyindən, tikinti və insan axınının artması ekosistemin qorunması məsələsini aktuallaşdırır. Buna görə də infrastrukturun genişləndirilməsi dayanıqlı inkişaf prinsiplərinə əsaslanmalı, tarixi abidələrin və təbii mühitin qorunması prioritet kimi saxlanılmalıdır.

Ümumilikdə təhlil göstərir ki, Kiş kəndində infrastruktur və turizm obyektlərinin formalaşması müsbət dinamika ilə inkişaf edir və regionun sosial-iqtisadi vəziyyətinə əhəmiyyətli töhfə verir. Bununla yanaşı,

gələcək mərhələdə strateji planlaşdırma, xidmət keyfiyyətinin artırılması, rəqəmsal tanıtımın gücləndirilməsi və ekoloji tarazlığın qorunması əsas istiqamətlər kimi müəyyənləşdirilməlidir. Bu yanaşma kəndin turizm mərkəzi kimi davamlı inkişafını təmin edə bilər[4].

Qrafik 1.

Kiş kəndinə gələn turistlərin illər üzrə dinamikası (2018–2024)



Qrafik 1 dən göründüyü kimi, 2018–2019-cu illərdə Kiş kəndinə gələn turistlərin sayında mülayim artım müşahidə olunmuşdur. Bu artım regionda turizm marşrutlarının genişlənməsi və tarixi-mədəni abidələrə marağın yüksəlməsi ilə əlaqələndirilə bilər. 2020-ci ildə isə turist sayında kəskin azalma qeydə alınmışdır ki, bu da qlobal pandemiya dövründə tətbiq olunan məhdudiyyətlər və səyahət qadağaları ilə izah olunur[5].

2021-ci ildən etibarən isə bərpa prosesi başlamış və turist axını yenidən artım tendensiyasına keçmişdir. 2022–2024-cü illərdə artım daha dinamik xarakter almış, xüsusilə 2023 və 2024-cü illərdə göstəricilər əvvəlki illərlə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə yüksəlmişdir. Bu dinamika kənddə infrastrukturun yaxşılaşdırılması, yol şəbəkəsinin yenilənməsi, qonaq evlərinin və turizm xidmətlərinin sayının artması ilə əlaqələndirilə bilər.

Qrafik 1 turizm sektorunun böhran sonrası mərhələdə sürətli bərpa və inkişaf mərhələsinə daxil olduğunu göstərir. Bu tendensiya Kiş kəndinin regional turizm mərkəzi kimi mövqeyinin möhkəmləndiyini və gələcək illərdə turist axınının daha da artma potensialına malik olduğunu göstərir.

Cədvəl 1

Kiş Kəndində İnfrastruktur və Turizm Obyektlərinin Formalaşması və Təsirləri

İnfrastruktur və Turizm Obyekti	Təsviri	Təsiri	İnkişafın Səviyyəsi
Yol və Nəqliyyat İnfrastrukturu	Kiş kəndinə giriş yollarının genişləndirilməsi, yeni nəqliyyat əlaqələri	Turistlərin rahat və təhlükəsiz şəkildə kəndə daxil olmasına şərait yaradır	Orta səviyyə
Qonaq Evləri və Pansionatlar	Kənddə müxtəlif səviyyəli qonaq evləri və pansionatların tikilməsi	Yerləşmə imkanlarını artırır və uzunmüddətli qalma üçün şərait yaradır	Yeni inkişaf mərhələsində
Restoranlar və Yeyinti Obyektləri	Milli mətbəxi təklif edən restoranlar, kafe və çay evləri	Yeyinti mədəniyyətinin inkişafı, turistlərə kəndin kulinar ənənələrini təqdim edir	Yüksək səviyyədə
Mədəniyyət və	Kəndin tarixi və	Kəndin mədəniyyətini nümayiş	Aşkar inkişaf

İncəsənət Mərkəzləri	mədəniyyəti ilə bağlı sərgilər, mədəni tədbirlər	etdirmək, turizmə maraq yaradır	mərhələsi
Təbii Gözəlliklərin Qoruqları	Dağlıq ərazilərin və çay sahələrinin qorunması, ekoturizm sahələrinin yaradılması	Təbii resursların qorunması və ekoturizmin inkişafı	Başlanğıc səviyyəsi
İdman və Əyləncə Kompleksləri	Kənddə idman salonları, yürüş və velosiped yolları, qış idmanları üçün zonalar	İdman turizmini inkişaf etdirir, kəndə gələnlər üçün müxtəlif fəaliyyət imkanları təqdim edir	Orta səviyyə
Sosial və Təhsil Obyektləri	Turistlər üçün bələdçi xidmətləri, informasiya mərkəzləri	Turistlərin məlumatlandırılmasını və kəndin mədəniyyətinə dərin əlaqə qurmasını təmin edir	Yüksək səviyyə
Sanitariya və Kommunal Xidmətlər	Su təchizatı, kanalizasiya, tullantıların idarə edilməsi	Kəndin sanitariya şəraitini yaxşılaşdırmaq və turistlər üçün əlverişli şərait yaratmaq	Orta səviyyə

Kiş kəndindəki infrastruktur və turizm obyektləri müxtəlif sahələri əhatə edir və hər biri kəndin turizm potensialını artırmağa xidmət edir. İlk növbədə, yol və nəqliyyat infrastrukturu turistlərin kəndə rahat və təhlükəsiz gəlişini təmin edir. Bu, nəqliyyat əlaqələrinin yaxşılaşdırılması və kəndə olan gediş-gəlişin asanlaşması ilə nəticələnir.

Qonaq evləri və pansionatlar kəndin yerləşmə imkanlarını artırır, turistlərə uzun müddətli qalmaq imkanı verir. Bu tip obyektlərin inkişafı, kəndin turizm sektorunun güclənməsinə kömək edir.

Restoranlar və yeyinti obyektləri, xüsusən milli mətbəxi təklif edən yerlər, turistlərə kəndin mədəniyyətini və kulinar ənənələrini təqdim edir. Bu, həmçinin yerli iqtisadiyyata müsbət təsir göstərir və kəndə gələn turistlərin məmnuniyyətini artırır.

Mədəniyyət və incəsənət mərkəzləri kəndin tarixi və mədəniyyətinin tanıdılması baxımından mühüm rol oynayır. Bu mərkəzlər vasitəsilə turistlər kəndin zəngin mədəni irsi ilə tanış ola bilərlər, bu isə turizmin inkişafına təkan verir.

Təbii gözəlliklərin qorunması və ekoturizm sahələrinin yaradılması kəndin təbii resurslarının qorunmasına və ekoturizmin inkişafına imkan yaradır. Bu da həm yerli əhali üçün, həm də turistlər üçün faydalıdır[6].

İdman və əyləncə kompleksləri, kəndə gələn turistlər üçün müxtəlif fəaliyyətlər təklif edərək, idman turizmini inkişaf etdirir. Bu cür komplekslər həm yerli sakinlər, həm də turistlər üçün əyləncəli və sağlam həyat tərzini təşviq edir.

Sosial və təhsil obyektləri, bələdçi xidmətləri və informasiya mərkəzləri vasitəsilə turistlərə ətraflı məlumat verilərək, kəndin tarixi və mədəniyyəti haqqında daha çox məlumat əldə etmələri təmin edilir.

Son olaraq, sanitariya və kommunal xidmətlərin yaxşılaşdırılması, su təchizatı və tullantıların idarə edilməsi kimi məsələlər, kəndin ümumi yaşayış şəraitini yaxşılaşdırır və turistlər üçün daha rahat və təhlükəsiz şərait yaradır. Bu cür inkişaflar, Kiş kəndində turizmin daha da irəliləməsinə və kəndin iqtisadiyyatının güclənməsinə yardım edir.

NƏTİCƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, Kiş kəndində infrastruktur və turizm obyektlərinin formalaşması regionun sosial-iqtisadi inkişafında mühüm rol oynayır. Turizm potensialının əsasını təşkil edən tarixi-mədəni irs, xüsusilə Kiş Alban məbədi, kəndin turizm baxımından cəlbediciliyini artırmış və infrastrukturun yenilənməsini zəruri etmişdir. Yol-nəqliyyat şəbəkəsinin yaxşılaşdırılması, kommunal xidmətlərin sabitləşdirilməsi və xidmət obyektlərinin yaradılması turist axınının artmasına şərait yaratmışdır.

ƏDƏBİYYAT

1. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. (2023). *Azərbaycanın turizm göstəriciləri 2018–2023*. Bakı: ARDSK, 156 s.
2. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Turizm Agentliyi. (2022). *Regional turizmin inkişaf strategiyası*. Bakı: Dövlət Turizm Agentliyi, 98 s.
3. Məmmədov, R. (2021). Azərbaycanda kənd turizminin inkişaf perspektivləri. *Turizm və Qonaqpərvərlik Tədqiqatları*, 5(2), 45–59.
4. Əliyev, F., & Hüseynova, N. (2020). Şəki-Zaqatala iqtisadi rayonunda turizm infrastrukturunun inkişafı problemləri. *Azərbaycan Coğrafiya Cəmiyyəti Xəbərləri*, 12(1), 77–92.
5. İbrahimov, A. (2019). Mədəni irs və turizm: Qafqaz Albaniyası abidələrinin turizm potensialı. Bakı: Elm və Təhsil, 212 s.
6. UNWTO. (2022). *Tourism and rural development: A policy perspective*. Madrid: World Tourism Organization, 124 p.

ERQONOMİKA VƏ ESTETİKANIN SƏNAYE AVADANLIĞI DİZAYNINDA ROLU: SWOT ANALİZİ ƏSASINDA QİYMƏTLƏNDİRMƏ

Firuzə HƏSƏNOVA
Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Dizayn Kafedrası
Xırdalan, Azərbaycan
fhesenova6@std.beu.edu.az
ORCID: 0009-0005-4745-5816

Rasim QURBANOV
Baş müəllim, Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Dizayn Kafedrası
Doktorant, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Universiteti (FSMVÜ)
İncəsənət, Dizayn və Memarlıq Fakültəsi, Daxili Memarlıq Kafedrası
Xırdalan – Azərbaycan / İstanbul – Türkiyə
ragurbanov@beu.edu.az / rasim.gurbanov@stu.fsm.edu.tr
ORCID: 0000-0005-9025-6388

Xülasə: Müasir sənaye dizaynı sahəsi yalnız məhsulun texniki istismar xüsusiyyətlərini deyil, həm də istifadəçinin fizioloji, psixoloji və emosional tələbatlarını əhatə edən çoxşaxəli bir fəaliyyət sahəsidir. Sözgedən kontekstdə erqonomika ilə estetika, sənaye avadanlıqlarının yaradılması prosesini istiqamətləndirən əsas nəzəri və praktiki əsası təşkil edir. Erqonomika insan–texnika–mühit üçlüyünün ahəngdar tənzimlənməsini hədəfləyərək operatorun antropometrik ölçülərini, fizioloji yükünü və kognitiv xüsusiyyətlərini layihə mərhələsindən nəzərə alır; bu yolla həm peşə təhlükəsizliyi gücləndirilir, həm də əməyin məhsuldarlığı artırılır. Estetika isə məhsulun forma, rəng, tekstura və material dilini müəyyənləşdirərək istifadəçidə yaradan qavrayışa, inam hissinə və emosional bağlılığa birbaşa təsir göstərir.

Tədqiqatın əsas məqsədi ergonomik və estetik dəyişənlərin sənaye avadanlığı dizaynına bütünlüklü təsirini müəyyənləşdirmək və bu təsiri SWOT analizi çərçivəsində sistemli şəkildə qiymətləndirməkdir. Aparılan analiz nəticəsində məlum olmuşdur ki, iki komponentin birgə tətbiqi məhsulun funksional göstəricilərini yaxşılaşdırmaqla yanaşı, istifadəçi məmnuniyyətinə müsbət təsir göstərir və kommersiya rəqabət qabiliyyətini artırır.

Eyni zamanda, qeyd olunan prinsiplərin tətbiqini mürəkkəbləşdirən bir sıra amillər aşkar edilmişdir: dizayn xərclərinin yüksəlməsi, ixtisaslaşmış kadr ehtiyacı və texniki normalara uyğunluqla estetik keyfiyyətin eyni vaxtda təmin edilməsinin gətirdiyi ziddiyyətlər bunların ən başlıcalarıdır. Buna baxmayaraq, rəqəmsal modelləşdirmə texnologiyaları, ekoloji cəhətdən təmiz materiallar və insan-mərkəzli dizayn metodologiyasının sürətlə yayılması geniş imkanlar açır.
Nəticə olaraq, tədqiqat göstərir ki, ergonomika ilə estetikanın tarazlı inteqrasiyası avadanlıq dizaynının keyfiyyətinin artırılmasını, istifadəçi üçün təhlükəsiz iş şəraitinin yaradılmasını və istehsal prosesinin optimallaşdırılmasını təmin edən vacib bir şərtdir. Bu baxımdan, SWOT analizi, dizayn qərarlarının elmi əsaslarla qəbul edilməsini dəstəkləyən strateji-analitik vasitə kimi öz əhəmiyyətini qoruyub saxlayır.
Açar sözlər: *Sənaye dizaynı, ergonomika, estetika, funksionallıq, istifadəçi yönümlü dizayn, vizual qavrayış, sənaye avadanlıqları*
Abstract: Contemporary industrial design has evolved far beyond mere technical functionality, becoming an inherently multidisciplinary field that places the user at the center of every design decision. Within this framework, ergonomics and aesthetics are the two foundational pillars of industrial equipment development. Ergonomics seeks to harmonize the interaction among the operator, machinery, and the working environment by accounting for physiological, anthropometric, and cognitive characteristics from the earliest stages of design, thereby enhancing both occupational safety and productivity. Aesthetics, in turn, shapes the product's visual language through form, color, texture, and material selection, directly influencing user perception, trust, and emotional engagement.
The primary objective of this study is to identify the combined influence of ergonomic and aesthetic variables on industrial equipment design and to systematically evaluate that influence using a SWOT analysis framework. The analysis reveals that the joint application of these two components improves functional performance indicators, enhances user satisfaction, and strengthens commercial competitiveness. At the same time, several factors that complicate the application of these principles have been identified: escalating design costs, the demand for specialized expertise, and conflicts that arise when technical compliance and aesthetic quality must be achieved simultaneously. Nevertheless, digital modeling technologies, ecologically clean materials, and the rapid diffusion of human-centered design methodology create wide-ranging opportunities. The study ultimately demonstrates that the balanced integration of ergonomics and aesthetics is indispensable for elevating equipment design quality, creating safe working conditions, and optimizing production processes. In this regard, SWOT analysis remains a strategic-analytical instrument that supports evidence-based design decision-making.
Keywords: *Industrial design, ergonomics, aesthetics, functionality, user-centred design, visual perception, industrial equipment.*

GİRİŞ

Texnoloji nailiyyətlərin sürətlə artdığı və qloballaşma proseslərinin dərinləşdiyi müasir dövrdə sənaye məhsullarının layihələndirilməsinə qoyulan tələblər köklü şəkildə dəyişib. Ənənəvi dizayn anlayışında məhsulun yalnız texniki xarakteristikası və istehsal rentabelliyi ön plana çıxarılırdısa, bu gün ona əlavə olaraq istifadəçi rahatlığı, komfort səviyyəsi, təhlükəsizlik mühiti, estetik dəyər və emosional rezonans kimi amillər də həlledici meyarlar kimi qəbul edilir. Sözügedən dəyişikliyə görə, sənaye dizaynı müxtəlif elmi-texniki sahələrin qovuşuğunda formalaşan, multidissiplinar biliklərin sintezidir.
Bu zəminində istifadəçi yönümlü yanaşmanın aparıcı metod kimi özünü təsdiqləməsi insan amilinin layihəni müəyyən edən başlıca dəyişənə çevrilməsinə səbəb olmuşdur. Erqonomika bu kontekstdə insanın fizioloji, antropometrik və kognitiv parametrlərini əsas götürərək insan–maşın–mühit sistemini ən az itkili şəkildə qurmağa çalışan elmi istiqamət kimi ön plana çıxır. Onun başlıca məqsədi operatorun bədən yükünü azaltmaq, yara riskini minimuma endirmək və iş prosesinin axıcılığını artırmaqdır. Erqonomik meyarlar düzgün tətbiq olunduqda məhsul daha intuitiv, daha rahat və daha etibarlı olur; bu isə həm əmək məhsuldarlığına, həm də peşə risklərinin azaldılmasına müsbət təsir göstərir.
Estetika sənaye dizaynında fərqli, lakin eyni dərəcədə mühüm funksiyanı yerinə yetirir: məhsulun forma dili, rəng gamması, material seçimi və kompozisiya quruluşu vasitəsilə istifadəçinin onu necə qavrayacağını müəyyən edir. Müasir araşdırmalar estetik cəhətdən cəlbedici məhsulların keyfiyyət və etibarlılıq baxımından da daha yüksək qiymətləndirildiyini göstərir. Deməli, estetika sadəcə bəzək elementinə deyil, məhsulun ümumi dəyərini və bazar mövqeyini şərtləndirən strateji amilə çevrilmişdir.

Erqonomika ilə estetikanın düşünülmüş şəkildə üst-üstə gəlməsi dizaynda sinerji effekti yaradır. Lakin praktikada bu balansı qorumaq hər zaman asan olmur: texniki normativlərlə estetik tələblərin bir-birinə zidd çıxması hallar, maliyyə məhdudiyyətləri və texnoloji çətinliklər bu sinerjini çox vaxt sınağa çəkir. Odur ki, sahədə sistemli analitik yanaşmalara ehtiyac var.

Bu cür yanaşmaların ən geniş yayılmışlarından biri SWOT analizidir. SWOT modeli iqtisadi və estetik amillərin üstün tərəflərini, zəif nöqtələrini, xarici mühitin açdığı imkanları və potensial riskləri ardıcıllıqla qiymətləndirməyə imkan verir; bu da dizayn qərarlarının daha dolğun elmi əsaslarla qəbul edilməsinə, risklərin azaldılmasına və resursların daha məqsədyönlü istifadəsinə xidmət edir.

Təqdim olunan tədqiqat ergonomika və estetikanın sənaye avadanlığı dizaynına inteqrativ təsirini araşdırmağı və bu təsirin SWOT analizi vasitəsilə sistemli dəyərləndirilməsini həyata keçirməyi hədəfləyir. Tədqiqat bu yolla sənaye dizaynında insan-mərkəzli perspektivin nəzəri və metodoloji inkişafına töhfə verməyə çalışır.

ƏDƏBİYYAT İCMALI

Erqonomikanın Konseptual Çərçivəsi və Sənaye Dizaynındakı Yeri

Ərqonomika fəlsəfi mənada insan və onun fəaliyyət mühiti arasındakı uyğunluğu araşdırır. Təcrübəli aspektdə isə fiziologiya, psixologiya, anatomiya və mühəndislik elmləri bu sahənin metodoloji aparatını birgə formalaşdırır. Sahənin mərkəzindəki iki əsas hədəf – insan fəaliyyətinin səmərəliliyi ilə onun sağlamlığına zərər verməmək – bir-birini tamamlayır.

Elmi mənbələr erqonomik həllərin iş mühitindəki bədən gərginliyini azaltdığını, peşə xəstəliklərinin profilaktikasına kömək etdiyini və istehsal prosesinin ümumi rentabelliyini artırdığını göstərir. Sənaye avadanlıqlarının layihələndirilməsində ən kritik erqonomik parametrlər sırasında operatorun boy ölçüsü, əl-qol çatma dairəsi, sensor-motor reaksiya sürəti və uzaqgörən enerji sərfiyyəti kimi göstəricilər xüsusi yer tutur.

Müasir ergonomika yalnız fiziki ölçülər çərçivəsini aşaraq kognitiv sahəyə də nüfuz etmişdir. Kognitiv ergonomika istifadəçinin diqqət bölgüsü, yaddaş tutumu və qərarvermə mexanizmləri kimi mental prosesləri analiz edərək mürəkkəb avtomatlaşdırılmış sistemlər üçün daha intuitiv interfeyslər hazırlamağa imkan yaradır.

Estetika Prinsipləri Kontekstində Məhsul Dizaynı

Estetika sənaye dizaynında məhsulun vizual və emosional dilini məşğul olan nəzəri və tətbiqi çərçivəni təşkil edir. Forma, rəng, material və kompozisiya kimi komponentlər məhsulun vizual identitetini ortaya qoyaraq bazarda tanınmasını asanlaşdırır. [3]

Müasir araşdırmalar bu sahədə "estetik-istifadəcilik effekti" kimi tanınan fenomeni gündəmə gətirmişdir: estetik baxımdan cəlbedici tapılan məhsullar istifadəçilər tərəfindən eyni zamanda daha keyfiyyətli, daha funksional və daha etibarlı kimi dəyərləndirilir. Bu qiymətləndirmə həmişə obyektiv texniki göstəricilərlə üst-üstə düşməsə də, məhsulun subyektiv qəbulu üçün son dərəcə müəyyən edicidir.

Rəng psixologiyası da bu çərçivədə mühüm bir nüans kimi önə çıxır: isti rənglər dinamizm, coşqu və fəallıq vəsaitləri yaradırkən, soyuq rənglər sakitlik, dəqiqlik və etibarlılıq hissi oyadır. Bu fərqliliklər xüsusilə sənaye avadanlıqlarında təhlükəsizlik işarətlərinin rəng kodlaşdırmasında və operatora ünvanlanan vizual interfeys elementlərinin dizaynında geniş istifadə olunur. Material seçimlərinin mühüm estetik və funksional dəyişən olduğu da unudulmamalıdır: materialın sürüşmə müqaviməti, ağırlığı, rəng sabitliyi və vizual dokusu həm məhsulun görünüşünü, həm də istifadə rahatlığını təyin edir.

İnsan-Mərkəzli Dizayn Metodologiyası

Human-Centred Design (HCD) – yəni insanı mərkəzə alan dizayn yanaşması – müasir sənaye dizaynında aparıcı metodoloji axın kimi möhkəm yer tutmuşdur. Bu yanaşma dizayn prosesinin hər mərhələsində – konsept formalaşdırmadan prototip testinə qədər – istifadəçinin real ehtiyaclarını, gündəlik davranış sxemlərini və gözləntilərini layihənin əsas meyarına çevirir. [4]

HCD çərçivəsindəki araşdırmalar istifadəçi müsahibələrinin, iterativ prototipləşdirmənin və çoxdövrlü test proseslərinin məhsulun istifadəyə yararlılığını kəskin şəkildə artırdığını təsdiqləyir. Bundan başqa, bu yanaşma ergonomika ilə estetikanın sərhədlərini bir yerdə aşaraq mühəndis, psixoloq, dizayner və son istifadəçinin birgə yaratdığı multidissiplinar sintezi mümkün edir.

Erqonomika ilə Estetikanın Birgə Tətbiqi

Elmi ədəbiyyatda iki sahənin kəsişmə nöqtəsini araşdıran tədqiqatlar göstərir ki, erqonomika ilə estetikanın koordinasiyalı tətbiqi məhsulun həm obyektiv funksional göstəricilərini, həm də subyektiv istifadəçi dəyərlandırmasını yüksəldir. Bununla belə, bu birgəliyin ən böyük çətinliyi funksiya və vizuallıq tarazlığını

qorumaqdır: ifrat texniki optimallaşdırma estetik dəyəri azalda bilər, aşırı estetik prioritet isə erqonomik meyarları kölgəyə ata bilər.

SWOT Analizinin Dizayn Sahəsindəki Tətbiq İmkanları

Strateji planlaşdırma alətlərindən sayılan SWOT analizi son illərdə dizayn və mühəndislik qərarlarının dəstəklənməsində tədricən yer qazanmışdır. Model, daxili güclü və zəif cəhətləri ilə xarici imkanlar və təhdidlər arasında strukturlu əlaqə qurur; beləliklə, situasiyanın tam mənzərəsini ortaya qoyur. Dizayn layihələrinin risklərini müəyyənləşdirmək, mövcud resursları prioritetlər əsasında bölüşdürmək və strateji qərarları elmi əsaslarla dəstəkləmək üçün bu metodun faydalılığı bir sıra tədqiqatda təsdiq edilmişdir.

Mövcud Tədqiqat Boşluqları

Ədəbiyyatın ümumi dəyərləndirilməsi göstərir ki, ergonika ilə estetika ayrılıqda geniş araşdırılmış sahələrdir; lakin bu iki komponentin sənaye avadanlıqları üzərindəki inteqrativ təsirini SWOT metodologiyası çərçivəsində birlikdə qiymətləndirən tədqiqatların sayı hələlik məhduddur. Bunun başlıca səbəblərindən biri estetik qavrayışın subyektiv xarakteri ilə bağlı metodoloji çətinliklərdir; digəri isə texnologiyanın sürəti ilə araşdırma ənənəsinin adaptasiya sürəti arasındakı fərqdir. Təqdim olunan tədqiqat bu boşluğu doldurmağı məqsəd qoyur.

METODOLOGİYA

Tədqiqat sənaye avadanlıqları dizaynında ergonomika və estetikanın rolunu sistematik şəkildə araşdırmaq məqsədilə keyfiyyətə yönəlmiş tədqiqat paradigmalarına əsaslanır. Metodoloji çərçivə üç əsas yanaşmanın – nəzəri ədəbiyyat sintezi, müqayisəli analiz və strateji qiymətləndirmənin – birlikdə işlədilməsi üzərində qurulmuşdur.

Tədqiqat Dizaynı

İş deskriptiv-analitik xarakter daşıyır; əsas məqsəd sözügedən amillərin dizayn prosesinə təsir mexanizmlərini aydınlaşdırmaqdır. İlkin mərhələdə mövcud akademik mənbələr sistemli şəkildə nəzərdən keçirilmiş, əsas anlayışlar və nəzəri yanaşmalar müəyyən edilmişdir. Ədəbiyyat icmalının ortaya qoyduğu nəticələr tədqiqatın konseptual istinad nöqtəsini formalaşdırmış, sonrakı analiz üçün zəmin yaratmışdır. Bütün mərhələlər boyunca insan-mərkəzli dizayn fəlsəfəsinə sadiq qalıb, istifadəçi ehtiyacları, davranış sxemləri və gözləntilər qiymətləndirmənin istinad meyarları kimi götürülmüşdür.

Məlumat Toplama Üsulları

Tədqiqatda məlumatlar əsasən ikincil mənbələrdən əldə edilib. İstifadə olunan mənbə növləri aşağıdakılardır.

– elmi məqalələr və indekslənmiş akademik jurnalələr;
– beynəlxalq standartlaşdırma orqanlarının normativ sənədləri;
– Tanınmış sanayi tasarımı enstitülerinin raporları;
– sahəyə dair aparılmış əvvəlki empirik tədqiqatlar.

Mənbə seçimində aktuallıq, elmi etibarlılıq və tədqiqat predmeti ilə uyğunluq əsas meyar kimi götürülmüşdür.

Analiz Metodları

SWOT analizi tədqiqatın aparıcı analitik aləti kimi seçilmişdir. Bu metod erqonomika ilə estetikanın avadanlıq dizaynına təsirini dörd kateqoriyaya – güclü tərəflər, zəif tərəflər, imkanlar və təhdidlər – strukturlaşdırılmış şəkildə sıralayır. Güclü tərəflər bölməsi hər iki komponentin məhsulun funksionallığı və istifadəçi məmnuniyyəti üzərindəki müsbət və münaqişəli təsirlərini əhatə edir. Zəif tərəflər bölməsi prinsiplərin reallaşdırılmasında ortaya çıxan maneə və məhdudiyyətlərə fokuslanır. İmkanlar bölməsində texnoloji irəliləyişlər, yeni nəsil materiallar və rəqəmsal dizayn alətlərinin imkanları araşdırılır. Təhdidlər bölməsi isə bazar rəqabəti, büdcə qısıntıları və texniki-estetik narazılıqları kimi xarici riskləri qiymətləndirir. Müqayisəli analiz üsulundan fərqli dizayn yanaşmaları arasındakı fərqləri göstərmək və ergonomika ilə estetikanın tətbiq intensivliyinin sənaye sahələrindəki fərqlərini vurğulamaq üçün paralel istifadə olunmuşdur.

Etibarlılıq və Məhdudiyyətlər

Tədqiqatın elmi etibarlılığını artırmaq üçün yalnız nüfuzlu akademik nəşrlər və sınaqdan keçmiş informasiya mənbələri nəzərə alınmışdır, müxtəlif mənbələrdən gələn məlumatlar çarpaz müqayisə yolu ilə yoxlanmışdır. Bununla belə, işin bir sıra məhdudiyyətləri qeyd olunmalıdır: birincisi, empirik məlumatların (sorğu, eksperiment, istifadəçi testi) məhdud həcmdə cəlb edilməsi nəticələrə ümumiləşdirilmiş xarakter verir; ikincisi, estetik qavrayışın subyektiv təbiəti fərqli istifadəçi qrupları arasında fərqli tərəflər ortaya çıxara bilər ki, bu da nəticələrin ümumi tətbiq dairəsini müəyyən qədər daraldır.

NƏTİCƏ VƏ MÜZAKİRƏ

Aparılan tədqiqatın yekun nəticələri sübut edir ki, sənaye avadanlıqlarının dizaynında ergonomika ilə estetika – tamamlayıcı detallar deyil, məhsulun həm funksional, həm də kommersiya keyfiyyətini müəyyən edən mərkəzi amillərdən biridir. Hər ikisinin koordinasiyalı tətbiqi məhsulun istifadəçi üçün dəyərini artırmaqla yanaşı, istehsal prosesinin optimallaşdırılmasına ciddi töhfə verir.

Erqonomik həllərin tətbiqi istifadəçinin fiziki gərginliyini azaldır, iş axışını daha rahat edir və ümumi əmək məhsuldarlığını yüksəldir. Sənaye avadanlıqlarında operatorun bədən ölçülərinin, hərəkət amplitudunun və yorgunluq dinamikasının layihə mərhələsindən nəzərə alınması iş prosesinin təhlükəsizliyinə müsbət təsir göstərir. Bu baxımdan, erqonomika yalnız rahatlıq təmin etmək deyil, həm risk idarəçiliyinin, həm də iş mühiti mühafizəsinin strateji alətidir.

Estetikanın dizayndakı rolu isə daha çox istifadəçi qavrayış və emosional reaksiya kanalları üzərindən işləyir. Estetik baxımdan düşünülmüş məhsullar istifadəçi tərəfindən daha intuitiv, daha etibarlı və daha 'hazır istifadə' kimi qiymətləndirilir; bu isə birbaşa satış rəqəmlərinə, istifadəçi loyallığına və brend dəyərinə müsbət təsir edir. Beləliklə, estetika yalnız vizual sahədə yox, kommersiya uğurunun şərtləndirilməsində də həlledici rol oynayır.

SWOT analizi çərçivəsindən baxıldıqda, ergonomika ilə estetikanın birgə tətbiqi güclü tərəflər sütununda üç əsas üstünlük yaradır: (1) məhsulun funksional effektivliyinin artması, (2) istifadəçi yönümlü xüsusiyyətlər vasitəsilə bazarda fərqlənmə imkanı, (3) estetik cəlbediciliyin istifadəçi sadakatını artırması. Zəif tərəflər arasında isə əlavə dizayn xərcləri, ixtisaslaşmış mütəxəssisə ehtiyac, layihə müddətinin uzanması və texniki normalar ilə estetik istəklər arasında ziddiyyətlər ön plana çıxır.

İmkanlar baxımından rəqəmsal texnologiyaların – 3D modelləşdirmə, simulyasiya, istifadəçi test platformaları – geniş əlçatan olması dizayn prosesini daha sürətli, dəqiq və daha iterativ edir. Davamlı ekoloji materialların bazara daxil olması isə yeni estetik-funksional kombinasiyaların yolunu açır. Təhlükələr bölməsində isə qlobal rəqabətin intensivləşməsi, büdcə qısıtlamaları və texnoloji dəyişiklik sürətinin tələb etdiyi daim yenilənmə yükü əsas risklər kimi ön plana çıxır.

Bütövlükdə, müzakirə göstərir ki, erqonomika ilə estetikanın tarazlı inteqrasiyası sənaye dizaynında optimal çıxışın şərtlərindən biridir; bu balans isə yalnız texniki bilikdən deyil, həm də analitik düşüncə ilə yaradıcı çevikliyin birliyindən doğur.

Nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, SWOT analizi bu prosesdə strateji qərarvermə üçün effektiv metodoloji çərçivə rolunu oynayır: o, dizayn fəaliyyətinin daha sistemli, daha əsaslı və daha az riskli şəkildə həyata keçirilməsinə imkan yaradır. Gələcək tədqiqatlar üçün isə fərdi sənaye sahələri üzrə empirik məlumatların toplanması və erqonomik-estetik inteqrasiyanın ölçülə bilən göstəricilərinin işlənməsi prioritet istiqamət kimi tövsiyə olunur.

ƏDƏBİYYAT

[1] Pheasant, S., & Haslegrave, C. M. (2006). *Bodyspace: Anthropometry, ergonomics and the design of work* (3rd ed.). CRC Press.

[2] Salvendy, G. (Ed.). (2012). *Handbook of human factors and ergonomics* (4th ed.). John Wiley & Sons.

[3] Crilly, N., Moultrie, J., & Clarkson, P. J. (2004). Seeing things: Consumer response to the visual domain in product design. *Design Studies, 25*(6), 547–577.

[4] International Organization for Standardization. (2019). *Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centered design for interactive systems* (ISO 9241-210:2019).

[5] Kotler, P., & Rath, G. A. (1984). Design: A powerful but neglected strategic tool. *Journal of Business Strategy, 5*(2), 16–21.

[6] Norman, D. A. (2002). *The design of everyday things*. Basic Books.

[7] Bloch, P. H. (1995). Seeking the ideal form: Product design and consumer response. *Journal of Marketing, 59*(3), 16–29.

"ARŞIN MAL ALAN" FİLMİ KONTEKSTİNDƏ MƏKAN QAVRAYIŞI VƏ DAXİLİ MƏKAN ATMOSFERİNİN SEMİOTİK TƏHLİLİ

Rasim Qurbanov
Baş müəllim, Bakı Mühəndislik Universiteti
Memarlıq və İnşaat Fakültəsi, Dizayn Kafedrası
Doktorant, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Universiteti (FSMVÜ)
İncəsənət, Dizayn və Memarlıq Fakültəsi, Daxili Memarlıq Kafedrası
Bakı – Azərbaycan / İstanbul – Türkiyə
raqurbanov@beu.edu.az / rasim.gurbanov@stu.fsm.edu.tr
ORCID: 0000-0005-9025-6388

Xülasə: Məqalə Azərbaycan kino irsinin klassik nümunələrindən biri olan "Arşın Mal Alan" filminin məkan semiotikası perspektivindən araşdırmasına həsr olunmuşdur. Tədqiqatın əsas tezi odur ki, filmdə məkan hadisələrin cərəyan etdiyi passiv arxa fon kimi yox, narrativ mənanı aktiv şəkildə inşa edən, emosional gərginliyi yaradan və mədəni kodları tamaşaçıya ötürən dinamik semiotik sistem kimi fəaliyyət göstərir. Bu nəzəri çərçivə daxilində filmdəki daxili məkanlar, dekorativ kompozisiya, işıqlandırma rejimi, rəng sistemi, kadra arxitekturası və musiqi müşayiəti bir-birini tamamlayan göstəricilər toplusu kimi sistemli analizə qoyulmuşdur.

Araşdırmada keyfiyyət yönümlü interpretativ metodologiyadan istifadə edilmişdir; Roland Barthes-in denotasiya–konotasiya nəzəriyyəsi ilə Christian Metz-in kino dilinin semiotik quruluşuna dair konseptuallıq metodoloji istinad kimi götürülmüşdür. Seçilmiş kinosəhnələrin sistemli vizual analizi həyata keçirilmiş, məkanda yerləşdirilmiş göstəricilərin hansı məna strukturları inşa etdiyini izlənmişdir. Tədqiqat boyunca gender rollarının məkansallaşdırılmış kodlaşdırılmasına, interyer elementləri vasitəsilə sosial statusun görünən hala gətirilməsinə və ənənəvi-müasir estetik sistemlərin toqquşmasına xüsusi metodoloji diqqət yetirilib.

Nəticə olaraq müəyyənləşdirilmişdir ki, filmdəki məkan quruluşu gender asimmetriyasını, sosial iyerarxiyanı və ənənə-modernlik gərginliyini görünən semiotik formaya salan əsas estetik-narrativ mexanizmdir. Eyni zamanda, işıq, rəng və musiqi elementlərinin sinerqik birliyi məkan atmosferinin emosional tutumunu gücləndirir və izləyicinin qavrayışını müəyyən istiqamətdə yönəldir. Nəticə etibarilə, "Arşın Mal Alan" filmindəki məkan sistemi həm tarixi-mədəni yaddaşın daşıyıcısı, həm də ideoloji mövqeyin və psixoloji mənanın ötürücüsü funksiyasını üzərinə götürür.

Açar sözlər: *Arşın Mal Alan, semiotika, məkan qavrayışı, daxili məkan atmosferi, kino analizi, mədəni təmsil, kinematoqrafiya.*

Abstract: This article examines the spatial semiotics of "Arshin Mal Alan," a canonical work in Azerbaijani cinematic heritage. The study's central argument is that space in the film functions not as a passive scenic backdrop but as a dynamic semiotic system that actively constructs narrative meaning, generates emotional tension, and transmits cultural codes to the viewer. Within this theoretical framework, the film's interior settings, decorative composition, lighting design, color palette, cinematographic framing, and musical accompaniment are systematically analyzed as an interconnected ensemble of signifying components.

The research employs a qualitative interpretive methodology, drawing on Roland Barthes's denotation–connotation theory and Christian Metz's conceptual framework for the semiotic structure of cinematic language. A systematic visual analysis of selected scenes was conducted to trace the meaning structures constructed through spatially arranged signs. The analysis focused on the spatial encoding of gender roles, the visual rendering of social status through interior elements, and the collision between traditional and modern aesthetic systems.

The findings establish that the film's spatial organization is the principal aesthetic-narrative mechanism through which gender asymmetry, social hierarchy, and the tradition–modernity tension are rendered visible. Concurrently, the interplay of light, color, and music amplifies the emotional register of the spatial atmosphere, steering the viewer's perception in a specific direction. Accordingly, the spatial system of "Arshin Mal Alan" functions simultaneously as a carrier of historical-cultural memory and as a transmitter of ideological stance and psychological meaning.

Keywords: *Arshin Mal Alan, semiotics, spatial perception, interior atmosphere, film analysis, cultural representation, cinematography.*

GİRİŞ

Çağdaş film araşdırmalarında məkan anlayışı köklü bir paradigmatik dəyişikliyə uğramışdır: Məkan artıq hadisələrin cərəyan etdiyi neytral fiziki çərçivə olaraq deyil, mənanı fəal biçimdə istehsal edən mühüm struktural vahid kimi dəyərləndirilir. [3] Kino dili daxilində məkanın kompozisiyası, vizual arxitekturası və atmosfera keyfiyyətləri personajların psixoloji dünyasının, sosial münasibətlər sisteminin və mədəni kodların ekranda görünən hala gətirilməsinin konstruktiv vasitəsinə çevrilir. Bu səbəbdən, məkanın analizi filmin yalnız estetik qatını yox, eyni zamanda ideoloji və semantik dərinliklərini açan metodoloji açar rolunu oynayır.

"Arşın Mal Alan" filmi Azərbaycan milli mədəniyyət və tarixi üçün xüsusi simvolik əhəmiyyət daşıyan bir sənət əsəridir. Əsər romantik-komik süjet quruluşu ilə geniş auditoriyanın sevgisini qazanmaqla yanaşı, dövrün sosial nizamını, gender münasibətlərini və ənənəvi həyat tərzinin dinamikasını məkanın dili vasitəsilə göstərir. Filmdəki daxili məkanlar, ailə mühiti, sosial-kommunikativ sahələr və dekorativ ekran dili yalnız estetik tamamlayıcılar olmaqla qalmır; bunlar davranış normalarını, sosial məhdudiyyətləri və kimlik kodlarını inşa edən aktiv semantik sahələrə çevrilirlər.

Semiotik yanaşma məhz bu cür çoxqatlı strukturların sistemli oxunuşunu mümkün edən analitik çərçivəni təmin edir. Göstəricilər toplusu olaraq məkan həm maddi obyektləri, həm vizual nizamı, həm də simvolik mənaları bir arada ehtiva edir. [1] Bu nəzəri əsasdan çıxış edərək, söz mövzusu araşdırmada "Arşın Mal Alan" filmi daxili məkan atmosferi və məkan qavrayışı problematikası çərçivəsindən semiotik baxışla yenidən sorğulanır.

ƏDƏBİYYAT İCMALI

Kino Semiotikasının Konseptual Əsasları

Kino semiotikası vizual məkan, obrazlar sistemi və işarə strukturu arasındakı münasibətlərin şəbəkəsini araşdıran nəzəri-metodoloji istiqamətdir. Bu sahənin fundamental nümayəndəsi Roland Barthes, göstəricilərin iki həmişə-üst-üstə düşməyən analitik səviyyədə — denotativ (literalsən, birinci dərəcəli mənada) və konotativ (assosiasiyalı, ideoloji yüklü mənada) — eyni anda fəaliyyət göstərdiyini nəzəri dəqiqliklə açıqlamışdır. [1] Bu konseptual çərçivədən çıxış edildikdə, daxili məkan yalnız fiziki yer kimi deyil, müəyyən sosial dəyərləri, güc münasibətlərini və mədəni ideologiyaları kodlayan konotasiyalar şəbəkəsi kimi qiymətləndirilir.

Christian Metz kinonu özünəməxsus sintaktik-semantik sistemi olan dilbənzəri semiosis strukturu kimi təhlil etmişdir; obrazların, ardıcıllıqların və məkansal düzümlərin mənəvi istehsalı mexanizmlərini sistemli şəkildə şərh etmişdir. [4] Bu nəzəri perspektivdən baxdıqda, vizual elementlər — məkanın quruluşu, işıq həlli, rəng sistemi, kadraj — izolə texniki xüsusiyyətlər deyil, bir-biri ilə üzvi sinerji quran kompleks göstərir.

Kino Məkanının Sosial və Gender Ölçüsü

Feminist film nəzəriyyəsinin öncül nümayəndəsi Laura Mulvey kino məkanının simvolik olaraq genderləşdirildiyini elmi dəqiqliklə önə çıxarmış; ekranda qadın bədəninin və qadın mövcudluğunun vizuallaşdırılma biçiminin özünün patriarxal sosial nizamı yenidən istehsal etdiyini mübahisəsiz şəkildə göstərmişdir. [5] Filmdə məkansallaşdırma vasitəsilə qadın obrazlarının qapalığa sıxışdırılması bu nəzəri iddianın konkret ekran görüntüsünü təşkil edir.

Humanist coğrafiya çərçivəsindən Yi-Fu Tuan məkanı yalnız coğrafi koordinat kimi deyil, insan təcrübəsinin, mədəni aidiyyətin və fərdi kimliyin formalaşdığı fenomenoloji çərçivə kimi araşdırmışdır. [6] Bu perspektivdən, filmdəki məkan quruluşu toplumsal münasibətlər sisteminin görünən vizual xəritəsinə çevrilir.

Atmosfer, İşıq və Rəng Semiotikası

Herbert Zettl ekran produk-siyasında işıq, rəng, səslə və kamera quruluşunun emosional atmosferin inşasındakı konstruktiv rolunu sistemli şəkildə ortaya qoymuşdur. [7] Bu nəzəri yanaşmaya görə, məkan atmosferi rastgəl texniki seçimlərin məhsulu deyil; izləyicinin emosional qavrayışını müəyyən edən, öncədən planlanmış estetik qərarların sistemli ifadəsidir. Umberto Eco isə estetik kodların mədəni yolla inşa olunduğunu və hər zaman müəyyən ideoloji çərçivədən deşifr olunduğunu vurğulamışdır. [2]

Tədqiqat Boşluğu

Azərbaycan kino irsinin milli-mədəni zənginliyinə rəğmən, "Arşın Mal Alan" filmini məkan semiotikası perspektivindən araşdıran sistemli akademik tədqiqatların sayı kritik ölçüdə məhduddur. Mövcud elmi işlər əsasən əsərin ədəbi mənbəyi, dramaturgiyası və ya musiqili kino janrının tarixi seyri baxımından qiymətləndirmə xarakterlidir. Daxili məkan atmosferinin narrativ məna istehsalındakı semiotik rolu isə hələ

lazımi akademik əhatə ilə araşdırılmamışdır. [3] Sözügedən tədqiqat boşluğunu doldurmaq bu işin əsas elmi istiqamətini müəyyən edir.

METODOLOGİYA

Tədqiqat Dizaynı

Araşdırma keyfiyyət yönümlü deskriptiv-analitik metodoloji modelin parametrlərinə uyğun qurulmuşdur. Metodoloji çərçivənin formalaşdırılmasında Roland Barthes-in işarə nəzəriyyəsinin əsas anlayışlarından — xüsusilə denotasiya-konnotasiya ikiliyi ilə mifoloji söyləm konseptindən — məhsuldar şəkildə istifadə edilmişdir. [1] Paralel olaraq Christian Metz-in "böyük kinematoqrafik aparatı" modeli kinodakı məna istehsalı mexanizmlərinin şərhi üçün tamamlayıcı analitik istinad kimi işlədilmişdir. [4] Bu iki nəzəri yanaşmanın sintezi filmdəki məkanın yalnız vizual qatını deyil, dərin semantik strukturunu da açmağa metodoloji imkan yaradır.

Məlumat Toplama Üsulları

Tədqiqatın məlumat bazası filmin seçilmiş səhnələrinin müşahidəyə əsaslanan sistemli vizual analizindən ibarət olur. Analiz prosesinin strukturu aşağıdakı komponent qrupları üzrə müəyyənləşdirilmişdir.

– daxili məkanların plan quruluşu, kompozisiyası və məkansallaşdırma məntiqi;
– mebel, dekorativ obyektlər və onların məkan daxilindəki yerləşdirmə sxeminin semiotik anlamı;
– işıqlandırma rejimlərinin atmosferik və emosional xarakteri; [7]
– dominant rəng palitrasının atmosfer yaradıcı funksiyası; [2]
– kamera bucaqları, kadraj seçimlərinin dramatik mənası və hərəkət trayektoriyaları; [4]
– musiqi müşayiəti ilə məkan atmosferi arasındakı emosional-semantik uyum.
– Personajların məkan daxilindəki hərəkət, yerləşmə sxemləri və sosial mövqe kodları. [5]

Etibarlılıq və Məhdudiyyətlər

Araşdırma empirik-statistik ölçmə əsasında deyil, mənanı interpretasiya etmə metodologiyasına söykənir; bu səbəbdən nəticələr statistik deyil, semantik-mədəni xarakter daşıyır. Tədqiqatın əsas metodoloji məhdudiyyəti budur ki, estetik qavrayış subyektiv bir fenomendir; müxtəlif mədəni kontekstlərə mənsub izləyici qrupları arasında fərqli şərh variantları qaçılmazdır. [2] Bununla belə, metodoloji çərçivənin ardıcıl tətbiqi, nüfuzlu nəzəri mənbələrə daimi istinad və analiz prosesinin şəffaf biçimdə sənədləşdirilməsi işin akademik etibarlılığını gücləndirən əsas amillərdir.

TƏHLİL VƏ MÜZAKİRƏ

Məkanın Genderlənmiş Strukturu

Filmdəki məkan dramaturgiyasının ən belirgin semiotik xüsusiyyəti gender ayrımının məkansallaşdırılmış inşasının sistematik şəkildə həyata keçirilməsidir. Qadın personajlar ağırlıqlı olaraq qapalı, nəzarət altında saxlanılan və hərəkət imkanları məhdudlaşdırılmış daxili mühitlərdə yerləşdirilir; bu məkansallaşdırma onların toplumsal hərəkət azadlığının struktural olaraq sıxışdırıldığını simvolizə edir. [5] Pəncərə kənarı, pərdə arxası və qapı eşiyi kimi interyer elementləri bu kontekstdə sadə məkan detalları deyil, keçid arzusu, həsrət, məhdudiyyət və gizli taleyin çoxqatlı metaforalarına çevrilir. Daxili məkan beləliklə qadın kimliyinin patriarxal toplumsal çərçivə içərisindəki mövqeyini görünən edən əsas semiotik səthin özünə dönüşür.

Buna dialektik qarşılıq olaraq, kişi personajların daha açıq, keçidli, çoxşəxsli ictimai mühitlərlə əlaqələndirilməsi onların sosial mobilliyini vurğulayan semiotik seçim kimi dəyərləndirilməlidir. Bazarı canlandıran kütləvi kino səhnələri, ictimai yığıncaqlar, küçə görüşləri — bütün bu məkan tipləri kişilərin toplumun daha geniş sosial kəsiminə sərbəst çıxış hüququna malik aktiv subyektlər kimi qurulduğunu nümayiş etdirir. [5] Bu vizual differensiasiya filmin məkan dramaturgiyasının genderləşdirilmiş sosial strukturun konstruktiv semiotik kodu kimi işlədilməsinin əyani sübutudur.

İnteryer Dili və Sosial Status

Filmdə daxili məkan kompozisiyası sosial statusun vizual semiotik oxunuşunu mümkün edən başlıca kod sistemlərindən birinə çevrilmişdir. Yüksək sosial mövqe sahibi ailə mühitlərinin ekran görüntülərində nəzəri çarpan iri otaqlar, ornamental xalça örtükləri, incə işlənmiş oyma mebel və dəbdəbəli tekstil elementləri yalnız maddi varlıq düzəyini deyil, eyni zamanda mədəni kapital sahibi olmasını da göstərir. [3] Sadə məişət mühitlərini ekrana gətirən görüntülərdə isə funksionallıq estetik süslülüyün önünə keçir; bu minimalizm sosial iyerarxiyanın alt pillələrinin vizual kodlaşdırılması kimi semiotik mənalanır. Beləliklə, interyer dili filmdə sosial fərqlənmənin materiallaşdığı aktiv simvolik sahəyə çevrilir.

İşıq, Rəng Sistemi və Emosional Atmosfer

İşıq və rəng elementlərinin məkan atmosferinin emosional yükünə birbaşa təsir göstərdiyi filmin vizual dilinin ən əhəmiyyətli xüsusiyyətlərindən biridir. İsti rəng spektrinin hakim olduğu interyer kompozisiyaları ənənəvi ailə mühitinin istiliyi, yaxınlığı, xüsusiyyətləri və nostalji duyğusunu güclü şəkildə qurur. [7] Buna qarşılıq, neytral və soyuqrəng tonları dəyişən estetik zövqləri, Avropa-oriyentasiyalı modernlik maraqlarını və sosial transformasiyanın sürüşməsini işarə edir. [2] Az işıqlandırılmış, kölgəli mühitlər daxili gərginliyi və psixoloji çıxılmaz vəziyyəti vurğulayır; geniş və parlaq işıqlandırma isə harmonik duyğu vəziyyətlərini, sosial rahatlığı və estetik balansı ifadə edir. Bütün bu vizual seçimlər işıq və rəngin yalnız texniki və estetik vasitə kimi deyil, həm də emosional məna yaradan aktiv semiotik agent kimi fəaliyyət göstərdiyini ortaya qoyur.

Kadraj Arxitekturası və Güc Münasibətləri

Filmdəki kamera həlləri məkan semantikasını daha dərin analitik perspektivdən açıqlayan tamamlayıcı vizual dil qurur. Məhdud çərçivə içərisindəki qadın obrazları sıxışdırılmış toplumsal mövqeyi vizual biçimdə cisimləşdirir; geniş açıq çərçivə və ya həndəsi mərkəzə konumlandırma ilə verilən kişi obrazları hakimiyyət, nəzarət və sosial dominantlıq hissini gücləndirən işarələr sistemi qurur. [4] Yüksəkdən aşağı istiqamətli kamera bucaqları personajın sosial zəifliyini və kiçikliyini vurğulayırsa, əksinə aşağıdan yuxarı istiqamətdə güc tutumunu və nüfuzu böyüdür. Bu vizual fərqləndirmə tamaşaçının personajların sosial mövqeyini məkansallaşdırılmış vizual kodlar vasitəsilə şüuraltı olaraq deşifr etməsini mümkün edir.

Musiqi–Məkan Sinerqisi

Filmdə musiqi ilə məkan arasında qurulan semantik birlik ayrıca tədqiq edilməyə layiq metodoloji əhəmiyyətə malikdir. Milli musiqi motivlərinin ənənəvi interyer mühitlərini müşayiət etməsi bu məkanların etnik-mədəni kimliyini estetik sinerjinin gücü ilə möhkəmləndirir; eyni zamanda eşitmə qatında yaradılan atmosfer vizual məkana əlavə emosional dərinlik gətirir. [7] Tənha, daxili konflikt daşıyan epizodlarda musiqi, məkanın melankolik tutumunu artıraraq izləyicinin psixoloji vəziyyətini vizual sinyallarla uyumlu şəkildə formalaşdırır. Bu çoxqatlı sinerji filmdə eşitmə komponentinin məkan anlayışından ayrılmaz estetik bütövlük təşkil etdiyini göstərir.

Ənənə–Modernlik Gərginliyi

Filmin estetik-ideoloji konfliktinin ən görünən ifadə səthi interyer kompozisiyasında ənənəvi və müasir elementlərin eyni vizual çərçivədə bir araya gəlməsidir. Şərq ornamental motifli xalçaların yanında Avropa üslublu kreslo, şamın yerinə işlənən masaüstü işıqlandırma cihazları, divarları dolduran nümayiş güzgüləri — bütün bunlar mədəni keçid dövrünün vizual-material şəhadətidir. Bu estetik birlikdəlik nə ənənəni, nə də modernliyi saf formada təmsil edir; əksinə, cəmiyyətin o dövrdə yaşadığı ideoloji tərəddüdün — həm köklərə bağlılığın, həm yeniliyə marağın — estetik xəritəsini çəkir. Bu analitik oxşar baxımdan filmdəki məkan sistemini sadə tarix epizodunun fonu kimi görmək metodoloji baxımdan mümkün deyil; o, dövrün ideologiyasının vizual-simvolik arxividir.

Cədvəl 1. "Arşın Mal Alan" Filmində Məkan Göstəricilərinin Semiotik Dəyərləndirilməsi

Təhlil istiqaməti	Müşahidə olunan elementlər	Semiotik interpretasiya
Gender və məkan strukturu	Qadın personajlarının məhdud, qapalı daxili məkanlarda; kişi personajlarının açıq ictimai sahələrdə konumlandırılması	Patriarxal sosial nizamın məkansallaşdırılmış ifadəsi; gender rollarının vizual semiotik kodlaşdırılması [5]
İşıqlandırma sistemi	Zəif və kölgəli işıqlandırma dramatik epizodlarda; parlaq, geniş işıq harmonik və sosial canlılıq səhnələrində	İşıq intensivliyi personajın emosional halını və səhnənin semantik yükünü inşa edən göstərici kimi fəaliyyət göstərir [7]
Rəng palitrasının funksiyası	İsti rəng tonları ənənəvi interyer mühitlərini; neytral və soyuq tonlar müasir-Avropa üslublu məkanları müşayiət edir	Rəng sistemi mədəni keçid dövrünü və sosial atmosfer differensiasiyasını simvolik olaraq xəritələyir [2]
Dekorativ elementlər və mebel	Ornamental xalçalar, oyma mebel, zəngin tekstil yüksək sosial mühiti; sadə funksional	İnteryer dili sosial differensiasiyaın görünən formaya çevrildiyi aktiv

	avadanlıq aşağı sosial mövqeyi kodlaşdırır	semiotik kod sistemidir [1]
Kadraj və kamera arxitekturası	Məhdud çərçivə, yuxarıdan aşağı bucaq qadın obrazlarında; geniş çərçivə, mərkəzi yerləşdirmə kişi fiqurlarında	Hakimiyyət, sosial məhdudiyyət və mövqe münasibətləri vizual olaraq kodlaşdırılır; tamaşaçı instinktiv deşifr edir [4]
Musiqi–məkan sinerqisi	Ənənəvi milli melodiyaların ənənəvi interyer mühitləri ilə uyumlu müşayiəti	Eşitmə qatı mədəni aidiyyəti möhkəmləndirir; məkan atmosferinin psixoloji tutumunu dərinləşdirir [7]
Ənənə–modernlik ziddiyyəti	Şərq ornamental elementlərinin Avropa üslublu mebel, güzgü və işıq armaturaları ilə eyni mühitdə birgə istifadəsi	Mədəni transformasiya dövrünün estetik xəritəsi; ideoloji ikili-aidiyyətin vizual arxivi [3]

NƏTİCƏ VƏ MÜZAKİRƏ

Aparılmış semiotik araşdırmanın yekun nəticəsi bu əsas fikri aşkarca təsdiqləyir: "Arşın Mal Alan" filmindəki daxili məkanlar dramatik hadisənin cərəyan etdiyi passiv fon olmaqdan çıxıb, əsərin narrativ quruluşunda və mədəni məna istehsalında fəal iştirak edən əsas estetik vasitəyə çevrilmişdir. [1] Məkanın kompozisiyası, dekorativ nizamı, işıq-rəng sistemi və atmosferik keyfiyyətləri bir-birilə üzvi sinerji quraraq gender asimmetriyasını, sosial iyerarxiyanı, mədəni aidiyyəti və modernləşmə prosesinin ziddiyyətlərini görünən semiotik formaya salır.

Tədqiqatın nəticələri həm də göstərir ki, interyer kompozisiyası, işıq-rəng sistemi, dekorativ seçim və musiqi müşayiəti vahid bütöv olaraq fəaliyyət göstərir; bu bütövlük tamaşaçının emosional qavrayışını istiqamətləndirib və dərinləşdirən güclü atmosferik mexanizm yaradır. [7] Filmdəki məkan sistemi bu yolla həm estetik-hissi, həm də ideoloji-semantik xüsusiyyətlərdə eyni zamanda işləyən funksional quruluş kimi çıxış edir.

Nəticə etibarilə, "Arşın Mal Alan" filmi Azərbaycan kinematoqrafiyasında məkanın semantik potensialını ən aydın şəkildə nümayiş etdirən nümunələrdən biri kimi qiymətləndirilməlidir. [4] Bu baxımdan, kino məkanının semiotik araşdırması həm filmşünaslıq üçün, həm də interyer nəzəriyyəsi və mədəniyyət tədqiqatları üçün məhsuldar metodoloji imkanlar açır.

TÖVSİYƏLƏR

Gələcək araşdırmalar bu istiqaməti bir neçə prioritet xətt üzrə daha da inkişaf etdirə bilər.

– Azərbaycan kinematoqrafiyasının digər klassik əsərləri ilə müqayisəli məkan analizi aparılmalı; bu cür komparativist tədqiqat milli kino estetikasının semiosis evolyusiyasını aydınlaşdıracaq. [3]

– Yalnız daxili məkanlar deyil, xarici mühitlər, arxitektura keçid zonaları və ictimai həyət məkanları da semiotik analizə daxil edilməlidir.

– Məkan qavrayışının izləyici üzərindəki psixoloji təsiri empirik üsullarla — fokus qrup müsahibəsi, göz izləmə texnologiyası (eye-tracking) və eksperimental qavrayış dizaynı — ölçülüb qiymətləndirilməlidir.

– Kino-memarlıq münasibətlərini əhatə edən disiplinlərarası metodoloji modellər daha sistemli akademik platformalarda inkişaf etdirilməlidir.

ƏDƏBİYYAT

[1] Barthes, R. (1977). Image, Music, Text. Hill and Wang.
[2] Eco, U. (1976). A Theory of Semiotics. Indiana University Press.
[3] Lotman, Y. (1990). Universe of the Mind: A Semiotic Theory of Culture. Indiana University Press.
[4] Metz, C. (1974). Film Language: A Semiotics of the Cinema—University of Chicago Press.
[5] Mulvey, L. (2006). Visual and Other Pleasures. Palgrave Macmillan.
[6] Tuan, Y. (1977). Space and Place: The Perspective of Experience. University of Minnesota Press.
[7] Zettl, H. (2005). Television Production Handbook. Wadsworth.

BEU
BAKU ENGINEERING UNIVERSITY

Academy of the
State Customs Committee
Republic of Azerbaijan



İQTİSADİYYAT

DAİRƏVİ İQTİSADİYYAT PRİNSİPLƏRİNİN AZƏRBAYCAN İQTİSADİYYATINDA TƏTBİQİ

Ayda Aslan qızı Arzumanova
Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti UNEC Zaqatala filialı
İqtisadiyyat və menecment departamenti
İqtisadiyyat və idarəetmə bölməsi
aydaarzumanovaa@gmail.com
Zaqatala, Azərbaycan.
https://orcid.org/0009-0005-0340-9631

Xülasə: Məqalədə müasir dövrün ən aktual iqtisadi modellərindən biri olan dairəvi (circular) iqtisadiyyatın Azərbaycanın mövcud iqtisadi mühitinə inteqrasiyası məsələləri araşdırılır. Xətti iqtisadi modeldən dairəvi modelə keçidin resurs səmərəliliyi, tullantıların idarə olunması və ekoloji dayanıqlıq baxımından əhəmiyyəti təhlil edilir. Tədqiqat zamanı yerli sənaye və kənd təsərrüfatı sektorlarındakı potensial imkanlar, eləcə də bu sahədə mövcud olan çətinliklər (investisiya, qanunvericilik və s.) nəzərdən keçirilmişdir.
Açar sözlər: dairəvi iqtisadiyyat, davamlı inkişaf, resursların səmərəli istifadəsi, iqtisadiyyat, Azərbaycan
Abstract: This research explores the integration of the circular economy—one of the most relevant economic models of the modern era—into Azerbaijan's current economic environment. The study analyzes the significance of transitioning from a linear economic model to a circular one in terms of resource efficiency, waste management, and environmental sustainability. The research examines potential opportunities within local industrial and agricultural sectors, as well as existing challenges such as high initial investment requirements and legislative gaps.
Keywords: circular economy, sustainable development, resource efficiency, economy, Azerbaijan

Giriş

Müasir iqtisadi inkişaf artıq yalnız maliyyə göstəriciləri ilə ölçülmür; ekoloji dayanıqlıq, resursların səmərəli istifadəsi və tullantıların minimuma endirilməsi iqtisadiyyatın əsas meyarlarından birinə çevrilmişdir. Bu baxımdan dairəvi iqtisadiyyat prinsipləri davamlı inkişafın təmin edilməsində innovativ və strateji yanaşma kimi diqqət çəkir. Qlobal təcrübələr göstərir ki, məhsul və materialların dövriyyədə qalma müddətinin artırılması, tullantıların təkrar emalı və resurs səmərəliliyinin yüksəldilməsi həm iqtisadi mənfəət, həm də ekoloji balans yaradır.

Hazırda Azərbaycan iqtisadiyyatında dairəvi yanaşmaların tətbiqi hələ ilkin mərhələdədir və bu sahədə geniş elmi-praktiki tədqiqatlara ciddi ehtiyac duyulur. Mövcud təşəbbüslər əsasən kənd təsərrüfatı və sənaye sektorunda həyata keçirilən bəzi pilot layihələr və bərpa olunan enerji cəhdləri ilə məhdudlaşır. Lakin ölkə iqtisadiyyatının uzunmüddətli dayanıqlılığını təmin etmək üçün dairəvi modelin sistemli şəkildə bütün sahələrə inteqrasiyası vacibdir. Dairəvi iqtisadiyyat prinsipləri müasir iqtisadi inkişafda davamlılığın təmin olunmasında mühüm rol oynamaqla yanaşı, resursların səmərəli istifadəsini və məhsulların təkrar iqtisadi dövriyyəyə daxil edilməsini nəzərdə tutur.

Tədqiqatın Məqsədi

Bu tədqiqatın məqsədi Azərbaycan iqtisadiyyatında dairəvi iqtisadiyyat prinsiplərinin tətbiq imkanlarını təhlil etmək, onların iqtisadi, sosial və ekoloji üstünlüklərini müəyyən etməkdir. İşdə istifadə olunan metodologiya əsasən analitik və müqayisəli yanaşmaya, statistik məlumatların təhlilinə və yerli praktik nümunələrin araşdırılmasına əsaslanır. Tədqiqat, kənd təsərrüfatı, sənaye və xidmət sektorlarında dairəvi iqtisadiyyatın potensial tətbiq imkanlarını və innovativ texnologiyaların rolunu qiymətləndirir (Korhonen və başqaları, 2018)

Tədqiqatın Metodu

Tədqiqatda sistemli analiz və müqayisəli yanaşma üsullarından istifadə edilmişdir. Azərbaycanın müxtəlif iqtisadi sektorları üzrə təkrar emal və resurs qənaəti imkanları beynəlxalq təcrübə ilə paralellər aparılaraq qiymətləndirilmişdir.



Şəkil 1. *Cədvəl müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.*

Şəkildə dairəvi iqtisadiyyatın Azərbaycanda tətbiq oluna biləcəyi əsas sektorlar ümumi şəkildə göstərilmişdir və bu bölgü statistik deyil, müəllifin ümumi təhlilinə əsaslanır. **(Şəkil 1)**

1. Azərbaycanda dairəvi iqtisadiyyat prinsiplərinin tətbiqi hələ tam formalaşmasa da, bəzi sahələrdə müəyyən elementlər müşahidə olunur.
2. Kənd təsərrüfatında bitki və heyvandarlıq qalıqlarının gübrə və enerji məqsədilə istifadəsi resursların səmərəli idarə olunmasına imkan yaradır (Kənd Təsərrüfatı Nazirliyi, 2022).
3. Sənaye sektorunda isə xüsusilə Bakı və Sumqayıt sənaye zonalarında tullantıların təkrar emalı prosesləri həyata keçirilir ki, bu da xammal xərclərinin azalmasına səbəb olur (İqtisadiyyat Nazirliyi, 2023).
4. Enerji sektorunda bərpa olunan enerji layihələrinin inkişafı dairəvi iqtisadiyyat prinsiplərinə uyğun olaraq alternativ resurslardan istifadəni genişləndirir (IRENA, 2020).
5. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsinin məlumatlarına əsasən, ölkədə hər il əhəmiyyətli həcmdə məişət və sənaye tullantıları formalaşır və onların yalnız bir hissəsi təkrar emala cəlb olunur (Dövlət Statistika Komitəsi, 2023).

Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsinin 2023-cü il məlumatlarına əsasən, ölkədə formalaşan tullantıların idarə olunması göstəriciləri dairəvi modelin zəruriliyini sübut edir:

- **Sənaye tullantıları:** İstehsalatda yaranan tullantıların təkrar emal dərəcəsi sənaye parkları (məsələn, Sumqayıt Kimya Sənaye Parkı) sayəsində artsa da, ümumi həcmdə hələ də aşağıdır.
- **Məişət tullantıları:** Ölkə üzrə yaranan məişət tullantılarının yalnız təqribən 20-25%-i təkrar emala və ya enerji istehsalına cəlb olunur (Balaxanı Tullantıların Çeşidlənməsi Zavodu və s.).
- **Kənd təsərrüfatı:** Heyvandarlıq və bitkiçilik tullantılarının cəmi 10%-dən az hissəsi biogaz və ya üzvi gübrə kimi dövriyyəyə qayıdır.

1. **Mövcud tətbiqlər:**

Azərbaycanda bu sahədə ilk addımlar artıq atılmaqdadır. Bəzi regionlarda biogaz texnologiyalarının tətbiqi ilə bağlı təşəbbüslər mövcuddur və bu sahədə inkişaf potensialı müşahidə olunur. Sumqayıt Kimya Sənaye Parkı və Bakıdakı tullantıların poliqon idarəçiliyi sənaye tullantılarının təkrar emalı istiqamətində mühüm bazadır.

Buna baxmayaraq, modelin geniş tətbiqi qarşısında bir sıra maneələr mövcuddur:

- **Yüksək investisiya tələbi:** Müasir təkrar emal texnologiyalarının bahalı olması müəssisələr üçün maliyyə yükü yaradır.
- **Maarifləndirmə və kadr çatışmazlığı:** Sahibkarlar və fermerlər arasında dairəvi iqtisadiyyatın faydaları haqqında biliklərin azlığı tətbiq prosesini ləngidir.
- **İnstitusional baza:** Sahə üzrə xüsusi qanunvericilik aktlarının və dövlət subsidiyalarının təkmilləşdirilməsinə ehtiyac vardır.

2. **İnkişaf perspektivləri və tövsiyələr:**

1. Dövlət və özəl sektor arasında əməkdaşlığın gücləndirilməsi, subsidiyaların və stimullaşdırıcı proqramların tətbiqi.

2. Fermerlər və müəssisələr üçün təlim və təcrübə proqramlarının təşkil edilməsi.
3. Innovativ texnologiyaların tətbiqi və sənaye simbiozu modelinin genişləndirilməsi.
4. Kənd təsərrüfatı tullantılarının enerji və gübrə kimi istifadəsinin təşviqi, eyni zamanda sənaye tullantılarının təkrar emalının artırılması.
5. Yerli və beynəlxalq layihələrin adaptasiyası və pilot layihələrin genişləndirilməsi, təcrübənin digər regionlara yayılması.

Dairəvi iqtisadiyyatın Azərbaycanda geniş tətbiqi həm ekoloji dayanıqlığı, həm iqtisadi məhsuldarlığı, həm də sosial inkişafı təmin edə bilər. Tədqiqat göstərir ki, sistemli yanaşma və dövlət dəstəyi ilə dairəvi iqtisadiyyat uzunmüddətli davamlı inkişafın əsas alətinə çevrilə bilər (Geissdoerfer və başqaları, 2017)

Dünyada Tətbiq Olunan Modellər və Nəticələri

Dünya təcrübəsi göstərir ki, dairəvi iqtisadiyyatın müxtəlif modelləri ölkələrin iqtisadi və ekoloji dayanıqlığını əhəmiyyətli dərəcədə gücləndirir. Bu modellər resursların effektiv istifadəsi, tullantıların azaldılması və iqtisadi dövriyyənin təkmilləşdirmə prinsiplərinə əsaslanır (Geissdoerfer və başqaları, 2017)

1. **“Reuse–Recycle–Reduce” modeli**. Bu model Avropa İttifaqında geniş tətbiq olunur və əsas prinsipi yenidən istifadə, təkrar emal və tullantıların azaldılmasıdır. Məhsul qalıqları və istifadə olunmuş materiallar dövriyyəyə qaytarılır, tullantılar minimuma endirilir. Bu yanaşma nəticəsində resurs itkisi əhəmiyyətli dərəcədə azalır və ekoloji yük yüngülləşir (Murray, Skene, və başqaları). Məsələn, Almaniyada plastik və kağız tullantılar sistemli şəkildə təkrar emal olunur, yeni xammal istifadəsi azalır və tullantı sahələrinə düşən yük əhəmiyyətli dərəcədə azalır.

2**. “Industrial Symbiosis” modeli**. Skandinaviya ölkələrində tətbiq olunan bu model müəssisələr arasında simbiotik əməkdaşlıq prinsipinə əsaslanır. Burada bir müəssisənin tullantısı digərinin xammalı kimi istifadə olunur . Bu yanaşma nəticəsində istehsal xərcləri azalır, tullantılar iqtisadi dəyərə çevrilir və resurslar daha qənaətli istifadə olunur. Məsələn, İsveçdə metal emalı və kağız istehsalında tullantılar digər istehsal sahələrinin xammalı kimi istifadə edilir.

3**. Enerji sektorunda “Renewables Integration” modeli**. Almaniya və Danimarkada geniş tətbiq olunan bu model bərpa olunan enerji mənbələrinin iqtisadi dövriyyəyə daxil edilməsini nəzərdə tutur. Günəş, külək və biogaz kimi enerji növləri enerji şəbəkəsinə inteqrasiya olunur və iqtisadi fəaliyyət üçün stabil enerji təminatı yaradır. Bu yanaşmanın nəticəsi olaraq enerji asılılığı azalır və ekoloji dayanıqlıq artır.

Əlavə olaraq, bütün bu modellər bir-biri ilə kombinə edilərək daha geniş dairəvi iqtisadiyyat strategiyalarının qurulmasına imkan yaradır.

Dairəvi İqtisadiyyatın Müsbət və Mənfi Tərəfləri

Dairəvi iqtisadiyyatın tətbiqi Azərbaycan iqtisadiyyatında bir çox ekoloji, iqtisadi və sosial üstünlüklər gətirir. Kənd təsərrüfatı, sənaye və xidmət sektorlarında dairəvi prinsiplərin tətbiqi resursların optimallaşdırılması və tullantıların azaldılması baxımından mühüm fayda verir.

Ekoloji faydalar ən aydın müşahidə olunan təsirdir. Məsələn, kənd təsərrüfatında məhsul qalıqlarının və heyvandarlıq tullantılarının biogaz və üzvi gübrə kimi təkrar istifadəsi. Bu, həm də ətraf mühitdə karbon izini kiçildərək iqlim dəyişikliyinə təsiri azaldır. Sənaye sektorunda metal, plastik və karton tullantılarının təkrar emalı yalnız xammal itkisini minimuma endirmir, həm də istehsal prosesində ətraf mühitə atılan zərərli tullantıların miqdarını azaldır. Enerji və xidmət sektorunda qida tullantılarının kompost və biogaz üçün istifadəsi otel və restoranlarda resurs dövriyyəsini gücləndirir, tullantıların ətraf mühitə təsirini azaldır.

İqtisadi faydalar da əhəmiyyətlidir. Kənd təsərrüfatı müəssisələrində məhsul qalıqlarının heyvandarlıqda yem və enerji mənbəyi kimi istifadəsi xərclərin azaldılmasına və əlavə gəlir mənbələrinin yaranmasına səbəb olur. Sənaye sektorunda xammalın iqtisadi cəhətdən əlverişli tullantıların təkrar emalı nəticəsində istehsal xərcləri azalır və əlavə məhsul çıxışı təmin edilir. Enerji sektorunda bərpa olunan enerji layihələrinin genişlənməsi isə ölkənin enerji asılılığını azaldır və iqtisadi səmərəliliyi artırır.

Sosial faydalar da mühüm rol oynayır. Dairəvi iqtisadiyyatın tətbiqi yerli icmaların təşəbbüslərini dəstəkləyir, davamlı inkişaf strategiyasını gücləndirir və yeni iş yerlərinin yaradılmasına töhfə verir. Bu, həmçinin sahibkarların innovativ yanaşmalarını stimullaşdırır və iqtisadi fəallığı artırır.

Buna baxmayaraq, dairəvi iqtisadiyyatın tətbiqində mənfi tərəflər də mövcuddur. Ən əsas məhdudiyyətlərdən biri yüksək ilkin investisiya tələbidir; müasir texnologiyaların tətbiqi və tullantıların emalı üçün infrastruktura böyük maliyyə resursları sərf olunmalıdır. İkinci çətinlik, müəssisə və fermerlərin dairəvi iqtisadiyyat prinsipləri barədə kifayət qədər təcrübəyə malik olmamasıdır. Bu, prinsiplərin geniş miqyasda tətbiqinə mane olur və əlavə təlim və bilik tələb edir. Üçüncü məhdudiyyət isə qanunvericilik və dövlət dəstəyi sahəsində müşahidə olunur. Azərbaycanda dairəvi iqtisadiyyatın tətbiqini stimullaşdıran

qanun və subsidiyalar hələ tam formalaşmayıb, bu da təşəbbüslərin sürətləndirilməsini çətinləşdirir (Məmmədov, 2018; Korhonen və başqaları, 2018) Dairəvi iqtisadiyyatın geniş tətbiqi yalnız ekoloji məsuliyyəti gücləndirmir, həm də iqtisadi balansı artırır və sosial faydaları genişləndirir. Azərbaycanın kənd təsərrüfatı, sənaye və xidmət sektorlarında bu prinsiplərin tətbiqi davamlı inkişafın təmin olunması və resursların səmərəli idarə olunması baxımından strateji əhəmiyyət kəsb edir.

Nəticə

Dairəvi iqtisadiyyat prinsiplərinin tətbiqi Azərbaycan iqtisadiyyatında həm iqtisadi, həm ekoloji, həm də sosial faydalar yaradır. Kənd təsərrüfatında məhsul və heyvandarlıq tullantılarının təkrar istifadəsi xərclərin azaldılması və enerji istehsalına töhfə verir. Sənaye və istehsal sektorunda xammalın səmərəli istifadəsi və tullantıların təkrar emalı istehsal prosesində məhsuldarlığı artırır və əlavə məhsul çıxışı təmin edir. Enerji və xidmət sektorunda bərpa olunan enerji və qida tullantılarının istifadəsi həm ekoloji dayanıqlığı, həm də resursların rasional idarə olunmasını gücləndirir (Geissdoerfer et al., 2017; Korhonen et al., 2018; Məmmədov, 2018).

Tədqiqatın üstünlükləri arasında resursların optimallaşdırma , xərclərin azalması, yeni iş yerlərinin yaradılması və ekoloji məsuliyyətin artırılması qeyd oluna bilər. Aparılan iş həmçinin dairəvi iqtisadiyyatın praktik tətbiqinin Azərbaycan kontekstində göstəricilərini təqdim edir və gələcək strategiyalar üçün baza yaradır.Dairəvi iqtisadiyyat prinsiplərinin geniş tətbiqi ölkənin iqtisadi dayanıqlığının gücləndirilməsi, davamlı inkişafın təmin olunması və gələcək nəsillər üçün resursların yaxşı istifadəsi baxımından mühüm rol oynayır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. **Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J.** (2017). *The Circular Economy – A new sustainability paradigm?* Journal of Cleaner Production, 143, 757–768. [DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048]
2. **Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J.** (2018). *Circular economy: The concept and its limitations.* Ecological Economics, 143, 37–46. [DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.06.018]
3. **Məmmədov, F.** (2018). *Dairəvi iqtisadiyyat və onun tətbiqi imkanları.* Bakı: Elm Nəşriyyatı. (Rəqəmsal nüsxə üçün: Azərbaycan Milli Kitabxanasının Elektron Kataloqu)
4. **Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi.** (2023). *Azərbaycanda ətraf mühit – Statistik məcmunə.* Bakı. stat.gov.az
5. **IRENA.** (2020). *Renewable Energy Outlook: Azerbaijan.* International Renewable Energy Agency.

DIGITALIZATION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE SERVICE SECTOR: BRIGHT PROSPECTS

Ph.D HASHIMOVA ALBINA CHINGIZ GIZZI
Baku Engineering University
Sustainable development of the economy
ahashimova@beu.edu.az
AZERBAIJAN , BAKU

Abstract: Modern in the period service sector economy the most dynamic and innovative from the fields one like attention Digitalization processes this in the sector both operation efficiency to increase, as well as also new business models to the formation conditions creates. Conducted research shows that digital technologies application only productivity and economic effectiveness does not increase, but also service in the field continuous development provide to be important contribution gives. Especially electronic services, cloud technologies, artificial intellect and analytical of tools integration customer satisfaction by increasing in addition, resources efficient use and environment to the environment your influence also supports the

reduction. this article service in the sector digitalization economic efficiency and continuous with development connection analysis is don, both nationally and also global trends review is being held. Purpose service sector digital transformation strategies durable economic growth and social inclusively their relationships certain is to do. Results shows that digital integration and innovative approaches service sector long-term its durability provide who main from factors is one.
Key words: service sector, sustainable development, economic efficiency, electronic services, digitalization.

INTRODUCTION

Modern economy in the structure service sector strategic importance This sector has only national economic increase main from the columns one including does not remain, both also employment level increase, innovation potential promotion and social your well-being promotion in terms of important role plays. Service sector banking, information technologies, tourism, logistics, education, healthcare and other areas coverage by doing countries economy in its durability has an important share.

In recent years global economic in the environment head giving changes, especially digital technologies quickly development, service sector in its activity deep-rooted transformations created by. Electronic services expansion, cloud technologies, artificial intellect, great Big Data analytics and automated operation systems application operation efficiency by increasing besides, the customer of satisfaction to the rise of services more accessible and flexible to be conditions This process also service new job in the sector models, digital platforms and innovative business strategies to the creation ground prepared.

Digitalization service to the sector effect only economic with indicators not limited. Durable development principles suitable as , digital transformation ecological and social aspects also coverage So , the resources efficient use , energy effectiveness increase , in operations waste reduction and social inclusiveness provide to be digital technologies application with possible Global experience shows that Europe Union and In North American countries service in the sector digitalization only productivity to increase not , but also durable social and ecological of the results obtained to be done contribution gives [2] .

In Azerbaijan service sector digitalization in recent years important development to the stage step Electronic government services, mobile banking and e- commerce platforms expansion, tourism and transportation in the field digital technologies application sector effectiveness and economic growth potential has increased. With this along with service in the sector digitalization durable development for social and ecological its effects to evaluate and strategic approaches to prepare relevance protects.

This article purpose service in the sector digitalization processes more analysis to do , their economic efficiency , social inclusiveness and durable with development their relationships to determine , both nationally and also global in context comparative assessments Article within the framework digital transformation service to the sector impact mechanisms , economic increase and social prosperity contribution systematic in the way will be investigated , as well innovative technologies long-term durability perspective review This approach will be service sector future development strategies to determine and continuous economic growth for practical recommendations presentation to do opportunity will create.

1. THE ESSENCE AND MAIN FEATURES OF DIGITALIZATION IN THE SERVICE SECTOR

Service in the sector digitalization when you say, services creation, presentation distribution and management making in the processes digital technologies systematic and purposeful in the way application finished it is understood. This process only technical renewal with not limited, same in time organizational structures, business models and consumer their behavior also includes the transformation Digitalization service in the sector agility increases, operation processes simplifies and innovative approaches application accelerates.

Modern in the period digitalization the basis organize who technologies – artificial intellect, great Big Data, cloud technologies, things Internet of Things (IoT), blockchain and mobile applications service in the sector deep-rooted to changes reason These technologies have been through services more faster, more exactly and more personalized in the way presentation is being done. Especially of data collection and analysis service quality in the promotion and strategic decisions at the reception important role is playing.

Digitalization service in the sector application as a result traditional service models gradually digital with platforms replacement This is services geographical from restrictions free to be and global to the markets

exit of opportunities to the expansion conditions creates. The same in time, digital transformation businesses between competition strengthens and innovation activity stimulates [3,4].

Digitalization main characteristics more wide in the way following like explanation to do can be:

- Services automation and optimization – digital technologies through of operations automation human from the factor addiction reduces, errors to a minimum downloads and services more fast to be shown provide does.
- Customer oriented approach strengthening – digital platforms through customer behaviors analysis is being and individual to needs suitable services is formed. This is customer of satisfaction and loyalty to increase reason It happens.
- Real time in mode service presentation – digitalization services efficiency increasing to users any time and from the place opportunity to receive service creates.
- Information substantial decision acceptance – big of the data analysis to businesses more exactly and justified decisions reception to do opportunity gives. This is risks reduction and efficiency to increase brought removes.
- Platform economy development – digital platforms through service offer those who do and consumers directly to contact included It happens, and this is the mediators role reduce and of the market more effective to work provide does.
- Personalized services expansion – user of information analysis as a result services specific customer to groups and to individuals is being adapted.
- Integration and networking – various service areas between integration strengthens, unites digital ecosystem is formed.

Practical in terms of digitalization service sector various in the fields himself clear in the way. For example, in the banking sector mobile banking and digital payment systems finance of services accessibility increases. Education in the field online teaching platforms and virtual classes geographical limitations removed Tourism in the sector digital reservation systems and online services travel planning more comfortable and effective Health care in the sector and telemedicine and electronic healthcare systems services quality and efficiency raises.

Thus, the service in the sector digitalization only technological innovation not, but also economic development acceleration, service quality increase and global competition ability strengthening in terms of strategic importance carrying complex one is a process [5].

2. IMPACT OF DIGITALIZATION ON THE DEVELOPMENT OF THE SERVICE SECTOR

Digitalization modern economic in the system service sector structure and activity mechanisms deep-rooted in the way changer main from factors one like exit This process is the service production and presentation in stages innovative technologies application with escort is being and result as of sector productivity, flexibility and competition ability to increase reason It happens. Traditional service models with in comparison digital substantial services more less material resource demand does, more wide geographical territories coverage does and to users more fast service to be shown opportunity creates.

Digitalization as a result service in the sector value creation mechanisms changes, intangible assets role increases and information substantial economy is formed. In this respect digitalization its effects economic, social and technological aspects on systematic in the way analysis to do It is appropriate.

Economic impacts - Digitalization service in the sector economic efficiency in the promotion important role First of all, digital technologies application operation expenses to decrease reason becomes. Automated systems, electronic document turnover and online service platforms through both time loss, both also administrative expenses to a minimum is downloaded. This is enterprises from resources more efficient use to do conditions creates. The same in time, digitalization of income to increase and new arrival sources to the formation opportunity gives. Digital platforms through services global to the markets speech it gets easier, this while customer base to the expansion brought produces. Especially electronic commerce, digital finance services and online education like in the fields fast growth observation is being done.

From this addition, digitalization innovation activity stimulates and startup ecosystem development push gives. New technologies based on established business models in the market competition strengthens, more effective and innovative services to the creation reason This is what happens. in general economic increase to accelerate and service in the GDP of the sector share to increase brought removes.

Social impacts - Digitalization service to the sector effect only economic field with not limited, same in time important social results gives birth to. Digital technologies through to services exit of opportunities

expansion population welfare level to rise positive impact shows. Especially remote and village in their territories living population for online services education, healthcare and finance to their services speech facilitates. Digitization interregional development differences reduction and inclusive development provide to be contribution gives. Electronic government services, digital payment systems and online platforms through citizens state from the services use opportunities expanding and transparency increases.

Other important social impact labor in the market head giving with changes Digitalization is creating new professions. to the creation, existing professions while to the transformation reason Information technologies, digital marketing, data analytics like in the fields qualified to the staff demand increases. With this besides, some traditional to professions which of demand decrease labor in the market structure to the changes brought This is human of capital development and education system modern to the requirements adaptation the necessity to the middle puts.

Technological impacts - Digitalization service in the sector technological innovations application accelerates and service quality in the promotion main role plays. Artificial intelligence, machine learning, great data analytics and cloud technologies services more effective and personalized in the way presentation to be opportunity gives. Technological development as a result services personalization possible Customer their behavior analysis based on their to their needs suitable services presentation making customer of satisfaction to increase reason It happens. The same in time, digital technologies services uninterrupted and high with quality presentation to be provide does. With this besides, technological development service new risks in the sector also caused the creation Cybersecurity problems, information protection issues and digital addiction like factors special attention demand in this respect, digitalization effective management to be and security mechanisms strengthening important importance acquisition does [6].

Thus, digitalization service sector development multifaceted impact showing economic efficiency increase, social your well-being to rise and technological innovations wide to the application conditions This process creates correct management to be service sector continuous and durable development provide who main from factors one like exit does.

3. SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND THE ROLE OF DIGITALIZATION IN THE SERVICE SECTOR

Modern economic development priority from the directions one like exit who durable development concept economic increase social welfare and ecological security principles with reconciliation intended This approach economic activity only short term to the results not, the same in time long-term to the effects attention to be carried out demand In this respect, service in the sector digitalization durable development provide in being important structure element like exit does

Digitalization processes service in the sector production and consumption of relations to the transformation reason including in addition, from resources use mechanisms optimization, ecological your load reduction and social inclusiveness to the expansion conditions creates. Conducted research shows that digital technologies application as a result service in the sector operation expenses average 20–30 percent of the total reduced, services presentation being speed and 40–60 percent increased. The same in time electronic services wide application paper of use some 60–70 percent of cases to decrease reason which is also ecological in terms of important result account is being done.

Service in the sector digitalization durable development in terms of main from the advantages one from resources efficient of use provide Traditional service in models wide use done physical resources – paper, energy and infrastructure elements – digital technologies application as a result important to the extent decreases Electron document circulation, digital archive systems and cloud technologies application as a result both material to resources savings is being done, both also service processes more flexible and operative character This is " green " economy " model to the formation important contribution gives.

Energy efficiency digitalization is also increasing durable development in the context of important from the directions is one. Digital services application as a result physical from infrastructure addiction decreases. this while energy consumption optimization reason Especially for remote services and online platforms wide spread transportation expenses and fuel consumption to decrease brought removes. Appropriate As such, this process is carbon emissions to decrease and environment protection positive impact shows. Statistics to the information mainly digital service models application energy the cost average 15–25 percent of the total reduce to its potential has [7].

Digitalization other important impact direction ecological of continuity provide to be with is closed. Electronic services wide application waste volume by reducing besides, logistics and production processes optimization conditions create. Services digital in the environment presentation to be people physical movement need reduced for transportation density and environment to the environment which negative effects also down falls. In this respect digitalization only economic efficiency not, the same in time ecological safety also provide who important vehicle like exit does.

Durable development social component in terms of digitalization service in the sector inclusiveness to the expansion important contribution gives. Digital technologies through to services exit of opportunities expansion population various social groups between equality provide to be conditions creates. Especially remote and village in their territories living population for online services education, healthcare and finance to their services your speech main to the vehicle has become. In recent years statistical indicators shows that online education and digital service platforms of users number global on a scale one how many times has increased, which is also human of capital development and labor in the market competition ability to rise positive impact shows.

Same in time digitalization labor market in the structure important to changes reason New technologies application new profession as a result areas is forming, exists professions while transformation Digital skilled worker to the force of demand increase education system also this in the direction renewal necessary This process is long-term. in perspective social your well-being to be promoted and economic development sustainability provide to be service does.

Digitalization durable development in terms of important from the directions one also management mechanisms Electronic government of services application state and citizen in their relationship transparency and operational to increase reason becomes. Statistics analyses shows that digital management systems application as a result state of services presentation being duration some 40–50 percent of cases decreased. The same at the time, this systems corruption risks to decrease and management effectiveness to rise conditions creates.

Conclusion as a result, service in the sector digitalization durable development provide in being complex and multifaceted to the effect This process uses resources efficient of use promotion, energy and ecological your load reduction, social inclusiveness to the expansion and management systems improvement important contribution gives. Digitalization purposeful and systematic in the way application while durable economic development model the formation of main from the conditions one like exit does [8].

Table 1. *Service in the sector digitalization durable to development effect*

Direction	Digitalization effect	Statistical indicators (average count)
From resources use	Paperless technologies, digital documentation	Paper usage is reduced by 50–70%
Energy efficiency	Online services, remote activity	Energy consumption is reduced by 15–25%
Ecological impact	Waste and carbon emission decrease	Emissions are reduced by 20–30%
Social inclusiveness	To services your speech expansion	User number 2–3 times increases
Management effectiveness	Electronic government, digital management	Service duration is reduced by 40–50%

Source: *Author by prepared by the World Bank, OECD, UNDP and International Telecommunication Union reports based on .*

4. DIGITALIZATION AND DEVELOPMENT PROSPECTS IN THE SERVICE SECTOR IN AZERBAIJAN

In recent years, the reforms carried out in the field of digitalization in Azerbaijan have made a significant contribution to the structural transformation of the service sector. Digital transformation has been identified as a priority direction in the country's state policy, and a number of measures have been implemented in both the public and private sectors in this regard. In particular, the expansion of electronic government services (e-gov), the introduction of digital payment systems, the development of the startup and innovation ecosystem, as well as increasing the digital skills of human capital constitute the main pillars of this process.

In this context, statistical indicators from recent years clearly reveal the impact of digitalization:

- According to 2023 data, the number of citizens using e-government services in Azerbaijan is approximately 5.2 million, which covers approximately 55–60% of the country's population.
- The volume of digital payment transactions increased by approximately 40% in 2022–2023, with dynamic growth observed especially in the mobile payments and online banking sectors.
- The volume of investments in startup and innovation projects has increased by approximately 25–30% in the last 3 years, with innovative solutions being implemented mainly in the fintech, digital education, and tourism sectors.

Strengthening digital infrastructure - A strong infrastructure is essential for the effective implementation of digitalization. The expansion of fiber-optic lines in Azerbaijan, the introduction of 4G and 5G networks, the creation of cloud technologies and data centers are important steps in this direction. According to statistical data for 2023, the population with access to the Internet in the country is approximately 85%, which is considered a high level compared to the countries of the region.

Infrastructure development also creates conditions for the expansion of services to the regions. For example, e-government terminals and public digital service centers have increased the accessibility of services in regional and rural areas. The level of use of digital services in the regions increased from 35% to 60% during 2020–2023.

Development of the startup and innovation environment - Strengthening the startup ecosystem is essential for the development of the digital economy. In Azerbaijan, the “Startup Azerbaijan” program and the “Innovation Park” project create conditions for young entrepreneurs to realize their innovative ideas [9] .

Statistical indicators shows that:

- Startup in the sector approximately 3,500–4,000 jobs place activity shows.
- this area investments volume last three increased by 25–30% per year.
- Especially fintech, digital education, tourism and healthcare in the fields innovative solutions application is being done.

These indicators shows that startups development only economic efficiency does not increase, the same in time labor market also caused the transformation New professions is forming and available employees digital to skills acquisition important It happens.

Human of capital digital of skills increase - Digital services effectiveness human of capital from the level directly depends on. In Azerbaijan digital your skills development for various education programs and online courses activity shows.

For example:

- In 2023, " Electronic Education Portal” and other certified online training programs through approximately 150,000 participants digital skills on education has received.
- This app both professional worker of force preparation, as well as also new job of places to the creation push gives.

Thus, man of capital development digitalization continuous and efficient application for necessary condition like exit does.

In the regions digital services accessibility Increasing - Digitalization only Baku and large with cities should not be limited. In the regions digital services accessibility increase for state programs internet infrastructure within the framework expansion, e- government terminals installation and public digital service centers creation out held [10].

- In 2020–2023 in the regions digital from services use level from 35% to 60% has increased.
- And this both social inclusiveness provide does, and also population to services exit opportunities expands.

With this in addition, in Azerbaijan service in the sector digitalization further development construction one row with difficulties is closed:

1. Cybersecurity Risks: Digital payment systems and electronic services expansion cybersecurity of events strengthening demand does.
2. Digital inequality: to the Internet exit of opportunities different level and digital literacy differences regions between yet also available.
3. Technological Adaptation: New technologies application businesses and population by quickly should be adopted.

These problems solution only technological with innovations not, but also education programs, state policy and institutional your support coordination with possible will be [11].

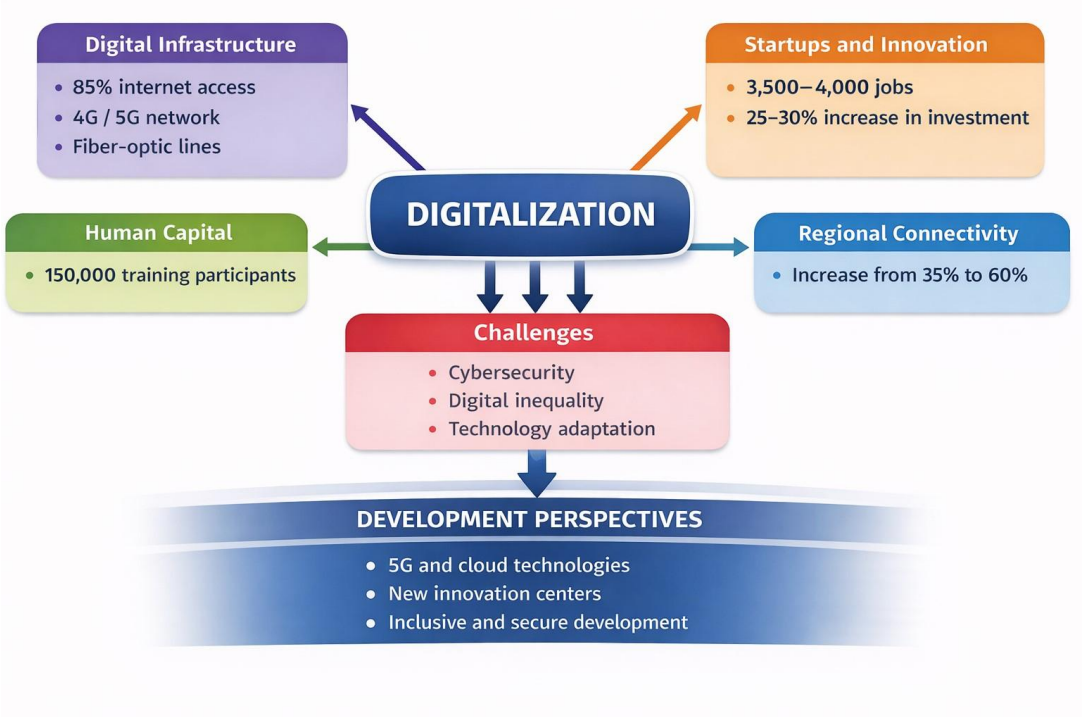


Figure 1. *Digitalization and development prospects in the service sector in Azerbaijan*

Conclusion and suggestions:

Digitalization in the service sector acts as one of the main driving mechanisms of the modern economy. This process is not limited to the introduction of technological innovations; it also encompasses complex goals such as the transformation of management systems, modernization of the labor market, renewal of social relations, and ensuring sustainable development.

Analyses show that digitalization not only increases the productivity of the service sector, but also increases economic efficiency, improves service quality and customer satisfaction, reduces regional disparities, and supports inclusive development. Statistical indicators this trends clear in the way confirms:

- year 2023 to the information according to, in Azerbaijan electronic government from the services use who citizens number approximately 5.2 million person organize has done.
- Digital payment of operations volume last three in the year increased by about 40%, especially mobile payments and online banking in the field important dynamics observation was done.
- In the regions digital services accessibility from 35% to 60% in 2020–2023 has risen, this while from services use of opportunities inclusiveness shows.

These trends into account taking, serving in the sector digitalization more efficient application for following events strategic importance carries:

1. Digital transformation strategies preparation and Application – State and private sector enterprises for long-term plans to be prepared, digital technologies gradual application provide This should be done both operation efficiency increases, both also competition advantage strengthens.
2. Innovation and to technologies investments increase – Startup and innovation to their projects finance support should be strengthened, especially fintech, digital education, healthcare and tourism to the fields directed investments priority should be. Latest statistics information shows that startups deposited investments in the last three in the year increased by about 25–30% which while innovation potential important to the extent raises.
3. Education in the system digital your skills development – Modern labor market requirements suitable digital your skills development for certified courses and distance learning opportunities should be expanded. In 2023 about 150,000 people various digital training in their programs participation has done.

4. Public – private sector cooperation Strengthening – Digital services efficient application for state and private sector between strategic partnerships to be established, startup ecosystem and innovative solutions application encouragement This cooperation should be done. in the regions services accessibility also contribute to increasing gives.
5. Cybersecurity mechanisms Improvement – Digital services expansion with related information systems protection, user confidentiality and information safety measures should be strengthened. This is especially online payment systems and electronic services reliability provide to be for important [13,14].

Thus, the service in the sector digitalization only economic increase does not accelerate; it also service quality raises, interregional differences reduces, social inclusiveness strengthens and ecological durability provide in the future to digitalization about out will be held policies and investments countries competition ability, economic its durability and social development certain who main from factors one will be.

Conclusion as of, digitalization only technology application not, but also durable development, strategic management and innovation-oriented economy center element like should be evaluated.

REFERENCES

1. Azərbaycanın Statistik Göstəriciləri. Bakı – 2024, 695 s.
2. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2021-ci il 2 fevral tarixli Sərəncamı: Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər
3. Azərbaycan Respublikasının 2022-2026-cı illərdə sosial-iqtisadi inkişaf Strategiyası. AR Prezidentinin Sərəncamı// Bakı, 22 iyul 2022.
4. Azərbaycan Respublikasında sosial xidmətin inkişafına dair 2023-2026-cı illər üçün Dövlət Proqramı.AR Prezidentinin Sərəncamı// Bakı, 28 avqust 2023.
5. A. Hashimova (2023) "Personnel work process usıng dıgıtal economy applıcatıon programs" AGORA International Journal of Economical Sciences, Vol 17, №2 page: 78-86
6. A. Hashimova (2022), "Analysis of electronics sector in Azerbaijan" Journal of Baku Engineering University, Volume 6. İssue 2
7. Məmmədov, T., & Quliyev, S. (2022). "Rəqəmsal transformasiyanın biznes strategiyasına təsiri." İqtisadiyyat və Biznes Jurnalı, 19(2), 44–63.
8. Rahmanov, F.P.Sosial Sfera ve Sosial Siyasət. Dərs Vəsaiti, "MSV NƏŞR",səh-436 Bakı-2021
9. Rəhmanov. F.P, Süleymanov.E.B. "Azərbaycan iqtisadiyyatı: makroiqtisadi analiz" səh:404, Bakı-2021
10. Rahmonov F.P. (A.C.Hashimova, R. Salahov) "Management of digitisation processes in the field of social services". Marketing and Management of Innovations. – ISSN 2218-4511 (print) ISSN 2227-6718 (online) Ukraine– 2023 – Vol 14. (№2) – Səh.173-184
11. V. Qasımlı, M. Talibova, G. Quliyeva, A. Museyibov, F. Mirzəyev, A. Qədəşov, G. Əhmədova (2023) "Rəqəmsal iqtisadiyyat". Bakı, "Azprint" nəşriyyatı,262 s.
12. https://president.az/
13. https://www.economy.gov.az/az
14. https://maliyye.gov.az/

AZƏRBAYCANDA STARTAP EKOSİSTEMİNİN FORMALAŞMASI VƏ İNKŞAFINDA BEYNƏLXALQ TƏCRÜBƏNİN TƏTBİQİ İMKANLARI

Fariz Məmmədov
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və İdarəetmə fakültəsi
İstehsalat və xidmət sahələrinin iqtisadiyyatı və idarə edilməsi (sənaye üzrə)
fmemmedov23@std.beu.edu.az
Bakı,Azərbaycan

Xülasə: *Azərbaycanda startap ekosistemi ölkənin iqtisadi diversifikasiyası, gənclərin innovativ təşəbbüslərə cəlb olunması və yeni iş yerlərinin yaradılması baxımından böyük əhəmiyyət daşıyır. Uğurlu inkişaf üçün beynəlxalq təcrübələrin tətbiqi, həm yerli, həm də xarici investorların maraqlarını nəzərə alaraq, ekosistemin sağlam və dayanıqlı qurulmasına imkan verir. ABŞ və Avropa ölkələrinin innovasiya mərkəzləri, vergi güzəştləri, maliyyə dəstəyi və inkubasiya proqramları kimi tədbirlər startapların böyüməsini sürətləndirə bilər. Azərbaycanda da bu yanaşmaların tətbiqi, strateji təlimatlar və hüquqi çərçivələrin yaradılması vacibdir. Təhsil, elmi tədqiqatlar, İKT və rəqəmsal texnologiyaların inkişafı, texnoloji parkların yaradılması və mentor dəstəyi startap ekosistemini gücləndirəcək, iqtisadiyyatın rəqabət qabiliyyətini artıracaq və uzunmüddətli dayanıqlığı təmin edəcək.*
Açar sözlər: *Azərbaycan, beynəlxalq, biznes, inkubasiya ,rəqabət, startaplar.*
Abstract: *The startup ecosystem in Azerbaijan plays a crucial role in the country's economic diversification, engaging youth in innovative initiatives, and creating new employment opportunities. Successful development requires the application of international experiences, taking into account the interests of both local and foreign investors, which allows for a healthier and more sustainable ecosystem. Measures such as innovation centers, tax incentives, financial support, and incubation programs in the USA and European countries can accelerate startup growth. Applying similar approaches in Azerbaijan, along with establishing strategic guidelines and legal frameworks, is essential. Advancing education, scientific research, ICT, and digital technologies, as well as promoting technology parks and mentor support, will strengthen the startup ecosystem, enhance the economy's competitiveness, and ensure long-term sustainability.*
Keywords: *Azerbaijan, international, business, incubation, competition, startups.*

GİRİŞ

Tədqiqat işinin aktuallığı və əhəmiyyəti: Azərbaycanda startap ekosisteminin formalaşması və inkişafı, iqtisadiyyatın diversifikasiyası və yeni iş yerlərinin yaradılması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Startaplar, müasir dövrdə iqtisadi inkişafın əsas hərəkətverici qüvvələrindən biri olmuşdur. Onlar yeni texnologiyalar və innovasiyalar vasitəsilə ənənəvi sənaye sahələrini inkişaf etdirir, eləcə də daha dayanıqlı iqtisadiyyatın qurulmasına dəstək verir. Bu səbəbdən, Azərbaycanda startap ekosisteminin inkişafı üçün beynəlxalq təcrübənin tətbiqi, həm yerli, həm də xarici investorları cəlb edərək, ekosistemin daha sağlam və dayanıqlı qurulmasına imkan yaradacaq.

Tədqiqat işinə olan ehtiyac: Son illərdə Azərbaycanda startap ekosisteminin inkişafı istiqamətində müxtəlif təşəbbüslər irəli sürülüb, lakin hələ də mövcud olan çətinliklər və problemlər tədqiqatın aparılmasını vacib edir. Hal-hazırda yerinə yetirilmiş işlərdə əsasən dövlət dəstəyi, vergi güzəştləri və maliyyə dəstəyinin artırılması kimi aspektlərə diqqət yetirilmişdir. Lakin, beynəlxalq təcrübənin daha geniş şəkildə tətbiqi, ekosistemin inkişafını sürətləndirəcək və onun daha da güclənməsinə şərait yaradacaq. Bu tədqiqat işində Azərbaycanda startapların inkişafına aid konkret tövsiyələr və beynəlxalq təcrübə modellərinin tətbiqi istiqamətləri araşdırılacaq.

Tədqiqat işinin məqsədi və vəzifələri: Tədqiqatın əsas məqsədi, Azərbaycanda startap ekosisteminin formalaşmasında beynəlxalq təcrübənin tətbiqinin mümkünlüyünü və faydalarını təhlil etməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı vəzifələr müəyyən edilmişdir:

- Azərbaycanda startap ekosisteminin hazırkı vəziyyətini araşdırmaq;
- Beynəlxalq təcrübənin Azərbaycan kontekstində tətbiqinin perspektivlərini müəyyənləşdirmək;
- Startapların inkişafını dəstəkləyən qanunvericilik və dövlət siyasətlərini təhlil etmək;

- Beynəlxalq təcrübə ilə müqayisədə yerli ekosistemdəki zəif nöqtələri aşkar etmək və onları inkişaf etdirmək üçün tövsiyələr vermək.
- **Tədqiqat işinin strukturu:** Tədqiqat işi üç əsas fəsildən ibarət olacaqdır:
- **Fəsil I:** Azərbaycanda startap ekosisteminin hazırkı vəziyyəti və inkişaf perspektivləri.
- **Fəsil II:** Beynəlxalq təcrübənin təhlili və onun Azərbaycanda tətbiqi imkanları.
- **Fəsil III:** Startap ekosisteminin inkişafına dair tövsiyələr və nəticələr.

TƏHLİL

Bu tədqiqatın məqsədi, Azərbaycanda startap ekosisteminin inkişafını dəstəkləmək üçün beynəlxalq təcrübənin tətbiq imkanlarını araşdırmaqdır. Qarşıya qoyulmuş məsələni həll etmək məqsədilə bir neçə metod və material istifadə olunmuşdur. Bu metodlar tədqiqatın hərtərəfli və dərindən aparılmasını təmin edib, həm nəzəri, həm də praktik aspektləri əhatə edir.

Metod və Materiallar:

Tədqiqat işində əsasən kvalitativ və kəmiyyətli metodlardan istifadə olunmuşdur. Kvalitativ metodlarla beynəlxalq təcrübələr və onların Azərbaycanın kontekstində necə tətbiq oluna biləcəyi analiz edilmişdir. Kəmiyyətli metodlar isə Azərbaycandakı startap ekosisteminin cari vəziyyətini, inkişaf istiqamətlərini və potensial təkmilləşdirmələri müəyyənləşdirmək üçün istifadə olunmuşdur. Müxtəlif məlumat mənbələrindən (hökumət hesabatları, yerli və beynəlxalq araşdırmalar, iqtisadi göstəricilər) əldə edilən statistik məlumatlar təhlil edilmiş və bu məlumatlar tədqiqatın əsasını təşkil etmişdir (Brown, R. C., & Mason, C. 2014).

Təcrübələr və Nəticələr:

Tədqiqatın praktiki hissəsi beynəlxalq təcrübələrin Azərbaycanda tətbiqinin təhlilinə əsaslanmışdır. Bu məqsədlə, ABŞ, Avropa Birliyi və İsraildən olan startap ekosistemlərinin inkişaf təcrübələri öyrənilmiş və Azərbaycanla müqayisə edilərək müəyyən bənzərliklər və fərqliliklər müəyyənləşdirilmişdir.

Aparılan təhlil göstərdi ki, ABŞ və İsraildə dövlətin startapları dəstəkləyən siyasətləri, texnologiya parklarının və inkubatorların qurulması, eləcə də xarici investorların cəlb edilməsi bu ölkələrin ekosistemlərində mühüm rol oynayır. Azərbaycanda isə bu elementlərin bir qədər zəif tətbiqi mövcuddur. Dövlətin vergi güzəştləri və maliyyə dəstəyi sahələrində müəyyən addımlar atılsa da, startapların inkişafını sürətləndirəcək əlavə dəstək mexanizmlərinə ehtiyac olduğu üzə çıxmışdır (Global Entrepreneurship Monitor. 2025).

Cədvəl 1: Azərbaycandakı Startap Ekosisteminin İnkişafında Qarşılaşılan Əsas Problemlər və Beynəlxalq Təcrübələr

Problem/Çətinliklər	Beynəlxalq Təcrübə	Tətbiq İmkanları
Startaplar üçün maliyyə dəstəyinin məhdudluğu	ABŞ və İsraildə dövlətin startapları maliyyə ilə dəstəkləməsi	Startaplara kreditlər və maliyyə vəsaitləri ilə bağlı güzəştlərin tətbiqi
Vergi güzəştlərinin olmaması	Avropa İttifaqında startaplar üçün vergi güzəştləri	Yerli qanunvericiliyə uyğun vergi güzəştlərinin tətbiqi
Startap inkubatorlarının azlığı	Yaponiyada və İsraildə texnologiya parkları və inkubatorlar	Azərbaycan daxilində yeni inkubator və texnologiya parklarının yaradılması
Xarici investorların az olması	ABŞ-da investisiya cəlb etmək üçün təşviqat proqramları	Startaplar üçün xarici investorları cəlb etmək üçün təşviqat mexanizmlərinin qurulması
İnnovasiya və AR-GE fəaliyyətlərinin zəifliyi	Şimali Avropa ölkələrində AR-GE investisiyalarının təşviqi	Startaplarda AR-GE fəaliyyətləri üçün dövlət dəstəyinin artırılması

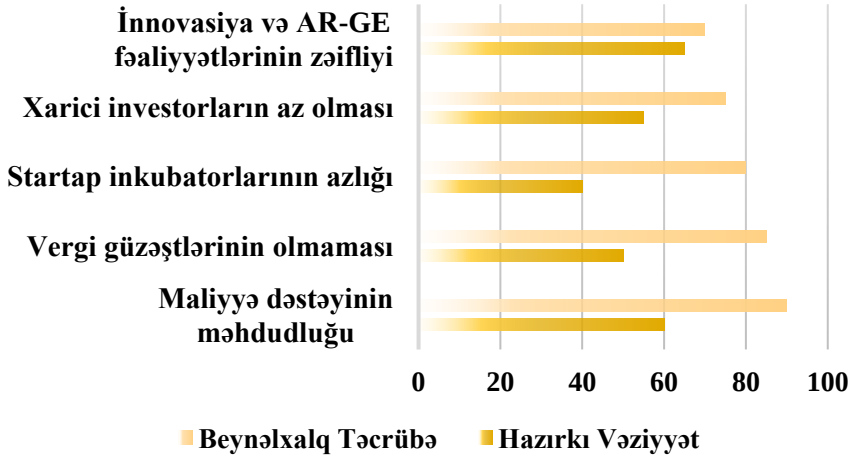
Mənbə: Parsa, H. G., & Chan, E. (2010). The Role of Technology Parks and Incubators in the Development of Startups. *Journal of Technology Transfer*, 35(6), 641-658.

Cədvəl 1 də, Azərbaycandakı startap ekosisteminin inkişafında qarşılaşılan əsas problemlər və bu problemlərin həlli üçün beynəlxalq təcrübələrdən əldə edilən təcrübələr və tətbiq imkanları göstərilmişdir.

Birinci problem startaplar üçün maliyyə dəstəyinin məhdud olmasıdır. Beynəlxalq təcrübəyə əsasən, ABŞ və İsraildə dövlətlər startapları maliyyə ilə dəstəkləyərək onların inkişafına təkan verir. Azərbaycanda da bu model tətbiq edilə bilər, burada startaplara kreditlər və maliyyə vəsaitləri ilə bağlı güzəştlər verilməsi təklif olunur (Startup Genome. 2025).

İkinci problem vergi güzəştlərinin olmamasıdır. Avropa İttifaqında startaplar üçün vergi güzəştləri tətbiq edilir ki, bu da onların daha sürətli inkişafına imkan yaradır. Azərbaycanda da bu cür vergi güzəştlərinin tətbiqi yerli qanunvericiliyə uyğun olaraq müsbət nəticələr verə bilər.
Üçüncü problem startap inkubatorlarının azlığıdır. Yaponiyada və İsraildə geniş texnologiya parkları və inkubatorlar mövcuddur ki, bu da startapların inkişafını sürətləndirir. Azərbaycanda da yeni inkubatorlar və texnologiya parklarının yaradılması bu sahədə böyük inkişaf təmin edə bilər(Isenberg, D. J. 2010).
Dördüncü problem xarici investorların az olmasıdır. ABŞ-da investisiya cəlb etmək üçün xüsusi təşviqat proqramları mövcuddur və bu təcrübə Azərbaycanda da tətbiq oluna bilər. Startaplar üçün xarici investorları cəlb etmək üçün təşviqat mexanizmlərinin qurulması ölkəmizdə bu sahənin inkişafını sürətləndirə bilər(Acs, Z. J., Desai, S., & Klapper, L. 2008).
Sonuncu problem innovasiya və AR-GE fəaliyyətlərinin zəifliyidir. Şimali Avropa ölkələrində AR-GE investisiyalarının təşviqi böyük əhəmiyyət kəsb edir və bu təcrübə Azərbaycanda da tətbiq edilə bilər. Startaplarda AR-GE fəaliyyətləri üçün dövlət dəstəyinin artırılması bu sahədə böyük irəliləyişə səbəb ola bilər.

Qrafik 1: Azərbaycandakı Startap Ekosisteminin Problemləri və Beynəlxalq Təcrübə Müqayisəsi



Mənbə: müəllif tərəfindən tərtib olunmuşdur.

Qrafik 1 Azərbaycandakı startap ekosisteminin problemləri ilə beynəlxalq təcrübələrin müqayisəsini göstərir. Qrafik 1 də, müxtəlif problemlərin mövcud vəziyyəti və beynəlxalq təcrübə ilə müqayisəsi faizlərlə göstərilib (Kazimli, E. 2025).
"Maliyyə dəstəyinin məhdudluğu" probleminin hazırkı vəziyyətdə 60%, beynəlxalq təcrübədə isə 90% olduğu qeyd edilir, yəni beynəlxalq təcrübələrdə maliyyə dəstəyinin daha yüksək olduğu müşahidə olunur. "Vergi güzəştlərinin olmaması" problemi hazırda 50%-lik bir qiymətləndirmə alır, beynəlxalq təcrübə isə 85%-lə daha yüksək bir dəstək təklif edir (Rüstəmli, H. M. 2024). "Startap inkubatorlarının azlığı" məsələsi hazırda 40% ilə qiymətləndirilir, beynəlxalq təcrübədə isə bu, 80%-ə qədər yüksəlir. "Xarici investorların az olması" problemi 55% hazırkı vəziyyətdə, beynəlxalq təcrübədə isə 75%-dir. Nəhayət, "İnnovasiya və AR-GE fəaliyyətlərinin zəifliyi" problemi Azərbaycanda 65%-lə qiymətləndirilir, beynəlxalq təcrübə isə 70%-ə çatır.
Qrafik 1, Azərbaycanda startapların inkişafını sürətləndirmək üçün beynəlxalq təcrübələrin tətbiqinə ehtiyac olduğunu və bu sahədəki mövcud problemlərin aradan qaldırılması üçün potensial həll yollarını nümayiş etdirir (Hampel-Milagrosa, A. 2022).

NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqatın nəticələri Azərbaycanda startap ekosisteminin inkişafı üçün beynəlxalq təcrübələrin tətbiqinin mühüm rol oynadığını göstərdi. Tədqiqatın nəticələri, beynəlxalq təcrübələrin, xüsusilə maliyyə dəstəyi, vergi güzəştləri, inkubatorların yaradılması və xarici investorların cəlb edilməsi kimi sahələrdə tətbiqinin, ölkəmizdəki startapların inkişafını sürətləndirə biləcəyini vurğulayır.
İşin üstünlükləri arasında beynəlxalq təcrübənin müsbət nəticələrinin Azərbaycan kontekstində tətbiqi istiqamətində konkret tövsiyələrin irəli sürülməsi yer alır. Məsələn, ABŞ, İsrail və Avropa İttifaqı kimi ölkələrdə tətbiq edilən vergi güzəştləri, inkubasiya proqramları və investisiya təşviqatı modellərinin Azərbaycanda da tətbiqi startap ekosisteminin inkişafına böyük töhfə verə bilər. Eyni zamanda, dövlətin

startaplara dəstəyi, AR-GE fəaliyyətlərinin təşviqi və innovasiya sahəsindəki strateji yanaşmalar bu ekosistemin daha dayanıqlı və səmərəli inkişafına şərait yarada bilər.
Tədqiqatın səmərəliliyi həm də Azərbaycanda startapların qarşılaşdığı əsas problemlərin müəyyənləşdirilməsi və bu problemlərin həlli yollarının təklif olunmasında özünü göstərir. Beynəlxalq təcrübə ilə müqayisədə yerli ekosistemdəki zəif nöqtələr aydın olmuş və bu zəif nöqtələrin aradan qaldırılması üçün tövsiyələr verilmişdir.
Bu tədqiqat, Azərbaycanda startap ekosisteminin inkişafını dəstəkləmək üçün beynəlxalq təcrübələrin tətbiqinin vacibliyini və səmərəliliyini nümayiş etdirir. Təklif olunan tədbirlər və tövsiyələr, ölkənin iqtisadiyyatının diversifikasiyası və innovasiya sahəsində irəliləyişlər əldə edilməsi üçün əhəmiyyətli bir istiqamət təşkil edir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Acs, Z. J., Desai, S., & Klapper, L. (2008). What does "entrepreneurship" data really show? *Small Business Economics*, 31(3), 263–286.
2. Brown, R. C., & Mason, C. (2014). *Entrepreneurial ecosystems and growth-oriented entrepreneurship* (OECD Working Paper, pp. 1–38).
3. Global Entrepreneurship Monitor. (2025). *Global Entrepreneurship Monitor 2024/2025 Global Report: Entrepreneurship reality check* (pp. 1–150)..
4. Hampel-Milagrosa, A. (2022). Azerbaijan's ecosystem for technology startups—Baku. Asian Development Bank Publication (pp. 1–44).
5. Isenberg, D. J. (2010). *How to start an entrepreneurial revolution*. *Harvard Business Review*, 88(6), 1–10.
6. Kazimli, E. (2025). Prospects for innovative development of entrepreneurial entities in the Republic of Azerbaijan. *Journal of Economics*, 2(3), 24–27.
7. Rüstəmli, H. M. (2024). İnkişafa malik startap və sahibkarlıq ekosistemlərinə müqayisəli baxış. *Scientific Bulletin*, №1, 10–28.
8. Startup Genome. (2025). *The Global Startup Ecosystem Report 2025* (Executive summary, pp. 1–30).
9. StartupBlink. (2025). *Global Startup Ecosystem Index Report 2025* (ranking summary, pp. 1-25).

MÜASIR IQTISADI ŞƏRAITDƏ MALIYYƏ MENECMENTININ INKIŞAF ISTIQAMƏTLƏRI VƏ PROBLEMLƏRI

Yunis Quliyev
Maliyyə və mühasibat kafedrası, Maliyyə menecmenti ixtisası
Bakı Mühəndislik Universiteti
yquliyev@beu.edu.az

Xülasə: Müasir iqtisadi şəraitdə maliyyə menecmenti müəssisələrin davamlı inkişafı və rəqabət qabiliyyətinin artırılması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Məqalədə maliyyə menecmentinin əsas funksiyaları, qarşılaşdığı çağırışlar və gələcək inkişaf perspektivləri geniş şəkildə təhlil olunur. Qloballaşma, rəqəmsallaşma, sürətli texnoloji dəyişikliklər və iqtisadi qeyri-sabitlik maliyyə idarəçiliyinə birbaşa təsir göstərən əsas amillər kimi çıxış edir. Bu kontekstdə strateji planlaşdırma, risklərin effektiv idarə olunması, rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi və innovativ yanaşmaların rolu xüsusi vurğulanır. Eyni zamanda dayanıqlı maliyyə modellərinin formalaşdırılması müəssisələrin uzunmüddətli uğurunu təmin edən əsas şərtlərdən biri hesab olunur. Aparılan tədqiqatın nəticələri göstərir ki, qeyd olunan istiqamətlər maliyyə qərarlarının keyfiyyətini artırır, resurslardan daha səmərəli istifadəni təmin edir və müəssisələrin dayanıqlı inkişafına mühüm töhfə verir.
Açar sözlər: maliyyə menecmenti, strateji planlaşdırma, risklərin idarə olunması, rəqəmsallaşma, innovasiya, dayanıqlı maliyyə.

Abstract: In the modern economic environment, financial management plays a significant role in ensuring the sustainable development of enterprises and enhancing their competitiveness. The article comprehensively analyzes the main functions of financial management, the challenges it faces, and its future development prospects. Globalization, digitalization, rapid technological changes, and economic instability are identified as the key factors directly affecting financial management. In this context, special emphasis is placed on the role of strategic planning, effective risk management, the application of digital technologies, and innovative approaches. At the same time, the establishment of sustainable financial models is considered one of the main conditions for ensuring the long-term success of enterprises. The results of the conducted research indicate that these directions improve the quality of financial decisions, ensure more efficient use of resources, and make a significant contribution to the sustainable development of enterprises.

Keywords: financial management, strategic planning, risk management, digitalization, innovation, sustainable finance.

Giriş

Müasir dövrdə müəssisələrin uğurlu fəaliyyəti yalnız məhsul və xidmətin keyfiyyətinə deyil, həm də maliyyə resurslarının səmərəli idarə olunmasına bağlıdır. Maliyyə menecmenti müəssisələrin dayanıqlı inkişafını təmin edən, riskləri idarə edən və strateji qərarların qəbulunda əsas rol oynayan kompleks bir sistemdir.

Qlobal iqtisadiyyatın sürətlə dəyişməsi, rəqəmsallaşma və texnoloji inkişaf maliyyə menecmentinə yeni çağırışlar gətirir. Bu səbəbdən maliyyə menecmentinin təkmilləşdirilməsi həm nəzəri, həm də praktik baxımdan əhəmiyyətlidir. Məqsəd: bu məqalənin məqsədi müasir şəraitdə maliyyə menecmentinin əsas funksiyalarını, çağırışlarını və inkişaf istiqamətlərini təhlil etməkdir.

1. Maliyyə menecmentinin nəzəri əsasları

Maliyyə menecmenti müəssisənin maliyyə resurslarının planlaşdırılması, təşkili, idarə olunması və nəzarətini əhatə edən kompleks bir sistemdir [5]. Onun əsas məqsədi müəssisənin bazar dəyərini artırmaq, maliyyə dayanıqlığını təmin etmək və riskləri minimuma endirməkdir [1].

1.1 Əsas funksiyalar

Maliyyə planlaşdırması və proqnozlaşdırma: Gəlir və xərclərin optimallaşdırılması, büdcələrin hazırlanması [2].

Kapitalın formalaşdırılması: Müxtəlif maliyyə mənbələrinin səmərəli istifadəsi, o cümlədən öz vəsait, kredit və investisiyalar [3].

İnvestisiya qərarları: Uzunmüddətli layihələrin maliyyələşdirilməsi və müəssisənin bazar dəyərinin artırılması [4].

Likvidliyin idarə olunması: Nağd pul axınının balanslaşdırılması və ödəniş qabiliyyətinin qorunması [5].

Risklərin idarə olunması: Maliyyə risklərinin müəyyən edilməsi, qiymətləndirilməsi və minimal səviyyəyə endirilməsi [6].

1.2 Strateji əhəmiyyəti

Maliyyə menecmenti yalnız gündəlik əməliyyatları idarə etmir, həm də strateji qərarların qəbulunda rəhbərliyi dəstəkləyir. Effektiv maliyyə menecmenti müəssisənin rəqabət qabiliyyətini artırır və bazar dayanıqlığını təmin edir [1].

2. Müasir iqtisadi şərait və onun maliyyə menecmentinə təsir xüsusiyyətləri

2.1 Qloballaşma

Qlobal bazarlara çıxış müəssisələr üçün yeni imkanlar yaradır, lakin valyuta riskləri, beynəlxalq rəqabət və ticarət risklərini artırır [2]. Qloballaşma maliyyə menecerlərini beynəlxalq standartlara uyğun qərarlar qəbul etməyə məcbur edir [3].

2.2 Rəqəmsallaşma və texnoloji inkişaf

Rəqəmsal texnologiyalar maliyyə qərarlarının qəbulunu sürətləndirir. ERP sistemləri, süni intellekt və böyük verilənlərin analizi (Big Data) maliyyə menecmentində inqilabi dəyişikliklər yaradır [4].

2.3 İqtisadi qeyri-sabitlik

İnflyasiya, maliyyə böhranları və bazar dalğalanmaları maliyyə planlaşdırmasını çətinləşdirir. Bu isə ehtiyat fondlarının yaradılmasını və maliyyə dayanıqlığının artırılmasını tələb edir [6].

2.4 Rəqabətin güclənməsi

Müəssisələr arasında rəqabətin artması maliyyə resurslarının səmərəli istifadəsini zəruri edir. Bu da maliyyə menecmentində strateji qərarların vacibliyini artırır [1].

3. Maliyyə menecmentinin çağırışları

Maliyyə risklərinin artması: valyuta, faiz və kredit riskləri müəssisələrin stabilliyini sınağa çəkir [6].

İnformasiya qeyri-müəyyənliyi: düzgün və etibarlı məlumatların çatışmazlığı qərarverməni çətinləşdirir [2].

Texnoloji dəyişikliklərə uyğunlaşma: yeni texnologiyaların tətbiqi əlavə resurs tələb edir [4].

İnsan kapitalının çatışmazlığı: yüksək ixtisaslı maliyyə menecerlərinin azlığı [3].

Qlobal böhranlar və geopolitik risklər: maliyyə sabitliyini təhdid edir [6].

4. Maliyyə menecmentinin təkmilləşdirilməsi istiqamətləri

4.1 Rəqəmsal transformasiya

Süni intellekt, ERP və FinTech texnologiyaları maliyyə proseslərini avtomatlaşdırır, xərc və riskləri azaldır. Bulud texnologiyaları müəssisələrə real vaxt rejimində maliyyə göstəricilərini izləməyə imkan verir [4].

4.2 Strateji planlaşdırma

Uzunmüddətli maliyyə strategiyaları müəssisənin dayanıqlı inkişafını təmin edir. Strateji planlaşdırma risklərin proaktiv idarə edilməsinə imkan verir [1].

4.3 Risklərin idarə olunması

Risklərin qiymətləndirilməsi və diversifikasiya metodlarının tətbiqi maliyyə dayanıqlığını artırır. Stres-testlər və müxtəlif ssenarilərin analizi maliyyə qərarlarını daha etibarlı edir [5].

4.4 İnnovativ yanaşmalar

Rəqəmsal ödəniş sistemləri, blokçeyn texnologiyası və avtomatlaşdırılmış audit maliyyə əməliyyatlarını şəffaf edir və qərarverməni sürətləndirir [4].

4.5 İnsan kapitalının inkişafı

Maliyyə menecerlərinin peşəkarlığının artırılması üçün təlimlər, kurslar və beynəlxalq sertifikatlar tətbiq edilməlidir [3].

5. Gələcək perspektivlər

Maliyyə menecmentinin gələcək perspektivləri müasir iqtisadi transformasiyalar fonunda daha da genişlənir və mürəkkəbləşir [1][2]. Bu sahədə baş verən dəyişikliklər əsasən texnoloji inkişaf, qlobal iqtisadi inteqrasiya və risk mühitinin dinamikləşməsi ilə əlaqədardır. Gələcəkdə maliyyə menecmenti yalnız ənənəvi funksiyaları yerinə yetirməklə kifayətlənməyəcək, eyni zamanda strateji qərarların qəbulunda daha aktiv və həlledici rol oynayacaq [3].

İlk növbədə, rəqəmsal texnologiyaların inkişafı maliyyə menecmentinin gələcəyini müəyyən edən əsas amillərdən biridir. Süni intellekt, maşın öyrənməsi və böyük verilənlərin təhlili maliyyə qərarlarının daha dəqiq və operativ qəbul edilməsinə imkan verəcək [2][7]. Müəssisələr real vaxt rejimində maliyyə vəziyyətlərini izləyə, riskləri əvvəlcədən proqnozlaşdıra və optimal qərarlar qəbul edə biləcəklər. Bu isə idarəetmədə effektivliyi artıracaq.

Digər mühüm istiqamət avtomatlaşdırmanın genişlənməsidir. Gələcəkdə maliyyə əməliyyatlarının əksəriyyəti avtomatlaşdırılmış sistemlər vasitəsilə həyata keçiriləcək. Mühasibat uçotu, büdcələşdirmə və hesabatların hazırlanması kimi proseslər daha sürətli və daha dəqiq icra olunacaq [4]. Bu da maliyyə menecerlərinə daha çox strateji məsələlərə fokuslanmaq imkanı yaradacaq.

Qlobal iqtisadi mühitin dəyişkənliyi də maliyyə menecmentinin gələcək inkişafına təsir edəcək. Geosiyasi risklər, iqtisadi böhranlar və bazar dalğalanmaları müəssisələrdən daha çevik və dayanıqlı maliyyə strategiyaları tələb edəcək [6]. Bu baxımdan risklərin idarə olunması metodları daha da təkmilləşəcək və qabaqlayıcı yanaşmalar ön plana çıxacaq.

Gələcək perspektivlər arasında dayanıqlı inkişaf və "yaşıl maliyyə" anlayışı da xüsusi yer tutur. Müəssisələr yalnız mənfəət əldə etməyə deyil, eyni zamanda ekoloji və sosial məsuliyyətlərini yerinə yetirməyə də diqqət yetirəcəklər [7]. ESG (ekoloji, sosial və idarəetmə) prinsiplərinə uyğun maliyyə qərarlarının qəbulu investorlar üçün əsas seçim meyarlarından birinə çevriləcək.

Bununla yanaşı, alternativ maliyyələşmə mənbələrinin rolu artacaq. Startaplar və kiçik müəssisələr üçün vençur kapitalı, kraudfandinq və digər innovativ maliyyə alətləri daha geniş istifadə olunacaq [5]. Bu isə iqtisadiyyatda innovasiyaların sürətlənməsinə və yeni biznes modellərinin yaranmasına şərait yaradacaq.

Kadr potensialının inkişafı da gələcək perspektivlərdə mühüm yer tutur. Maliyyə menecerlərindən yalnız klassik biliklər deyil, həm də texnoloji bacarıqlar, analitik düşüncə və strateji baxış tələb olunacaq [1][3]. Bu səbəbdən maliyyə sahəsində təhsil və peşəkar inkişaf proqramları da yeni tələblərə uyğun şəkildə dəyişəcək.

Nəticə

Müasir şəraitdə maliyyə menecmentinin təkmilləşdirilməsi müəssisələrin uğurlu fəaliyyəti üçün həyati əhəmiyyət daşıyır. Rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi, strateji planlaşdırma, risklərin idarə olunması və innovativ yanaşmalar maliyyə idarəçiliyini daha effektiv edir. Müəssisələr yalnız ənənəvi metodlarla kifayətlənməməli, həmçinin yeni texnologiya və idarəetmə alətlərini tətbiq etməlidirlər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Brigham, E.F., & Houston, J.F. (2021). *Fundamentals of Financial Management*. Cengage Learning.
2. Gitman, L.J. (2020). *Principles of Managerial Finance*. Pearson.
3. Van Horne, J.C., & Wachowicz, J.M. (2018). *Financial Management and Policy*. Prentice Hall.
4. Ross, S.A., Westerfield, R., & Jordan, B.D. (2021). *Corporate Finance*. McGraw-Hill.
5. Titman, S., & Keown, A.J. (2019). *Financial Management: Principles and Applications*. Pearson.
6. IMF Reports, *World Economic Outlook*, 2022–2025.
7. Yerli və beynəlxalq iqtisadi və maliyyə məqalələri, 2018–2025.

CREATIVE ECOSYSTEMS AS DRIVERS OF SUSTAINABLE SOCIO-ECONOMIC TRANSFORMATION: THE CASE OF KAZAKHSTAN

Yalkunov Makhamytali
Department of Higher school of economics and management
Turan University
Kazakhstan, Almaty.
23241048@turan-edu.kz

Abstract: Creative ecosystems constitute interconnected networks of artists, entrepreneurs, educational institutions, policymakers, and investors that promote innovation, cultural preservation, and economic diversification. In resource-dependent economies, these ecosystems function as catalysts for sustainable socio-economic transformation by generating inclusive growth, high-value employment, and alignment with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). This paper analyses the conceptual foundations of creative ecosystems and examines their development in Kazakhstan. Drawing on the most recent official data (AIFC, 2025), it evaluates government initiatives, regional disparities, sector performance, and growth dynamics. Through case illustrations and a critical policy assessment, the study identifies both achievements and structural limitations. The scientific novelty lies in its post-2024 empirical analysis following the introduction of tax incentives, combined with a critical evaluation of ecosystem maturity within the Central Asian context. The paper concludes with evidence-based recommendations for enhancing the contribution of creative ecosystems to long-term sustainable development.

Key words: creative ecosystems, sustainable development, creative industries, Kazakhstan, economic diversification, innovation

Introduction

The creative economy has gained prominence as a driver of inclusive and sustainable growth. First popularised by Howkins (2001), the concept positions ideas as the central source of value creation [1]. UNCTAD (2024) defines creative industries as the cycles of creation, production, and distribution of goods and services that rely primarily on creativity and intellectual capital [2].

Globally, creative industries contribute approximately 3.1 % to world GDP and employ 6.2 % of the workforce, with projections indicating growth to 10 % of global GDP by 2030 [2]. For resource-dependent economies such as Kazakhstan, creative ecosystems provide a viable pathway toward diversification, innovation, and alignment with the UN Sustainable Development Goals [3]. Kazakhstan has recorded notable quantitative progress: by early 2025 the creative sector comprised more than 45 500 business

entities - a 2.7-fold increase since 2017 - while gross value added (GVA) reached KZT 1.2 trillion in 2023 and KZT 498.7 billion in the first half of 2024; employment stood at 143.6 thousand people [4][5]. Nevertheless, the sector's share in national GDP remains modest at around 1 % [4].

This paper contributes to the literature by offering one of the first comprehensive post-2024 analyses of Kazakhstan's creative ecosystems. Its scientific novelty consists in (a) integrating the latest empirical data following the 2024 tax incentives [6], (b) providing a critical assessment of policy effectiveness and ecosystem maturity, and (c) situating the Kazakhstani experience within the broader Central Asian regional context [7]. The study proceeds by reviewing conceptual foundations, presenting current developments, analysing challenges, and formulating policy recommendations.

This paper provides an overview of creative ecosystems as drivers of transformation, with a focus on Kazakhstan's experience. It analyzes conceptual frameworks, national and regional developments, performance indicators, and policy implications.

Conceptual Framework of Creative Ecosystems

Creative ecosystems are dynamic networks comprising creators, supporting institutions, markets, and enabling policies that generate cultural, social, and economic value through collaboration and knowledge exchange [2].

The principal elements are:

- creative industries (film, music, design, IT, crafts, architecture, fashion, and related activities);
- supporting infrastructure (creative hubs, accelerators, funding mechanisms, and digital platforms);
- human capital (development of digital literacy and entrepreneurial skills);
- policy and institutional environment (tax incentives, intellectual property protection, and multi-stakeholder partnerships) [2][8].

These components collectively foster economic diversification, resilience, innovation, cultural preservation, and social inclusion [3].

Alignment with the Sustainable Development Goals (SDGs). Creative ecosystems contribute directly to several SDGs, notably: SDG 4 (Quality Education) through arts education and skills development; SDG 5 (Gender Equality) via high participation of women and youth; SDG 8 (Decent Work and Economic Growth) by creating knowledge-intensive jobs; SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure) through digital transformation; SDG 11 (Sustainable Cities and Communities) via urban regeneration; SDG 12 (Responsible Consumption and Production) by promoting sustainable design; SDG 16 (Peace, Justice and Strong Institutions) by strengthening cultural diversity and social cohesion; and SDG 17 (Partnerships for the Goals) through cross-sector collaboration [3][9]

Creative Ecosystems in Kazakhstan: Current State and Initiatives

Under the Concept for the Development of Creative Industries (2021–2025), the sector has expanded significantly [10]. In 2024–early 2025 it included more than 45 500 entities (12 300 legal entities and over 33 000 individual entrepreneurs), accounting for approximately 2 % of all registered businesses [5]. GVA totalled KZT 1.2 trillion in 2023 and KZT 498.7 billion in the first half of 2024 [4]. Employment increased from 106.7 thousand in 2019 to 143.6 thousand by March 2025 [5].

Table 1. Key Indicators of Kazakhstan's Creative Economy

Indicator	2017-2019	2023	2024 - I quarter 2025	Grow since 2017
Number of entitles	appox.17 500	approx. 30 000	more than 45 000	2,7x
GVA (KZT trillion)	N/A	1,2	0,499 - I quarter 2024	3,2x
Employment (thousand)	106,7 (2019)	N/A	143,6	+34,6 %
GDP contribution	less than 1 %	around 1 %	around 1 %	stable

Source: AIFC (2025) [4]; Prime Minister of the Republic of Kazakhstan (2025) [5].
Modern segments (IT, video games, television, and cinema) generate 38 % of GVA, while traditional segments (architecture, fashion, design, and cultural institutions) contribute 24 % [4].
Regional Dynamics and Government Initiatives. Creative activity remains concentrated in Almaty and Astana, which together account for about 62–67 % of entities [7][11]. Almaty, a UNESCO Creative City of Music since 2017, serves as the primary cultural hub, while Astana hosts innovation-oriented initiatives such as the Ɵnergy Creative Hub [12].
Government measures include tax incentives for 40 creative activities introduced in 2024 [6], plans to establish the Creative Industry Development Fund in 2025 [13], and the expansion of creative hubs (12 operational by end-2024, with eight additional hubs planned for regions by 2025) [14]. UNDP-supported participatory projects in Kyzylorda, Mangystau, and Semey aim to reduce urban-rural disparities [3]. Preparations for the 2026–2030 Concept are currently underway [5][15].
SWOT Analysis

Strengths: robust policy commitment, young talent pool, cultural heritage, and advancing digitalisation [4].	Weaknesses: pronounced regional imbalances, skills gaps, brain drain, and limited access to long-term financing [8][16].
Opportunities: forthcoming 2026–2030 Concept, creative-technology convergence, export potential, and international partnerships [4][7]	Threats: economic volatility, predominantly top-down implementation, and competition from more mature creative economies [16].

Critical Analysis of Policy Effectiveness and Ecosystem Maturity
Although quantitative growth is evident, a critical examination reveals structural constraints. The modest 1 % contribution to GDP, despite a 3.2-fold nominal increase in GVA since 2017, indicates that expansion remains largely extensive rather than transformative [4]. Qualitative research points to persistent challenges: heavy dependence on personal financing (over 65 % of respondents), insufficient long-term public support, brain drain, skills shortages, and reliance on imported technologies and materials [8].

Urban concentration and the gap between ambitious targets (originally 5 % of GDP by 2025) and actual outcomes highlight implementation weaknesses [10][20]. Compared with other Central Asian countries, Kazakhstan leads in scale (2.7 % GDP share vs. 1 % in Kyrgyzstan and Uzbekistan), yet the ecosystem still lacks sufficient bottom-up coordination and inter-regional integration [7][19]. Recent British Council analysis further emphasises barriers to impact investing and the need for better articulation of social value by creative enterprises [16].
The scientific novelty of the present study lies in its synthesis of post-2024 data with this critical perspective, moving beyond descriptive accounts to evaluate the actual maturity of Kazakhstan's creative ecosystem in a resource-dependent context [4][7].
To strengthen ecosystem maturity and maximise socio-economic impact, it is recommended to scale participatory, UNDP-style regional creative hubs to address urban-rural disparities [3], enhance tertiary and vocational education in creative entrepreneurship, digital skills, and intellectual property management [8], ensure full operationalisation of the Creative Industry Development Fund with a clear focus on SMEs and regional projects [13], shift toward genuine cross-sector collaboration between arts, science and business together with greater bottom-up governance [16], and integrate creative industries more explicitly into national SDG reporting and green economy strategies [9].

Conclusion
Creative ecosystems in Kazakhstan possess considerable potential to drive sustainable socio-economic transformation in a resource-dependent economy [3][4]. By fostering innovation, preserving cultural heritage, and generating inclusive employment, these ecosystems offer a strategic alternative to traditional

extractive sectors, simultaneously advancing multiple United Nations Sustainable Development Goals. The empirical evidence presented in this study demonstrates tangible progress: a 2.7-fold increase in the number of creative entities since 2017, substantial growth in gross value added and employment, and the implementation of targeted policy instruments such as tax incentives and creative hubs [4][5].
Nevertheless, a critical analysis reveals that these achievements remain constrained by persistent structural challenges, including pronounced regional imbalances, limited access to long-term financing, skills gaps, brain drain, and the predominance of top-down governance [8][16]. The modest contribution of the sector to national GDP (approximately 1 %) underscores that current growth is largely extensive rather than deeply transformative. In the broader Central Asian context, while Kazakhstan maintains a leading position, the ecosystem has yet to reach full maturity required for systemic socio-economic impact [7].

The scientific novelty of this paper lies in its timely integration of post-2024 empirical data with a rigorous critical evaluation of policy effectiveness, thereby filling an important gap in the existing literature on creative-led development in emerging resource-dependent economies. By implementing the evidence-based recommendations outlined above - particularly the scaling of participatory regional hubs, strengthening of entrepreneurial education, operationalisation of the dedicated Creative Industry Development Fund, and a shift toward genuine bottom-up multi-stakeholder collaboration - Kazakhstan can fully harness the transformative power of its creative ecosystems under the forthcoming 2026–2030 Concept [5][7].
Ultimately, the successful maturation of creative ecosystems will not only enhance economic resilience and diversification but also enrich cultural identity, promote social cohesion, and contribute meaningfully to the country's long-term sustainable development agenda. This study provides an updated, critically informed foundation for both future academic research and evidence-based policymaking in the field.

References

1. Howkins, J. (2001). *The Creative Economy: How People Make Money from Ideas*. Penguin Books.

2. UNCTAD. (2024). *Creative Economy Outlook 2024*. United Nations Conference on Trade and Development.

3. Yerassyl Kalikhan, & Mukitanov, D. (2025, January 8). The power of creative industries in Kazakhstan: a path to sustainable development. UNDP Kazakhstan. https://www.undp.org/kazakhstan/blog/power-creative-industries-kazakhstan-path-sustainable-development

4. Astana International Financial Centre (AIFC). (2025). *Creative Industries in Kazakhstan: Trends and Prospects*. https://aifc.kz/wp-content/uploads/2025/01/creative-industries-in-kazakhstan-trends-and-prospects.pdf

5. Prime Minister of the Republic of Kazakhstan. (2025, March 18). Growth in creative industries and the number of employees in this sphere by 15 % in Kazakhstan. https://primeminister.kz/en/news/growth-in-creative-industries-and-the-number-of-employees-in-this-sphere-by-15-in-kazakhstan-29819

6. Government of the Republic of Kazakhstan. (2024). Tax incentives for creative industries.

7. Auken, B. et al. (2025). Creative Economy in Central Asia: Insights into Size, Structure and Prospects.

8. Zhuparova, A., Pukala, R., & Doszhan, R. (2022). Qualitative assessment of the development of creative industries in emerging countries: The case of Kazakhstan. *Business Perspectives*.

9. UNESCO. (n.d.). Almaty – Creative City of Music.

10. Government of the Republic of Kazakhstan. (2021). Concept for the Development of Creative Industries (2021–2025).

11. British Council. (2025). *Creative Central Asia 2025*.

12. British Council. (2018). *Mapping the Creative Industries in Kazakhstan* (updated analyses 2025).

13. Adyrna National Portal. (2025, March 18). A Creative Industry Development Fund will be established in Kazakhstan.

14. OCA Magazine. (2025, March 3). Kazakhstan: The Creative Phoenix of Central Asia.

15. QazInform. (2025). Kazakhstan to develop 2026-2030 creative industries development concept.

16. British Council. (2025). *Impact Report: Creative and Cultural Industries in Kazakhstan 2024*. https://kazakhstan.britishcouncil.org/sites/default/files/impact-report-cci-kazakhstan-2024-en.pdf

ENVIRONMENTAL REGULATIONS, INDUSTRIAL PRODUCTIVITY, AND ECONOMIC GROWTH: TESTING THE PORTER HYPOTHESIS IN AZERBAIJAN

Tutu Heydarli
Department of Economics
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
0000-0003-3532-8105

Abstract: This paper examines the Porter Hypothesis which supports that properly designed environmental regulation can improve productivity, within the context of the Azerbaijani economy. By analyzing the dynamics of GDP, CO2 emissions, and environmental protection expenditures from 2000 to 2024, the study identifies a trend of "relative decoupling" in the national economy.
Keywords: *Porter Hypothesis, Environmental regulation, CO2 emissions, environmental expenditures*

Introduction

According to the long-standing traditional view, the imposition of environmental standards increases the marginal cost of production, which in turn diminishes the international competitiveness of domestic industries. A range of academic studies like Gray, W. B. (1987) [4] and Jaffe, A. B., et.al (1995) [7] corroborate this view. This economic theory maintains that environmental interventions, such as carbon taxes or tradable emission permits, create new financial burdens on the production process. While these measures may go along with significant social and public health dividends, they are often perceived as 'unproductive' from a firm's standpoint. By restricting technological choices and internalizing the costs of previously free externalities, these regulations effectively extract capital that would otherwise be directed toward growth-oriented and productive investments.

However, The Porter Hypothesis suggests that properly designed environmental regulations create a 'win-win' scenario. [9] By forcing firms to redefine their production methods, these regulations stimulate innovations that improve productivity. Ultimately, this framework implies that environmental control can be a primary driver of corporate success and broader social welfare. [**2**]

Researchers categorize the Porter Hypothesis into three distinct versions to better test its validity: (Firstly it is done by Jaffe and Palmer (1997))

- **The "Weak" Version:** Argues that properly designed regulations encourage environmental innovation, but it does not specify whether this innovation ultimately benefits the firm financially.
- **The "Strong" Version:** Statements that the benefits of spurred innovation frequently outweigh the costs of compliance, resulting in increased company competitiveness and a "win-win" situation.
- **The "Narrow" Version:** Argues that flexible, market-based, or performance-oriented policies are superior to rigid "command-and-control" regulations because they provide businesses more motivation to innovate. [**2**]

There are enough articles that are testing the “weak” version of the Porter hypothesis. In most of these articles, R&D and patents are taken as deriving force of innovation. But Porter argues that environmental regulations are pushing the company not just to buy a new filter, but to redesign its entire business model (for example, changing the production technology to use less resources or updating the sales channel or way that are marketed). [9]

Other studies like, M. Hamamoto (2006) show that pollution abatement cost is positively related to research and development (R&D) spending and negatively related to the average age of fixed assets as the empirical findings of the paper. It is also shown that the increase in R&D investment stimulated by regulatory stringency has a significant positive impact on the growth rate of total factor productivity (TFP) based on a representative sample of five Japanese manufacturing industries. [5]

Other study conducted by Jaffe and Palmer in 1997, proves that there is significant positive relationship between environmental expenditures and R&D expenditures (A 1% increase in pollution abatement costs leads to a 0.15% increase in R&D expenditures.) by accounting for unobserved industry heterogeneity.

Studies pursued by Hidemichi Fujii (2016), Y. Zhang et al. (2025/2026), Urbaniec et al., Lanoie et al. (2011), Lee, Veloso, and Hounshell (2011), Antoine Dechezleprêtre (2013) examined the effect of authorized environmental patent applications.

Previous studies examining the 'strong' version of the Porter hypothesis emphasize the necessity of accounting for nuances such as **endogeneity** (Jaffe and Palmer, 1997) [6], **dynamic effects** (Lanoie et al., 2008) [8] **firm heterogeneity** (Albrizio et al., 2017) [**1**] and **methodological biases** arising from the omission of instrumental variables (Cohen and Tubb, 2018).[3]

The Context of Azerbaijan

To evaluate the possible impact of environmental regulations on industrial productivity, we have to analyze briefly the current institutional and structural outlook of Azerbaijan's economy.

Resource-extraction and heavy industries, especially oil and gas, petrochemicals, and metallurgy, have historically dominated Azerbaijan's industrial economy. These sectors are distinguished by their high energy intensity. The majority of manufacturing processes have a large carbon footprint since they mostly rely on conventional energy sources. Historically, companies have had less immediate encouragement to invest in energy-efficient technology due to comparatively low domestic energy prices.

Besides these matters, Azerbaijan's institutional framework for environmental control is now undergoing a transformation. The key guide for this shift is the "Azerbaijan 2030: National Priorities for Socio-Economic Development" agenda. "A Clean Environment and Green Growth" is the fifth priority, which specifically aims to achieve both economic growth and a sustainable ecological balance. [10] This change in policy represents a move from a reactive to a proactive approach to the environment, where "green growth" is now seen as a key component of national competitiveness rather than a side issue. The need to integrate corporate operations with global ecological norms is further reinforced by the institutional commitment to international accords, such as the Paris Agreement.

Analysis of Azerbaijan's environmental protection expenditure between 2000 and 2024 (based on data from the State Statistical Committee) reveals a period of exponential growth within the 2009–2015 interval. Expenditures, which stood at a mere 18.1 million AZN in the early 2000s, reached a peak of 419.3 million AZN by 2013. This surge is directly proportional to the windfall in oil revenues and the implementation of large-scale infrastructure projects during that era. However, the 2015–2016 devaluations and the precipitous decline in global oil prices led to a sharp contraction in environmental spending, reducing it nearly threefold. A recovery trend has been observable since 2018, and the 2024 figure of 311.9 million AZN confirms a reprioritization of environmental financing within the context of Azerbaijan's "Green World Solidarity Year" and the COP29 presidency.

When examining these data through the lens of the **Porter Hypothesis**, which posits that stringent environmental regulations should stimulate innovation, a discrepancy emerges. Empirical evidence suggests that the bulk of financial allocations is still directed toward routine conservation and capital investments rather than fostering R&D-driven innovative offsets.

The **Electricity and Heat Production** sector remains the primary source of CO2 emissions in the country. At the beginning of the 2000s, this sector's contribution to total CO2 emissions stood at 15.3 million tons; however, this figure declined to 8.3 million tons by 2010. In the subsequent years, an upward trend re-emerged, with emissions reaching 13.2 million tons by 2023. The overall initial decline is attributed to the modernization of power plants and the strategic transition from heavy fuel oil (mazut) to natural gas. Nevertheless, the steady rise from the 2010 low (8.3 million tons) to over 13 million tons underscores growing domestic demand and indicates that renewable energy sources have not yet reached a dominant share in the energy mix. Furthermore, an analysis of the 2000–2023 period reveals that CO2 emissions from the **industrial sectors** have remained relatively stagnant, fluctuating within a narrow range of approximately 2 to 2.7 million tons.

The application of the Porter Hypothesis still faces a number of structural obstacles in spite of the strategy change. State-owned businesses (SOEs) and older manufacturing facilities, in particular, constitute a sizable share of the domestic industrial base that uses outdated equipment. Local businesses frequently lack the depth of research and development (R&D) required to swiftly shift to environmentally friendly production. Also, especially for Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs), the high initial capital needs for "abatement technologies" sometimes exceed the projected long-term innovation offsets.

To test the Porter Hypothesis, a precise empirical study is, of course, essential. However, to estimate the correlation simply, it is useful to take a general look at the relationship between GDP and emissions—specifically CO2 emission levels. In the Azerbaijani economy, GDP per capita has shown a massive increase, rising from **$2.1 billion** in 2000 to **$57.5 billion** in 2023 (at constant 2015 prices). The positive

takeaway is that while the economy grew approximately **27-fold**, per capita CO2 emissions only rose from **3.64** to **4.14**. This phenomenon is known as **"relative decoupling."** In other words, the economy is expanding, but emissions are not increasing at the same rate.

Conclusion

The most important finding is the convincing proof of "relative decoupling" in the Azerbaijani economy. The economy appears to have moved away from a strictly linear correlation between growth and pollution, as seen by the almost 27-fold increase in GDP and the relatively steady per capita CO2 emissions (from 3.64 to 4.14 metric tonnes).

Although the "Azerbaijan 2030: National Priorities for Socio-Economic Development" national goals, which represent Azerbaijan's strategic change, are consistent with the Porter Hypothesis, the "Strong" form of the hypothesis is still unproven in the domestic setting.

According to the study, historically low domestic energy costs, high initial capital needs for SMEs, and a lack of deep R&D expertise all work against accidental green innovation.

References

1. **Albrizio, S., Kozluk, T., & Zipperer, V. (2017).** Environmental policies and productivity growth: Evidence across industries and firms. *Journal of Environmental Economics and Management*, 81, 209–226.
2. **Ambec, S., Cohen, M. A., Elgie, S., & Lanoie, P. (2013).** The Porter Hypothesis at 20: Can Environmental Regulation Enhance Innovation and Competitiveness? *Review of Environmental Economics and Policy*, 7(1), 2–22. https://doi.org/10.1093/reep/res016
3. **Cohen, M. A., & Tubb, A. (2018).** The Impact of Environmental Regulation on Firm and Country Competitiveness: A Meta-analysis of the Porter Hypothesis. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 5(2), 371–399.
4. **Gray, W. B. (1987).** The Cost of Regulation: OSHA, EPA and the Productivity Slowdown. *The American Economic Review*, 77(5), 998–1006. [suspicious link removed]
5. **Hamamoto, M. (2006).** Environmental regulation and the productivity of Japanese manufacturing industries. *Resource and Energy Economics*, 28(4), 299–312.
6. **Jaffe, A. B., & Palmer, K. (1997).** Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study. *The Review of Economics and Statistics*, 79(4), 610–619. [suspicious link removed]
7. **Jaffe, A. B., Peterson, S. R., Portney, P. R., & Stavins, R. N. (1995).** Environmental Regulation and the Competitiveness of U.S. Manufacturing: What Does the Evidence Tell Us? *Journal of Economic Literature*, 33(1), 132–163. [suspicious link removed]
8. **Lanoie, P., Patry, M., & Lajeunesse, R. (2008).** Environmental regulation and productivity: testing the porter hypothesis. *Journal of Productivity Analysis*, 30(2), 121–128. https://doi.org/10.1007/s11123-008-0108-4
9. **Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995).** Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97–118. https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97
10. https://president.az/

GÖMRÜK QANUNVERICILIYINDƏN YAYINMA HALLARI VƏ ONLARA NƏZARƏT MEXANIZMLƏRI

Sahib İsmayılov
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
Beynəlxalq ticarət və logistika ixtisası
sahib.ismay777@icloud.com
Bakı,Azərbaycan

Xülasə: Müasir qlobal ticarət münasibətləri fonunda gömrük qanunvericiliyindən yayınma halları milli iqtisadiyyatların dayanıqlığına, dövlət büdcəsinin gəlir hissəsinə və bazar subyektləri arasında sağlam rəqabət mühitinə birbaşa təhdid formalaşdıran fundamental problemlərdən biridir. Bu qanunazidd əməllər transmilli xarakter daşımaqla, müxtəlif mürəkkəb üsullarla həyata keçirilir. Təqdim olunan tədqiqat işinin əsas qayəsi gömrük hüquqpozmalarının struktur analizi və mövcud inzibatçılıq mexanizmlərinin effektivlik dərəcəsinin qiymətləndirilməsi,eləcə də təklif xarakterli yanaşmalardan ibarətdir. Gömrük nəzarəti sadəcə iqtisadi təhlükəsizliyin deyil,həm də milli təhlükəsizliyin qorunmasını təmin etdiyinə görə ölkə üçün çox mühim əhəmiyyət kəsb edir.

Açar sözlər: **Hüquqpozma,gömrük qanunvericiliyi,gömrük nəzarəti,iqtisadi təhlükəsizlik.**

Abstract: In the context of modern global trade relations, violations of customs legislation constitute one of the fundamental problems posing a direct threat to the sustainability of national economies, state budget revenues, and the formation of a fair competitive environment among market participants. These unlawful activities are transnational in nature and are carried out using various complex methods. The main objective of this research is to conduct a structural analysis of customs offenses, assess the effectiveness of existing administrative mechanisms, and develop proposal-based approaches. Customs control plays a crucial role for the country, as it ensures the protection not only of economic security but also of national security.

Key words: customs violations, customs legislation, customs control, economic security.

Giriş

Müasir dövrdə beynəlxalq iqtisadi münasibətlərin dinamik inkişafı və qloballaşma meyillərinin dərinləşməsi dövlətlərin gömrük-tarif tənzimlənməsi siyasətini yeni müstəviyə daşımışdır. Malların və xidmətlərin transmilli hərəkətinin intensivləşməsi fonunda gömrük qanunvericiliyindən yayınma halları daha mürəkkəb və sistemli struktura malik "gizli iqtisadiyyat" elementinə çevrilmişdir. Bu növ hüquqpozmalar dövlətin maliyyə dayanıqlığına xələl yetirməklə yanaşı, həm də bazar iqtisadiyyatının fundamental prinsiplərindən olan ədalətli rəqabət mühitini deformasiyaya uğradır və milli təhlükəsizliyin, ictimai asayişin, insanların mənəviyyatının, həyat və sağlamlığının, heyvanlar və bitkilər aləminin, ətraf mühitin, xalqların bədii, tarixi və arxeoloji sərvətlərinin qorunması sahəsində və milli iqtisadiyyatın komponentlərində təhdid yaradır.

Qlobal təchizat zəncirinin genişlənməsi qanunsuz ticarət fəaliyyətlərinin də xarakterini dəyişmişdir. Qanunsuz ticarət subyektləri gömrük nəzarəti alqoritmlərindən və institusional boşluqlardan yayınmaq məqsədilə öz əməliyyat metodologiyalarını mütəmadi olaraq modifikasiya edirlər. Bu "təkamül" prosesi, dövlət nəzarət sistemlərinin statik deyil, dinamik və adaptiv bir strukturda qurulmasını qaçılmaz edir.Digər şəkildə desək qaçaqmalçılar hər zaman bir addım öndədir.

Hüquqpozma nümunələri və onlara nəzarət mexanizmləri: Konstruktiv Müdaxilələr Vasitəsilə Fiziki Qaçaqmalçılıq

Situasiyanın Elmi-Metodoloji Təhlili:

Beynəlxalq yükdaşıma logistikasında müşahidə olunan ən mürəkkəb hüquqpozma formalarından biri, nəqliyyat vasitələrinin texniki konstruksiyasına süni müdaxilələr etməklə malların fiziki gizlədilməsidir. Bu üsul, gömrük nəzarətinin vizual və klassik metodlarını kənarlaşdırmaq məqsədilə həyata keçirilən latent (gizli) daşıma strategiyası hesab olunur.

Təzahür Formaları və Texniki Manipulyasiyalar:

- *Konstruktiv Modifikasiya:* Yük avtomobillərinin standart zavod konstruksiyasına kənar müdaxilələrin edilməsi. Bura yük bölməsinin döşəmə və yan divarlarında süni boşluqların yaradılması, qoşqu hissələrində saxta arakəsmələrin quraşdırılması daxildir.

- *Texniki Aqreqatlardan İstifadə:* Malların nəqliyyat vasitəsinin funksional hissələrində – yanacaq çənlərində, qaçaqmalçı tərəfindən ikiqat hazırlanan döşəmədə və ya mühərrik bölməsində xüsusi qablaşdırma ilə gizlədilməsi. Digər şəkildə desək, xüsusi texniki və mexaniki hissələr vasitəsilə gizlətmə metodudur. Praktiki nümunə:2021-ci ildə Cənub Baş Gömrük İdarəsinə daxil olan məlumata əsasən İran İslam Respublikasının vətəndaşı tərəfindən idarə olunan traktor markalı yük maşını Azərbaycandan tranzit keçməklə, İran İslam Respublikasından Qazaxıstana kənd təsərüfatı üçün avadanlıq kotan yükü apararkən gömrük yoxlaşına cəlb olunur, kinoloji itlər vasitəsilə aparılan yoxlamadan sonra məlum olur ki kotan avadanlığının dəmir çərçivəsində 305 kiloqram narkoktik vasitə aşkar olunmuşdur.
- *Struktur Gizlətmə:* Bəyan edilmiş leqal yükün daxilində və ya altında bəyan olunmamış malların yerləşdirilməsi (maskalanma). Praktikada rast gəlinən nümunə:2023-cü ildə Bakı-Doha reysi ilə gedən Pakistan vətəndaşı Umar Muhammada məxsus çemodan rentgen aparatından keçərkən monitorda şübhəli cizgilər aşkar oldunduğu üçün o gömrük əməkdaşları tərəfindən şəxsi yoxlamaya cəlb olunur. Vətəndaşın şəxsi geyimləri çıxarıldıqdan sonra, çemodanın astarı, alt kardonu çıxarılır və altda çemodana yapışdırılmış sellofan paket çıxarılıb. Baxış zamanı paketin içərisində qəhvəyi rəngdə, toz şəklində, kəskin qoxulu 4,130 kq heroin aşkar edilib.

Nəzarət və Mübarizə Strategiyası:

Bu qəbil qanunsuz fəaliyyətlərin aşkarlanması gömrük orqanlarından yüksək texnoloji təchizat və spesifik risk indikatorları üzrə peşəkar təhlil və texniki vasitə tələb edir:

1. *Texniki vasitələrlə:* Risk analizi əsasında şübhəli hesab edilən nəqliyyat vasitələrinin kinoloji (xidməti itlər) və sıxlıqölçən (densitometr) cihazlarla, güzgülərlə, buster cihazlarla dərinləşdirilmiş yoxlanılması.
2. *İntellektual Uyğunsuzluq Analizi:* Nəqliyyat vasitəsinin çəkisi ilə sənədlərdə qeyd olunan göstəricilər arasındakı mikroskopik fərqlərin tərəzilər tərəfindən müəyyən edilməsi, eləcə də hiss olunan ağırlıq fərqlərinin ixtisaslı gömrük əməkdaşı tərəfindən müəyyən olunması.
3. *İnstinktiv müdaxilə:* Gömrük sərhədindən mal və nəqliyyat vasitəsini keçirən şəxs malın yoxlanmasına təsir edən şübhəli hərəkətlər nümayiş etdirdikdə, suallara uyğunsuz cavablar verdikdə, səbəbsiz əsəbilik nümayiş etdirdikdə, səs tonu və intonasiyada dəyişiklik, qəfil həyəcanlanma kimi hallar yaşandıqda yoxlama prosesinə cəlb oluna bilər. Bu cür davranışlar birbaşa hüquqpozmanın sübutu olmasa da, gömrük əməkdaşları üçün əlavə qiymətləndirmə vasitəsi olaraq daha dərin yoxlama tədbirlərinin həyata keçirilməsinə əsas yaradır.

Digər "maskalanma" nümunələri. Gizlətmə metodları getdikcə daha mürəkkəb və kamuflaj hal almağa başlamışdır. Belə ki, narkotik və psixotrop maddələr yalnız nəqliyyat vasitəsində deyil, bəyan edilmiş yüklərin daxilində də yerləşdirilir. Gizli metodlarla gizlədilmiş yüklərin aşkar olunmasına aid praktikada rast gəlinən nümunələr:

- 2024-cü ildə Azərbaycandan tranzit keçməklə, İran İslam Respublikasından Rusiya Federasiyasına kahı daşıyan yük maşınının Astara Gömrük İdarəsində stasionar rentgen qurğusunda yoxlanışından sonra 30 ədəd qablaşmada kahı formasına salınan narkotik vasitə aşkar edilmişdir.
- 2020-ci ildə İran İslam Respublikasından Astara Gömrük Postuna daxil olan Pakistan vətandaşının çemodanın qara və qəhvəyi dəmir tutacaqlarında 876 qram heroin aşkar olunmuşdur.
- 2020-ci ildə Hava Nəqliyyatında Baş Gömrük İdarəsi, karqo-terminalda Azərbaycandan Avstraliyaya ünvanlanan poçt bağlaması kinoloji xidmət itləri vasitəsilə yoxlanmış, təkrar yoxlanış zamanı parçaya hopturulmuş 3,154 kq tiryək aşkar edilmişdir.

Gömrük Dəyərinin Manipulyasiyası

Situasiyanın İqtisadi-Hüquqi Təhlili:

Beynəlxalq ticarət dövriyyəsində ən çox rastlanılan fiskal hüquqpozma formalarından biri **gömrük dəyərinin bilərəkdən azaldılmasıdır**. Bu üsul, fiziki qaçaqmalçılıqdan fərqli olaraq, malın gömrük sərhədindən leqal şəkildə keçirilməsini, lakin müşayiətedici sənədlərdəki (invoys, spesifikasiya və s.) maliyyə göstəricilərinin təhrif olunmasını nəzərdə tutur. Məsələn, bazar dəyəri 20.000 ABŞ dolları olan əmtəənin bəyanetmə prosesində 8.000 ABŞ dolları kimi göstərilməsi dövlət büdcəsinə çatacaq vəsaitlərin birbaşa mənimsənilməsinə yönəlmiş iqtisadi cinayətdir.

Metodun Seçilmə Səbəbləri və Struktur Analizi:

İdxalçı subyektlərin bu manipulyasiyaya müraciət etməsinin əsas motivləri aşağıdakı faktorlarla əsaslandırılır:

- **Fiskal Yükün Optimallaşdırılması (Vergidən Yayınma):** Gömrük rüsumları və ƏDV-nin malın gömrük dəyərinə mütənasib olaraq hesablanması, subyektlərdə süni şəkildə xərcləri azaltmaq və mənfəət marjasını artırmaq həvəsi yaradır.
- **İnzibati Mürəkkəblik:** Beynəlxalq ticarətdə qiymət dəyişkənliyi (birja qiymətləri, endirimlər) faktorundan istifadə edərək, təhrif olunmuş qiyməti "kommersiya sövdələşməsi" kimi qələmə verməyin nisbətən asan olması.
- **Sübutetmə Bazasının Çətinliyi:** İxracatçı ölkə ilə effektiv məlumat mübadiləsi olmadığı təqdirdə, real invoys dəyərinin müəyyən edilməsi mürəkkəb auditor araşdırması tələb edir.

Nəzarət Mexanizmlərinin Effektivliyi:

Latentlik dərəcəsi yüksək olan metodlar gömrükçülər üçün ən təhlükəli metodlardır. Çünki fiziki qaçaqmalçılığı rentgen (X-ray) ilə görmək mümkündürsə, qiymət manipulyasiyası kimi latent halları aşkar etmək üçün dərin maliyyə analizi və xarici ölkələrlə sorğu-sual tələb olunur.Gömrük orqanları bu növ risklərə qarşı **"Qiymət Məlumatları Bazası"** və **"Müqayisəli Qiymət Analizi"** metodlarından istifadə edir. Əgər bəyan olunan dəyər risk profilləri üzrə müəyyən edilmiş orta bazar qiymətlərindən aşağıdırsa, gömrük orqanı dəyərin dəqiqləşdirilməsi və əlavə maliyyə təminatının alınması hüququnu həyata keçirir.

Bu nümunə göstərir ki, gömrük nəzarəti yalnız sərhəddəki fiziki yoxlamalarla deyil, həm də dərin iqtisadi analiz və sənədli audit yoxlamaları ilə tamamlanmalıdır.

Mal Nomenklaturasının Təhrif Edilməsi və Tarif Riskli Təsnifat (HS Code Manipulation)

Vəziyyətin Analitik Təsviri:

Gömrük inzibatçılığında rast gəlinən ən spesifik hüquqpozma formalarından biri Xarici İqtisadi Fəaliyyətin Mal Nomenklaturası (XİF MN) üzrə kodların qəsdən yanlış tətbiq edilməsidir. Bu manipulyasiya, idxal olunan əmtəənin fiziki və texniki xüsusiyyətlərinin sənəd üzərində təhrif edilərək, daha yüksək fiskal yükə malik mövqedən (məsələn, yüksək rüsumlu elektronika) daha aşağı tarif dərəcəsi nəzərdə tutulan sub-pozisiyaya (məsələn, ehtiyat hissələri və ya plastik məmulatlar) keçirilməsini ehtiva edir.

Bir-birlərindən fərqləndirilmələri üçün bizim ölkəmizdə mövsümi və təyinatı üzrə idxal rüsum dərəcələrinin tətbiq edilməsi ilə əlaqədar bir sıra mal mövqelərinin kodları təkrar olunduğundan statistik hesablamaların texniki təminatı üçün doqquzrəqəmli mal mövqelərininkodlarına müvafiq olaraq 0; 1 və 9 rəqəmləri əlavə edilmişdir:

0 - statistik hesabatların texniki təminatı üçün doqquzrəqəmli mal mövqelərinin kodlarına əlavə edilmişdir.

1 - tarif güzəştləri tətbiq edilən mal mövqelərinin statistik məqsədlər üçün seçilməsinə görə göstərilmişdir.

0701	Təzə və ya soyudulmuş kartof:		
0701 10 000	- toxumluq:		
0701 10 000 1	– – mart, aprel, may, sentyabr, oktyabr və noyabr ayları üzrə	-	0
0701 10 000 9	– – digər aylar üzrə	-	15

9 - maksimal gömrük tarifləri tətbiq edilən mal mövqelərinin statistik məqsədlər üçün . seçilməsinə görə göstərilmişdir.

Belə olduğu halda,mala müvafiq olaraq rüsum hesablanır və vergi yayınmalarının qarşısı alınır.

Nəticə

Tədqiqat prosesində əldə olunan elmi-praktik qənaətlər göstərir ki, gömrük qanunvericiliyindən yayınma halları statik bir problem deyil, qlobal ticarətin konyunkturasına uyğun olaraq mütəmadi şəkildə transformasiyaya uğrayan dinamik bir təhdiddir. Yekun olaraq qeyd etmək olar ki, müasir gömrük sistemi təkcə "sərhəd mühafizəçisi" funksiyasını deyil, həm də qanuni ticarəti asanlaşdıran (trade facilitation) və iqtisadi təhlükəsizliyi təmin edən bir filtr missiyasını yerinə yetirməlidir. Təklif olunan islahatların və yeni nəzarət mexanizmlərinin tətbiqi, dövlət büdcəsinin gəlir hissəsinin qorunması ilə yanaşı, milli bazarın kontrafakt məhsullardan təmizlənməsinə və beynəlxalq logistik mərkəz kimi ölkənin reytinqinin yüksəlməsinə birbaşa xidmət edəcəkdir.

Ədəbiyyat

1. Qaçaqmalçılıq əməliyyatları-Dövlət Gömrük Komitəsinin rəsmi internet mənbələri
2. WCO Customs Scientific Journal.
3. Azərbaycan Respublikasının Gömrük Məcəlləsi. Bakı, 2011.
4. World Customs Organization. (2018). Compendium of Risk Indicators. Brussels.
5. Gömrük xidməti mayoru Elşən Həsənovun dərslik vəsaiti

İQTİSADİYYATIN DAVAMLI İNKİŞAFINDA RƏQƏMSAL TİCARƏTİ ROLU

Sunay Musayeva
Beynəlxalq ticarət və logistika ingilis bölməsi
Azərbaycan Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
sunaymusayeva29@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Bu tədqiqat işinin aktuallığı dünya iqtisadiyyatında baş verən sürətli rəqəmsallaşmanın davamlı inkişaf üçün əsas hərəkətverici qüvvəyə çevrilməsi ilə bağlıdır. Tədqiqatın əsas məqsədi rəqəmsal ticarət platformalarının logistika və iqtisadi artıma göstərdiyi real təsirləri müəyyən etməkdir. İşin elmi yeniliyi ənənəvi ticarətdən rəqəmsal modelə keçidin resurslara qənaət və şəffaflıq baxımından yaratdığı üstünlüklərin kompleks təhlilidir. Praktiki əhəmiyyəti isə elektron gömrük xidmətlərinin və kağızsız ticarətin tətbiqi ilə logistik xərclərin azaldılması imkanlarını göstərməsidir. Tədqiqatın nəticəsi olaraq vurğulanır ki, rəqəmsal texnologiyalar ticarət dövriyyəsini sürətləndirməklə yanaşı, həm də ətraf mühitin qorunmasına və iqtisadi dayanıqlığın artırılmasına mühüm töhfə verir. Bu keçid gələcək iqtisadi strategiyaların əsasını təşkil etməlidir.
Açar sözlər: davamlı inkişaf, rəqəmsal iqtisadiyyat, beynəlxalq ticarət, innovasiya, logistika.
Abstract: The relevance of this research is based on the integration of sustainable development and digitalization in the modern global economy. The main goal of the study is to analyze the impact of digital trade platforms on economic growth and resource efficiency. The scientific novelty lies in the comprehensive assessment of the transition from traditional to digital trade models in terms of cost reduction and transparency. Its practical importance is demonstrated through the optimization of logistics costs via electronic customs services and paperless trade. The study concludes that digital technologies accelerate trade turnover while contributing to environmental protection and economic stability. This process creates wide opportunities for diversification of the economy and access to international markets.
Keywords: sustainable development, digital economy, international trade, innovation, logistics.

GİRİŞ

Müasir dövrdə dünya iqtisadiyyatının ən mühüm hədəfi davamlı inkişaf prinsiplərinin tətbiqidir. Davamlı inkişaf (Sustainable Development) dedikdə, bu günün ehtiyaclarını gələcək nəsillərin imkanlarını məhdudlaşdırmadan qarşılamaq nəzərdə tutulur. Bu inkişaf modelinin iqtisadi sütunu rəqəmsal transformasiya ilə birbaşa bağlıdır. Rəqəmsal ticarət, malların və xidmətlərin elektron şəbəkələr vasitəsilə sifarişi, satışı və logistik idarə olunmasını əhatə edərək, qlobal iqtisadiyyatda yeni bir dövr açmışdır. Tədqiqatın aktuallığı ondan ibarətdir ki, rəqəmsallaşma beynəlxalq ticarət zəncirini daha şəffaf, sürətli və ucuz edərək ölkələrin makroiqtisadi göstəricilərinə müsbət təsir göstərir. Azərbaycanın "Şərq-Qərb" və "Şimal-Cənub" beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərindəki strateji mövqeyi, rəqəmsal ticarət və logistika sistemlərinin öyrənilməsini gənc tədqiqatçılar üçün prioritet istiqamətə çevirir.

Baxmayaraq ki, texnoloji tərəqqi iqtisadiyyatın bütün sahələrinə nüfuz edib, beynəlxalq ticarətdə hələ də ciddi maneələr qalmaqdadır. Əsas problemlər sırasına çoxmərhələli bürokratik prosedurlar, kağız daşıyıcılardan həddindən artıq asılılıq və məlumatların ötürülməsindəki fiziki ləngimələr daxildir. Bu amillər logistik xərcləri süni şəkildə artırır və qlobal ticarət dövriyyəsini ləngidir. Eyni zamanda, ənənəvi ticarət metodları böyük həcmdə kağız israfına yol açaraq ekoloji dayanıqlığa zərər verir. Tədqiqatın əsas ehtiyacı məhz bu problemlərin rəqəmsal həllər vasitəsilə necə aradan qaldırılacağını elmi şəkildə əsaslandırmaqdır.

Qarşıya qoyulan məqsəd və vəzifələr

Tədqiqatın əsas məqsədi rəqəmsal ticarət platformalarının iqtisadiyyatın davamlı inkişafına təsir mexanizmlərini təhlil etməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı vəzifələr müəyyən edilmişdir: rəqəmsal ticarətin logistika və gömrük sistemində tətbiqi imkanlarını araşdırmaq, ənənəvi və rəqəmsal metodların səmərəliliyini müqayisə etmək, Azərbaycanın bu sahədəki uğurlu təcrübələrini ("Smart Customs", "Yaşıl Dəhliz") işıqlandırmaq və rəqəmsallaşmanın ekoloji üstünlüklərini qeyd etmək.

TƏDQİQAT METODU VƏ STATİSTİK TƏHLİL

Tədqiqat işində müqayisəli analiz, iqtisadi-statistik müşahidə və nəzəri ümumiləşdirmə metodlarından istifadə olunmuşdur. Təhlillər göstərir ki, rəqəmsal ticarət sistemləri ticarətin asanlaşdırılması (Trade Facilitation) baxımından əvəzsizdir. Məsələn, kağızsız ticarət (paperless trade) sisteminə keçid nəticəsində bir konteynerin gömrük rəsmiləşdirilməsi vaxtı günlərdən dəqiqələrə enmişdir. Aşağıdakı cədvəldə bu səmərəlilik fərqləri əks olunmuşdur.

"Azərbaycan Respublikasında rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafına dair 2026–2029-cu illər üçün Strategiya"nın təsdiq edilməsi haqqında

Strategiyanın əsas məqsədləri aşağıdakılardır:

5.1.1. iqtisadiyyatın sahələrində rəqəmsal transformasiyanı sürətləndirməklə dayanıqlı iqtisadi artımı dəstəkləmək;

5.1.2. iqtisadiyyatın rəqəmsallaşması prosesində əmək bazarının texnoloji tələblərinə uyğun kadr potensialını formalaşdırmaq;

5.1.3. iqtisadiyyatın sahələrində səmərəliliyə əsaslanan data yönümlü idarəetməni inkişaf etdirmək.

Sıra №-si	Hədəf indikatoru	Ölçü vahidi	2026	2027	2028	2029
4.1.1.	Rəqəmsal transformasiya proqramlarında iştirak edən müəssisələrin sayı	ədəd	50	100	180	300
4.1.2.	Rəqəmsal transformasiyadan keçmiş müəssisələrdə EBİTDA artımı	mln AZN	7	17	33	58
4.1.3.	Yeni startapların sayı	ədəd	30	80	155	250
4.1.4.	Rəqəmsal bazarlara çıxış əldə etmiş KOB-ların payı	ədəd	20	50	100	200
4.1.5.	Təlim keçmiş vətəndaşların sayı	nəfər	3.000	8.000	20.000	40.000
4.1.6.	Ümumi məşğulluqda yüksəkixtisaslı İKT mütəxəssislərinin payı	%	1.66	1.71	1.76	1.87
4.1.7.	GenAI-dən istifadə halları vasitəsilə yaradılan iqtisadi təsir	mln AZN	10	30	50	70

Mənbə:https://e-qanun.az/framework/60981

Azərbaycan Respublikasının Rəqəmsal iqtisadiyyat sahə üçün tərtib etdiyi GZİT qrafiki

Güclü tərəflər:	**Zəif tərəflər:**
"Hökumət Buludu" və milli bulud infrastrukturu: Elektron dövlət xidmətlərinin təhlükəsizliyini, etibarlılığını və dayanıqlığını təmin etmək məqsədilə beynəlxalq standartlara uyğun hökumət buludu və milli məlumat mərkəzləri şəbəkəsi strateji üstünlük kimi formalaşmışdır. ▪ Sürətli genişzolaqlı şəbəkə və GPON/FTTH texnologiyaları: "Online Azerbaijan" və əlaqəli dövlət proqramları çərçivəsində internet sürətinin artırılması və ev təsərrüfatlarının əhatə dairəsinin genişləndirilməsi nəticəsində rəqəmsal xidmətlərə çıxış imkanları yüksəlmiş, rəqəmsal iqtisadiyyat üçün dayanıqlı infrastruktur yaradılmışdır. ▪ Rəqabətli İKT qiymətləri: Mobil və sabit genişzolaqlı internet xidmətlərinin milli gəlirə nisbətdə əlçatan qiymət göstəriciləri rəqəmsal cəmiyyətin formalaşmasına töhfə verən mühüm üstünlükdür. ▪ Coğrafi-tranzit mövqe və Ələt Limanı: Azərbaycanın Orta Dəhliz üzərində yerləşməsi və Bakı Limanının genişləndirilməsi rəqəmsal logistika inteqrasiyasında və beynəlxalq rəqəmsal ticarət axınlarında ölkənin strateji mövqeyini gücləndirən üstünlükdür. ▪ Rəqəmsal transformasiyanın milli prioritet olması: "Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər" sənədində innovasiya və rəqəmsal transformasiyanın prioritet istiqamət kimi müəyyən edilməsi institusional uyğunluq və uzunmüddətli inkişaf baxımından mühüm üstünlükdür.	▪ Rəqəmsal savadlılıq və kadr çatışmazlığı: İKT və kibertəhlükəsizlik sahələrində ixtisaslı kadrların çatışmazlığı, habelə rəqəmsal bacarıqlar üzrə qeyri-bərabərlik rəqəmsallaşma prosesini ləngidən mühüm risklərdəndir. ▪ Məlumat idarəçiliyi və DPI standartlaşdırması boşluqları: Dövlət və özəl sektor arasında məlumat mübadiləsinin, məlumatın strukturlaşdırılması və təsvirinin, həmçinin rəqəmsal ictimai infrastrukturun (DPI) komponentlərinin uyğunlaşdırılmasındakı boşluqlar inteqrasiya və idarəetməni çətinləşdirir, ümumi səmərəliliyə risklər yaradır

İmkanlar:	Təhlükələr:
Dövlət müəssisələrində transformasiya: Bir sıra dövlət müəssisələrində rəqəmsal transformasiya proqramlarının tətbiqi yeni idarəetmə modellərinin formalaşmasına və fəaliyyətin səmərəliliyinin artırılmasına imkan yaradır. ▪ İşğaldan azad edilmiş ərazilərin inkişafı: Qarabağ və Şərqi Zəngəzurda rəqəmsal transformasiya layihələrinin həyata keçirilməsi regional inteqrasiyanın güclənməsinə və innovativ həllərin tətbiqinə şərait yaradır. ▪ Tranzit və logistika potensialı: Transxəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutunda yerləşmə e-ticarət və rəqəmsal logistika imkanlarının inkişafına mühüm şərait yaradır. ▪ Data mərkəzlərinə artan tələbat: Regionda data mərkəzlərinə və infrastruktur əsaslı xidmətlərə artan ehtiyac yeni biznes imkanlarını stimullaşdırır və rəqəmsal bazarın genişlənməsinə şərait yaradır. ▪ Texnologiya şirkətlərinin yerdəyişməsi: Qlobal iqtisadi və geosiyasi dəyişikliklər nəticəsində texnologiya şirkətlərinin regiona yönəlməsi rəqəmsal ekosistemin genişlənməsinə və yeni əməkdaşlıq imkanlarının yaranmasına təkan verir. ▪ İdarəetmədə koordinasiya: İnformasiya təhlükəsizliyi və rəqəmsal inkişaf (elektron hökumət) sahələrində qurumdaxili və qurumlararası koordinasiyanın güclənməsi, ekosistem daxilində əməkdaşlıq meyillərinin artması daha effektiv idarəetməni təmin edir. ▪ Süni intellekt imkanları: Qərarvermədə, risklərin idarə olunmasında və insidentlərin aşkarlanmasında süni intellekt əsaslı həllərin tətbiqi innovativ xidmətlərin inkişafına və idarəetmənin səmərəliliyinin artırılmasına imkan yaradır.	Regional rəqabət: Rəqəmsallaşma sahəsində digər ölkələrin sürətli irəliləyişi fonunda Azərbaycan Respublikasının bu sahədə mövqeyinin zəifləməsi riski mövcuddur. ▪ Texnoloji asılılıq: Əsas rəqəmsal texnologiya və avadanlıqlar üzrə xarici təchizatçılardan yüksək asılılığın davam etməsi milli təhlükəsizlik və rəqabət qabiliyyətinə mənfi təsir göstərən risklərdəndir. ▪ Kadr axını: İT və mühəndislik sahəsində ixtisaslı kadrların xaricə miqrasiyasının artması rəqəmsal inkişafın sürətini ləngidən əsas çağırışlardan biridir. ▪ Qlobal texnoloji dəyişikliklər: Blokçeyn, kvant texnologiyaları və digər qabaqcıl texnologiyaların sürətli yayılması fonunda adaptasiya proseslərinin ləngiməsi rəqəmsal inkişafda geriqalma riskini artırır. ▪ Kritik infrastruktur riskləri: Enerji, nəqliyyat və maliyyə sistemlərinin rəqəmsal hücumlara qarşı zəifliyi kibertəhlükəsizlik və milli təhlükəsizlik üçün ciddi risk yaradır. ▪ Beynəlxalq sanksiyalar və ticarət məhdudiyyətləri: Qlobal geosiyasi dəyişikliklərin İT avadanlıqları və proqram təminatı idxalına mənfi təsir göstərməsi iri layihələrin icrasında ləngimə riskini artırır. ▪ Etimad böhranı: Şəxsi məlumatların qorunması ilə bağlı insidentlərin artması ictimai etimadı zəiflədərək, rəqəmsal xidmətlərin qəbul səviyyəsini azalda bilər.

Mənbə:https://e-qanun.az/framework/60981

AZƏRBAYCANIN RƏQƏMSAL TİCARƏT TƏCRÜBƏSİ

"Smart Customs və şəffaflıq"

Azərbaycan Dövlət Gömrük Komitəsinin tətbiq etdiyi "Smart Customs" mobil tətbiqi ticarətin rəqəmsallaşmasında inqilabi addımdır. Bu sistem vasitəsilə bəyannamələrin onlayn təqdimi gömrük-biznes münasibətlərini tam şəffaflaşdırır.

Rəqəmsal Gömrük Xidmətlərinin Sahibkarlıq Mühitinə Təsiri

"Smart Customs" platformasının tətbiqi Azərbaycanın xarici ticarət iştirakçıları üçün inzibati yüklərin azaldılmasında inqilabi mərhələ hesab olunur. Əvvəllər fiziki şəxslər və sahibkarlar tərəfindən bağlamaların bəyan edilməsi üçün gömrük məntəqələrinə getmək, növbələrdə gözləmək və kağız bəyannamələrini doldurmaq tələb olunurdu. Hazırda isə bu proses mobil tətbiq üzərindən cəmi bir neçə dəqiqə ərzində həyata keçirilir. Bu, təkcə vaxta qənaət deyil, həm də ticarət prosesinin şəffaflaşdırılması deməkdir. Rəqəmsal xidmətlər sayəsində insan amili və subyektiv yanaşmalar minimuma enmişdir ki, bu da beynəlxalq hesabatlarda Azərbaycanın ticarətin asanlaşdırılması reytinqlərini yuxarı çəkir. Davamlı inkişafın mühüm bir hissəsi olan biznes mühitinin liberallaşdırılması məhz belə rəqəmsal həllər vasitəsilə reallaşır.

Logistika və Təchizat Zəncirində Süni İntellektin Rolu . Müasir dünyada rəqəmsal ticarətin inkişafı artıq süni intellekt (AI) texnologiyalarından asılı vəziyyətə gəlmişdir. Logistika zəncirində AI alqoritmləri yükdaşımaların optimallaşdırılmasında mühüm rol oynayır. Məsələn, böyük həcmli məlumatların (Big

Data) analizi vasitəsilə malların ən qısa və ən az xərcli yollarla çatdırılması təmin edilir. Bu, həm daşınma qiymətlərini aşağı salır, həm də yanacaq sərfiyyatına qənaət etməklə ekoloji təmiz logistikanı (Green Logistics) dəstəkləyir. Gələcəkdə süni intellektin gömrük risklərinin idarə olunması sistemlərinə tam inteqrasiyası yüklərin sərhəd-keçid məntəqələrindən daha sürətli və təhlükəsiz keçidinə şərait yaradacaqdır.
"Yaşıl Dəhliz" və Davamlı Logistika. "Yaşıl Dəhliz" buraxılış sistemi risklərin idarə olunması prinsipi ilə işləyir. Bu sistem sayəsində yüklər sərhəddə gözləmədən keçir, bu da nəqliyyat vasitələrinin yanacaq sərfiyyatını və CO2 emissiyasını azaldaraq "Yaşıl Logistika" hədəflərinə xidmət edir.

NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqat və təhlillər göstərir ki, rəqəmsal ticarət müasir qlobal iqtisadi sistemdə davamlı inkişafın təmin edilməsi üçün ən effektiv və qaçınılmaz strateji vasitədir. Tədqiqat işi çərçivəsində əldə olunan nəticələri aşağıdakı kimi ümumiləşdirmək olar:
Birincisi, rəqəmsallaşma beynəlxalq ticarətdə əməliyyat xərclərini və vaxt itkisini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. "Kağızsız ticarət" modelinə keçid sənədləşmə proseslərini sürətləndirməklə yanaşı, həm də biznes mühitində şəffaflığı artırır və bürokratik maneələri aradan qaldırır. Bu, iqtisadi səmərəliliyin artması üçün təməl şərtdir.
İkincisi, Azərbaycanın gömrük sistemində tətbiq olunan "Smart Customs" və "Yaşıl Dəhliz" kimi innovativ layihələr ölkəmizin regionun logistik mərkəzinə çevrilmək hədəfinə tam xidmət edir. Bu sistemlərin tətbiqi xarici ticarət iştirakçıları üçün rəqabətədavamlı mühit yaradır və qeyri-neft sektorunun ixrac potensialını stimullaşdırır.
Üçüncüsü, rəqəmsal ticarət ekoloji dayanıqlığın təmin edilməsində mühüm rol oynayır. Logistik marşrutların optimallaşdırılması və kağız israfının minimuma endirilməsi "Yaşıl İqtisadiyyat" prinsiplərinə tam cavab verir. Bu, gələcək nəsillər üçün daha təmiz və dayanıqlı bir mühit deməkdir.
Yekun olaraq qeyd etmək olar ki, iqtisadiyyatın davamlı inkişafı üçün rəqəmsal infrastrukturun daha da genişləndirilməsi, süni intellekt və blokçeyn texnologiyalarının ticarət zəncirinə tam inteqrasiyası vacibdir. Bu istiqamətdə atılan addımlar Azərbaycanın qlobal iqtisadi arenada mövqeyini daha da möhkəmləndirəcəkdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi. (2024). *Azərbaycanda informasiya cəmiyyəti: Statistik məcmunə*. stat.gov.az
2. Azərbaycan Respublikası Dövlət Gömrük Komitəsi. (2024). *Smart Customs və Yaşıl Dəhliz sistemlərinin tətbiqi hesabatı*. customs.gov.az
3. Qasımov, F. Ş. (2023). *Rəqəmsal iqtisadiyyatın əsasları və inkişaf perspektivləri*. Bakı: İqtisadiyyat Nəşriyyatı.
4. Liu, Z. (2008). Foreign direct investment and technology spillovers: Theory and evidence. *Journal of Development Economics*, 85(1–2), 176–193.
5. Sari, D. W., Khalifah, N. A., & Suyanto, S. (2016). The spillover effects of foreign direct investment on the firms' productivity performances. *Journal of Productivity Analysis*, 46(2), 199–233.
6. World Bank. (2023). *Digital Progress and Sustainable Economic Growth*. Washington, DC: World Bank Publications. worldbank.org

AN ECONOMETRİC ANALYSİS OF THE IMPACT OF THE NON-OİL SECTOR ON ECONOMİC GROWTH İN AZERBAİJAN

Samar Samhan
Ph.D Khazar University
Baku, Azerbaijan
Samar.samhan@khazar.org

Abstract: *This study investigates the impact of the non-oil sector on economic growth in Azerbaijan using econometric analysis based on annual data covering the period 1995–2024. The model is estimated using econometric techniques, and its validity is tested through the coefficient of determination (R^2), F-statistic, t-tests. The findings confirm that diversification of the economy away from oil dependence plays a crucial role in ensuring sustainable economic growth. Furthermore, investment, exports, labor, and technological progress are found to be important determinants of economic performance. The study concludes that strengthening the non-oil sector, improving the investment climate, and promoting innovation-driven development are essential for long-term economic sustainability in Azerbaijan.*
Keywords: *On-oil sector; economic growth; Azerbaijan, econometric analysis; GDP; diversification*

I.INTRODUCTİON.

In order to ensure dynamic economic growth in Azerbaijan, it is crucial to implement policies aimed at increasing the share of the non-oil sector in the production structure. Sustainable economic development primarily requires diversification. For this reason, the development of the non-oil sector has significant strategic importance. The expansion of the non-oil sector plays a vital role in accelerating the socio-economic development of regions, as well as increasing state budget revenues and ensuring the formation of the budget from diversified sources. At the same time, the development of the non-oil sector has a substantial impact on increasing export revenues. Taking all these factors into account, various measures are being implemented in the modern period to promote the development of the non-oil sector. In this context, key directions of state economic policy include economic diversification to reduce dependence on a single resource, creating favorable conditions for entrepreneurship development, improving the investment climate, attracting investments into the non-oil sector, and implementing supportive tax policies. These measures collectively serve as fundamental pillars in advancing the development of the non-oil sector in Azerbaijan.

II.RESEARCH QUESTİONS

Based on the research objectives, the study addresses the following key questions:
What is the role of the non-oil sector in ensuring sustainable economic growth in Azerbaijan?

III.RESEARCH HYPOTHESES

To empirically test these questions, the study formulates the following hypotheses:

- H1: The expansion of the non-oil sector has a positive and statistically significant effect on economic growth in Azerbaijan.

The main objective of the research is to identify the directions for the development of the non-oil sector in Azerbaijan, to determine ways to enhance the competitiveness and export potential of non-oil products, to reveal the key challenges in the development of the non-oil sector, and to develop scientifically grounded recommendations and policy implications.
To achieve this objective, the following research tasks are defined:

- To examine the measures implemented by the state in the development of the non-oil sector;
- To explain the role and importance of the non-oil sector in Azerbaijan’s economy in the contemporary period;
- To analyze the current structural and economic condition of the non-oil sector;
- To identify the key drivers that stimulate the development of the non-oil sector.

Empirical analyses and discussion

IV. METHODOLOGY

This study employs a quantitative research approach to examine the impact of the non-oil sector on economic growth in Azerbaijan. The methodology is based on econometric analysis using time-series data, allowing for an empirical assessment of relationships between variables over time.

Data Collection and Sources

The analysis is based on annual data covering the period 1995–2024. All data were obtained from reliable and official sources, primarily the State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan and international databases. The dataset includes macroeconomic indicators such as Gross Domestic Product (GDP) and non-oil sector exports.

VI. Empirical Findings

During the research, the parameters of the multiple regression model were estimated and evaluated using the EViews 12 software package, and the adequacy of the model was tested through the coefficient of determination (R^2), the F-Fisher test, the t-Student test, and other diagnostic tests. All statistical data used in the econometric analysis were obtained from official sources such as the State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. The study is based on annual data covering the period from 1995 to 2024.

In order to measure the impact of the non-oil sector on economic growth in Azerbaijan, the following simple regression model was employed in the research:

$$GDP_t = \beta_0 + \beta_1 NONOIL_t + \varepsilon_t$$

where: GDP – Gross Domestic Product (indicator of economic growth), NONOIL – the volume or share of the non-oil sector in GDP.

Table1. Econometric model

Dependent Variable: GDP
Method: Least Squares
Date: 04/20/26 Time: 23:33
Sample: 1995 2024
Included observations: 22

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
NON_OIL_Export	0.764012	0.174392	4.381013	0.0003
C	23827.72	6565.071	3.629468	0.0017
R-squared	0.889708	Mean dependent var		48073.29
Adjusted R-squared	0.464194	S.D. dependent var		22629.86
S.E. of regression	16564.79	Akaike info criterion		22.35445
Sum squared resid	5.49E+09	Schwarz criterion		22.45364
Log likelihood	-243.8990	Hannan-Quinn criter.		22.37782
F-statistic	19.19327	Durbin-Watson stat		0.345013
Prob(F-statistic)	0.000289			

Source: Created by author on EViews 12

The coefficient of determination of the regression model is 88%, the model is considered statistically significant, and the relationship between the dependent and independent variables is strong. The Fisher test is used to examine the overall significance of the multiple regression model. If the calculated F-value is greater than the critical F-value (F_calculated > F_critical), the model parameters are considered statistically significant. At the 5% significance level, with degrees of freedom $k_1 = 1$ and $k_2 = 22$, the calculated F-statistic reported in Table 1 is 19.19. Since 19.19 > 3.42, the parameters of the multiple regression model are statistically significant according to the Fisher test results. Another test used to evaluate the significance of a multiple regression model is the t-statistic test. If the probability (p-value) of the t-statistic is less than 0.05, then the parameters of the multiple regression model are considered statistically significant.

VII.CONCLUSİON AND DİSCUSSİON

The econometric analysis conducted in this study confirms a strong and statistically significant relationship between the dependent variable and the selected explanatory variables. The high coefficient of determination ($R^2 = 0.88$) indicates that approximately 88% of the variation in the dependent variable is explained by the model, which reflects a strong explanatory power and a good model fit.

The results of the Fisher test further validate the overall significance of the model. Since the calculated F-statistic (19.19) is significantly higher than the critical value (3.42) at the 5% significance level, the null hypothesis of joint insignificance of the explanatory variables is rejected. This confirms that the model is statistically meaningful and that the independent variables jointly have a significant impact on the dependent variable.

In addition, the t-statistic test provides evidence on the individual significance of each coefficient. The results indicate that variables with p-values below 0.05 are statistically significant, meaning they have a meaningful individual contribution to explaining the dependent variable within the model framework.

Overall, the findings suggest that the estimated multiple regression model is both statistically robust and economically meaningful. The strong explanatory power of the model, together with the significance of both joint and individual parameters, confirms its reliability for interpretation and policy analysis.

From an economic perspective, the results imply that changes in the explanatory variables play an important role in influencing the dependent variable, and therefore they should be considered in economic decision-making and policy formulation. However, despite the strong statistical performance of the model, it is important to acknowledge that econometric results may still be influenced by omitted variables, structural breaks, or external shocks not captured within the model framework.

Therefore, future research could improve the analysis by incorporating additional variables, testing for structural stability across different time periods, and applying alternative econometric techniques to further strengthen the robustness of the results.

VIII.POLİCY İMPLİMANCATİONS.

The empirical findings of this study have several important policy implications for Azerbaijan's economic development, particularly in the context of strengthening the non-oil sector and achieving more sustainable and diversified growth.

First, the strong and statistically significant relationship identified in the model suggests that non-oil sector development should remain a central pillar of national economic policy. Since the non-oil sector has a measurable and substantial impact on economic growth, policymakers should continue prioritizing structural reforms that enhance productivity, innovation, and competitiveness in this sector.

Second, the high explanatory power of the model indicates that macroeconomic stability and sectoral development policies are closely interconnected. Therefore, fiscal and monetary authorities should ensure coordinated policy actions that support long-term investment in non-oil industries. In particular, maintaining a stable investment climate, predictable tax policies, and efficient regulatory frameworks will be crucial for sustaining growth in this sector.

Third, the results highlight the importance of investment-driven growth. Policies aimed at increasing both domestic and foreign direct investment in the non-oil sector should be strengthened. This includes improving access to finance for small and medium-sized enterprises (SMEs), expanding public-private partnerships, and supporting export-oriented production.

Fourth, the significance of explanatory variables implies that targeted industrial and innovation policies can play a decisive role in enhancing economic performance. Government support for technology adoption,

digital transformation, and research and development should be expanded to increase productivity in non-oil industries and improve their global competitiveness.

Finally, the findings suggest that regional development policies should also be aligned with non-oil sector expansion. Since economic growth is strongly linked to structural diversification, promoting balanced regional development through infrastructure investment and industrial clustering can reduce regional disparities and increase overall economic efficiency.

In conclusion, the results of the econometric model provide clear evidence that effective policy measures aimed at strengthening the non-oil sector can significantly contribute to sustainable economic growth. Policymakers should therefore focus on long-term structural reforms, investment attraction, and innovation-driven development strategies to ensure continued economic diversification and resilience.

IX.REFERENCES

1. Acemoglu, D., Robinson, J. A., & Verdier, T. (2016). *Growth and institutions*. Journal of Economic Growth.
2. Corden, W. M., & Neary, J. P. (1982). Booming sector and de-industrialisation in a small open economy. *The Economic Journal*, 92(368), 825–848.
3. OECD. (2014). *OECD Economic Surveys: Azerbaijan*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
4. Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5), S71–S102.
5. UNCTAD. (2023). *World Investment Report 2023*. United Nations Conference on Trade and Development.
6. World Bank. (2018). *Azerbaijan: Country Economic Memorandum – Diversification and Growth*. Washington, DC: World Bank.
7. World Bank. (2020). *Regional Development and Inclusive Growth*. Washington, DC: World Bank.

NAĞDSIZ İQTİSADİYYAT VƏ RƏQƏMSAL ÖDƏNİŞ SİSTEMLƏRİ

Ayaz Rüstəmov

Bakı Mühəndislik Üniversiteti

İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi, III kurs tələbə

arustemov6@std.beu.edu.az

Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Müasir dünya iqtisadiyyatı sürətli bir transformasiya dövrü yaşayır. Ənənəvi kağız pul dövründən rəqəmsal aktivlərə və ödənişlərə keçid dövrü maliyyə ekosisteminin təməllərini yenidən qurmaqdadır. Məqalədə nağdsız iqtisadiyyatın yaranma səbəbləri araşdırılmış, nağdsız ödəniş alətlərinin təsnifatı verilmiş, texnoloji inkişafın üstünlükləri və çatışmazlıqları göstərilmişdir. Müəllif məqalədə Azərbaycan iqtisadiyyatında nağdsız ödənişlərlə dövlət büdcəsinin vergi gəlirləri arasındakı asılılığı əks etdirən model hazırlamış və onun əsasında bir sıra təhlillər həyata keçirmiş, təkliflər irəli sürmüşdür. Bu tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, məqalədə qeyd olunan effektiv mexanizmlərin müəyyən edilməsi maliyyə institutları, sahibkarlar və dövlət siyasəti hazırlayan qurumlar üçün qərar qəbuletmə prosesində istifadə oluna bilər. Eyni zamanda tədqiqat sonunda əldə edilmiş nəticələr və iqtisadi şəffaflığın artırılmasına dair verilən tövsiyyələr nağdsız ödənişlərin stimullaşdırılması və maliyyə şəffaflığının artırılması üçün yeni strategiyaların formalaşdırılmasında tətbiq oluna bilər.

Açar sözlər: *rəqəmsal transformasiya, nağdsız ödənişlər, nağdsız iqtisadiyyatın inkişafı, ödəniş kartları, elektron pul kisələri*

Cashless economy and digital payment systems

Ayaz Rustamov

Abstract: The modern world economy is experiencing a period of rapid transformation. The transition from the era of traditional paper money to digital assets and payments is rebuilding the foundations of the financial ecosystem. The article examines the reasons for the emergence of a cashless economy, classifies cashless payment instruments, and shows the advantages and disadvantages of technological development. In the article, the author has developed a model reflecting the dependence between cashless payments and tax revenues of the state budget in the Azerbaijani economy, and based on it, has carried out a number of analyses and put forward proposals. The practical significance of this research is that the identification of effective mechanisms mentioned in the article can be used in the decision-making process for financial institutions, entrepreneurs, and state policy-making bodies. At the same time, the results obtained at the end of the study and the recommendations given on increasing economic transparency can be applied in the formation of new strategies for stimulating cashless payments and increasing financial transparency.

Keywords: *digital transformation, cashless payments,* development of a cashless economy, payment cards, electronic wallets

I. Giriş

Nağdsız iqtisadiyyat bugünkü iqtisadi inkişafın əsas amilinə çevrilmişdir. Məqalədə nağdsız ödənişlərin makroiqtisadi sabitliyin təmin edilməsində necə strateji rol oynadığı təhlil edilmişdir. Mövzunun aktuallığını bir sıra amillərlə izah etmək olar. Əvvəla, şəffaflıq və kölgə iqtisadiyyatı ilə mübarizə üçün nağdsız ödənişlər səmərəli hesab edilir. Nağdsız ödənişlər dövriyyədə olan vəsaitlərin rəqəmsal izlənməsini təmin edir (Humphrey, 2004). Bu isə vergidən yayınma halları və qeyri-leqal fəaliyyətin minimallaşdırılması üçün ən effektiv alətdir.

Nağdsız ödənişlər xərclərin azaldılmasında mühüm rola malikdir. Məlumdur ki, nağd pulların çapı, daşınması və saxlanması dövlət və banklar üçün böyük xərclər yaradır. Rəqəmsal ödənişlər isə bu xərcləri kəskin şəkildə azaldaraq iqtisadi səmərəliliyi artırır.

Nağdsız ödənişlər maliyyə inklyuzivliyinin təmin edilməsinə yardım edir. Rəqəmsal ödənişlər vasitəsilə bank hesabına çıxışı olmayan insanların da maliyyə xidmətlərinə cəlb edilməsi, Ümumi Daxili Məhsulun artımına birbaşa təsir edir. Nağdsız ödənişlər kağız pullarla müqayisədə xeyli sürətlidir və bu da pulun dövriyyə sürətini artırır. Bütün bu amillər mövzunun aktuallığını əsaslandırır.

II. **Nağdsız İqtisadiyyatın yaranma zərurəti, üstünlükləri və çatışmazlıqları**

Nağdsız iqtisadiyyatın yaranma səbəblərini araşdırsaq, nağdsız iqtisadiyyata keçidin təsadüfi bir proses deyil, qlobal iqtisadi sistemin təkamülünün məntiqi nəticəsi olduğu görünür. Bu keçidi şərtləndirən əsas səbəbləri 4 kateqoriyaya bölmək olar. Bunlar aşağıdakılardır:

1. Texnoloji innovasiyalar və infrastrukturun inkişafı. Belə ki, rəqəmsal ödənişlərin yaranmasının ilkin şərti müvafiq texnologiyaların mövcudluğudur. Smartfonların kütləviləşməsi hər bir fərdi "mobil banka" çevirdi. Ödənişlərin sürətini artıran yeni proqram təminatları (məsələn, Apple Pay, Google Pay, rəqəmsal pul kisələri) ənənəvi nağd pulu arxa plana keçirdi. Burda təhlükəsizlik alqoritmlərini xüsusi qeyd etmək lazımdır. Biometrik identifikasiya (Face ID, barmaq izi) nağdsız ödənişləri fiziki puldan daha təhlükəsiz etmişdir.
2. İqtisadi səmərəlilik və xərclərin azaldılması. Nağd pulun dövriyyəsi dövlət və banklar üçün olduqca baha başa gəlir. Kağız pulların çapı, onların daşınması (inkassasiya), qorunması və köhnəlmiş əskinasların məhv edilməsi böyük resurslar tələb edir. Nağdsız sistemdə bu xərclər minimuma enir. Nağdsız ödənişlər eyni zamanda ticarət dövriyyəsini sürətləndirir. Bu isə "pulun dövriyyə sürəti" (velocity of money) göstəricisini artıraraq iqtisadi artıma təkan vermiş olur (Humphrey, 2004).
3. Şəffaflıq və "kölgə iqtisadiyyatı" ilə mübarizə. Dövlətlərin nağdsız iqtisadiyyata keçiddə ən böyük marağı fiskal nəzarətdir. Nağd pul anonimdir, bu da vergidən yayınmağa, çirkli pulların yuyulmasına və qeyri-qanuni ticarətə şərait yaradır. Rəqəmsal ödənişlər isə hər bir qəpiyin "izi"ni qoyur. Bütün tranzaksiyalar qeydiyyata alındığı üçün vergi bazası böyüyür (Arner et al., 2017).
4. İstehlakçı davranışlarının dəyişməsi. Nağdsız ödənişlər insanların işini bir xeyli asanlaşdırır. Onlayn alış-verişin (Amazon, Trendyol və s.) nağd pulla həyata keçirilməsi qeyri-mümkündür. Bu, rəqəmsal ödəniş sistemlərini zəruri edir. Kommunal ödənişlər, bank köçürmələri və xidmət haqlarının bir saniyə ərzində, evdən çıxmadan ödənilməsi nağd pulun rəqabət qabiliyyətini itirməsinə səbəb oldu.

Məlumdur ki, hər bir texnoloji sıçrayışın özü ilə gətirdiyi müəyyən təhlükələr də mövcuddur. Bunlara əvvəla kibertəhlükəsizlik risklərini daxil etmək olar ki, burda da haker hücumları, yəni, şəxsi məlumatların oğurlanması və ya bank hesablarına qanunsuz girişi, fırıldaqçılıq, texnoloji asılılıq məsələləri qeyd olunmalıdır. İnternet kəsildikdə və ya bank sistemlərində texniki nasazlıq yarandıqda iqtisadiyyat "iflic" ola bilər. Yaşlı nəslin və ya kənd yerlərində yaşayanların rəqəmsal sistemlərə adaptasiyasında da müəyyən çətinliklər yaradır. Onu da qeyd etmək olar ki, nağdsız sistemdə anonimlik yoxdur. Dövlət və ya böyük texnologiya şirkətləri fərdin bütün maliyyə tarixçəsini izləyə bilər, bu da şəxsi həyatın məxfiliyi baxımından bəzən tənqid olunur.

Nağdsız ödəniş alətlərinin təsnifatına nəzər yetirsək, qeyd edə bilərik ki, müasir rəqəmsal ekosistemdə nağdsız ödəniş alətləri istifadə rahatlığına və texnoloji bazasına görə bir neçə qrupa bölünür:

Ödəniş kartları (ənənəvi və virtual) - Bu, ən geniş yayılmış alət olub, funksionallığına görə fərqlənir. Məsələn, debet kartları müştərinin şəxsi vəsaitlərindən istifadə etməyə imkan verir (əmək haqqı kartları). Kredit kartları bank tərəfindən ayrılmış limit daxilində borclanma imkanı yaradır. Virtual kartlar isə fiziki mövcudluğu olmayan, yalnız onlayn alış-verişlər üçün nəzərdə tutulan kartlardır.

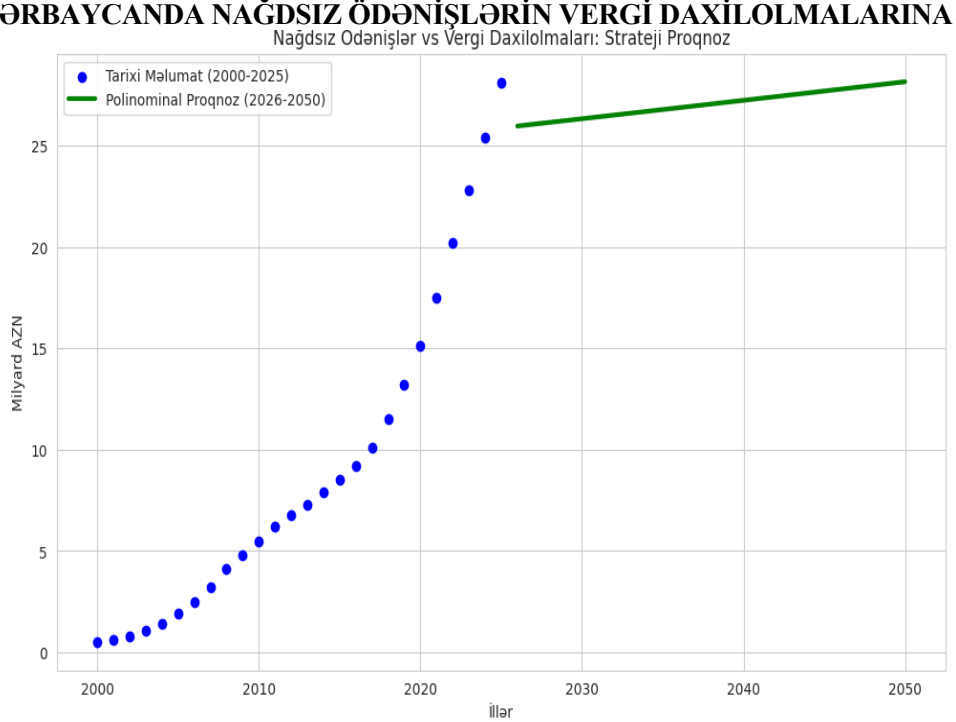
Təmassız ödənişlər və tokenləşmə - Bu alətlər fiziki kartı smartfona və ya ağıllı saata köçürür. Məsələn, NFC (Near Field Communication) yaxın məsafəli rabitə texnologiyası vasitəsilə kartı terminala toxundurmadan (məsələn, Apple Pay, Google Pay vasitəsilə) ödəniş etmək imkanı yaradır (Azərbaycan Respublikası, 2021). QR Kod ödənişləri isə satıcının təqdim etdiyi xüsusi kodu mobil tətbiqlə skan edərək həyata keçirilən sürətli ödəniş növüdür.

İnternet və mobil bankçılıq - Bu, istifadəçilərin banka getmədən, birbaşa tətbiq üzərindən etdiyi əməliyyatlardır ki, P2P köçürmələrini, və avtomatlaşdırılmış ödənişləri özündə birləşdirir. P2P köçürmələrinə kartdan-karta və ya telefon nömrəsi ilə şəxslərarası pul köçürmələri aid edilir. Avtomatlaşdırılmış ödənişlərə kommunal, rabitə və digər müntəzəm xərclərin cədvəl üzrə avtomatik ödənilməsini aid etmək olar.

Elektron pul kisələri - Bunlar bank hesabına birbaşa bağlı olmayan, lakin daxilinə vəsait yüklənərək istifadə edilən rəqəmsal platformalardır (məsələn: PayPal, yerli bazarda isə m10, MPAY və s.). Bu alətlər xüsusilə kiçik ticarət obyektləri üçün çox əlverişlidir.

Yeni nəsil alətlər - Burada blokçeyn və CBDC-ni qeyd etmək olar. Kriptovalyutalar mərkəzləşdirilməmiş şəbəkə üzərindən edilən ödənişlərdir. CBDC (Mərkəzi Bankın Rəqəmsal Valyutası) isə dövlət tərəfindən emissiya edilən rəqəmsal manatdır ki, bu da nağdsız iqtisadiyyatın ən yüksək mərhələsi hesab olunur (Adrian & Mancini-Griffoli, 2019).

III. AZƏRBAYCANDA NAĞDSIZ ÖDƏNİŞLƏRİN VERGİ DAXİLOLMALARINA TƏSİRİ



Şəkil 1. Nağdsız ödənişlərin vergi daxilolmalarına təsiri.

Təqdim olunan qrafik Azərbaycan iqtisadiyyatında rəqəmsallaşma səviyyəsi (nağdsız ödənişlər) ilə dövlət büdcəsinin vergi gəlirləri arasındakı asılılığı və gələcək proqnozu əks etdirir. Analizi üç əsas mərhələyə bölmək olar:

I mərhələ - 2000-2018-ci illəri əhatə edən sabit inkişaf mərhələsidir. Bu dövrdə mülayim artım tempi müşahidə olunur. Nağdsız ödənişlərin hələ formalaşma mərhələsində olması və iqtisadiyyatda nağd dövriyyənin üstünlüyü vergi bazasının genişlənmə sürətini məhdudlaşdırırdı.

II mərhələyə 2019-2025-ci illəri əhatə edən sıçrayış dövrünü aid etmək olar. 2019-cu ildən başlayaraq mavi nöqtələrin trayektoriyasında kəskin dikləşmə (eksponensial artım) görünür. Bu, bir neçə amillə izah oluna bilər. Əvvəla, nağdsız ödənişlərin payının artması dövriyyənin şəffaflaşmasına səbəb olmuşdur ki, bununla da kölgə iqtisadiyyatının kiçilməsi baş vermişdir. Bundan başqa, tranzaksiyaların elektron qeydiyyatı vergidən yayınma imkanlarını minimuma endirmiş və birbaşa daxilolmaları kəskin artırmışdır. Bir də, multiplikator effekti yaratdığını qeyd etmək yerinə düşər ki, nağdsız ödənişlərdəki hər 1%-lik artım, vergi daxilolmalarında daha yüksək faizli artımla nəticələnmişdir.

III mərhələyə 2026-2050-ci illəri əhatə edən proqnoz dövrü aiddir. Yaşıl xəttlə göstərilən Polinominal proqnoz gələcək 25 ili əhatə edir. Bu proqnozun xüsusiyyətlərini aşağıdakı kimi izah etmək olar:

- Artım tempinin stabilləşməsi. Qrafik göstərir ki, nağdsız ödənişlər maksimum həddə (100%-ə yaxın) çatdıqca, vergi daxilolmalarındakı sıçrayışlı artım yerini daha stabil və dayanıqlı artıma verir.
- Doyma nöqtəsi. İqtisadiyyat tam "ağardıqdan" sonra daxilolmaların artımı artıq nağdsızlaşma hesabına deyil, birbaşa ÜDM-in real artımı hesabına baş verəcəkdir.
- Strateji hədəf. Proqnoz xətti 2050-ci ilə qədər vergi daxilolmalarının artan trayektoriya üzrə davam edəcəyini və rəqəmsal ödənişlərin büdcə gəlirlərinin əsas amili olaraq qalacağını təsdiqləyir.

Modelin nəticəsi olaraq qeyd edə bilərik ki, analiz sübut edir ki, nağdsız ödənişlər təkcə bank sektoru üçün deyil, həm də fiskal dayanıqlılıq üçün vacib amildir.

Azərbaycanda bu sahə son illərdə sürətlə inkişaf edir. Ölkə Prezidentinin qəbul etdiyi "Rəqəmsal Dövlət Maliyyəsi İnformasiya Sistemi Haqqında Əsasnamə" (26 yanvar 2026-cı il) iqtisadiyyatın rəqəmsallaşma sürətini xeyli artıracaqdır. Azərbaycan Respublikasında nağdsız iqtisadiyyatın inkişafı dövlətin iqtisadi prioritetlərindən biridir (World Bank Group, 2021). "2024–2026-cı illər üçün maliyyə sektorunun inkişaf Strategiyası" və bu istiqamətdə həyata keçirilən islahatlar, ölkədə nağd pul asılılığının minimuma endirilməsinə xidmət edir (Azərbaycan Respublikasının Mərkəzi Bankı, 2023). Azərbaycan Mərkəzi Bankının statistik göstəricilərinə əsasən, ölkədə kart ödənişlərinin və elektron ticarətin həcmi hər il özündən əvvəlki illə müqayisədə sürətlə artır. "Apple Pay", "Google Pay" kimi qlobal alətlərin ölkə bazarına daxil olması və yerli bankların mobil tətbiqlərinin inkişafı, istifadəçilərin fiziki kartlardan rəqəmsal ödəniş alətlərinə keçidini sürətləndirmişdir.

"ƏDV geri al" (e-kassa) layihəsi və vergi qanunvericiliyindəki stimullaşdırıcı tədbirlər istehlakçılar və sahibkarların nağdsız hesablaşmalara olan marağını artıran əsas mexanizmə çevrilmişdir.

Azərbaycan artıq nağdsız ödəniş ölkəsindən, bu sahədə innovativ həllər axtaran, rəqəmsal maliyyə savadlılığını artıran bir ölkəyə çevrilmək yolundadır.

III. **NƏTİCƏ**

Aparılan tədqiqat və qurulan proqnoz modeli göstərir ki, Azərbaycan iqtisadiyyatında nağdsız ödənişlərin payı ilə vergi daxilolmaları arasında düz mütənasib asılılıq mövcuddur. 2000-2025-ci illərin statistik təhlili sübut edir ki, əvvəla, rəqəmsal ödəniş infrastrukturunun genişlənməsi kölgə iqtisadiyyatının daralmasına və dövriyyənin rəsmi qeydiyyata alınmasına birbaşa təsir göstərib. 2019-cu ildən sonrakı sıçrayışlı artım, "ƏDV geri al" və innovativ kassa aparatları kimi stimullaşdırıcı mexanizmlərin fiskal intizamı kəskin gücləndirdiyini nümayiş etdirir. 2050-ci ilə qədər olan proqnozlar isə göstərir ki, əməliyyatların rəqəmsallaşması büdcə gəlirlərinin neft faktorundan asılılığını azaldan ən mühüm qeyri-neft alətlərindən biri olacaqdır.

Araşdırmaların sonunda bir sıra təkliflər irəli sürmüşəm ki, onları belə sıralamaq olar:

1. Regional rəqəmsallaşmanın gücləndirilməsi məsələləri nəzərə alınmalıdır. Nağdsız ödənişlərin əsas payı hələ də Bakı şəhərinin payına düşür. Düşünürəm ki, regionlarda kiçik və orta sahibkarlıq subyektlərinin (KOB) POS-terminal və ya QR-kod ödəniş sistemlərinə inteqrasiyasını sürətləndirmək üçün müvəqqəti vergi güzəştləri tətbiq edilə bilər.
2. Rəqəmsal ödəniş ekosistemini təkcə banklarla məhdudlaşdırmayıb, Fintech şirkətlərinin bazara girişini asanlaşdırmaq lazımdır. Bu, rəqabəti artıraraq tranzaksiya xərclərini azalda bilər.

3. Rəqəmsal valyuta (CBDC) layihəsinin sürətləndirilməsi vacibdir. Mərkəzi Bankın Rəqəmsal Manat (CBDC) layihəsinin tətbiqi, dövlət ödənişləri və subsidiyaların birbaşa ünvanlı çatdırılmasını təmin edərək şəffaflığı maksimum həddə çatdıra bilər.
4. "Nağdsız cəmiyyət" üçün maarifləndirmənin həyata keçirilməsi məqsədəuyğundur. Rəqəmsal maliyyə savadlılığının artırılması istiqamətində müəyyən tədbir və proqramlar həyata keçirərək insanları maarifləndirməklə "nağdsız dünyaya" keçidi sürətləndirmək olar.

Ədəbiyyat

1. Humphrey, D. B. (2004). The replacement of cash by cards in consumer payments. Journal of Banking & Finance, 28(4), 835-855.
2. Azərbaycan Respublikasının Mərkəzi Bankı. (2023). 2024–2026-cı illər üçün maliyyə sektorunun inkişaf strategiyası. Bakı.
3. Azərbaycan Respublikası. (2023). "Ödəniş sistemləri və ödəniş xidmətləri haqqında" qanun. Bakı.
4. World Bank Group. (2021)**.** Digital economy for Azerbaijan: Innovation and digital transformation. Washington, DC: World Bank Publications.
5. Arner, D. W., Buckley, R. P., & Zetzsche, D. A. (2017). FinTech, RegTech, and the reconceptualization of financial regulation. Northwestern Journal of International Law & Business, 37(3), 371-413.
6. Adrian, T., Mancini-Griffoli, T. (2019). The rise of digital money. FinTech Notes, No.2019/001, 1-20.

GREEN ENERJY

ALISAHIB SOLTANOV
Odlar Yurdu University
Faculty of Economy and Economic Relations Marketing Major\ Russian Department
soltanovlisahib@gmail.com
BAKI, AZƏRBAYCAN

Abstract: Over the past few years, issues of energy security, climate change and sustainable development have been the central priorities of States on a global scale. Reducing carbon emissions and switching to alternative and renewable energy sources have turned into not only an environmental but also an economic and political need. In this context, Azerbaijan is one of the countries chasing an ambitious and consistent policy in the field of "green energy" in the region. Although Azerbaijan's energy strategy has long been based on oil and gas resources, this model has been consistently diversifying in the past. Under the leadership of President Ilham Aliyev, the country still plays a key factor in the field of traditional energy and takes systematic and long-term steps towards renewable energy. This can be clearly seen in the opening ceremony of the 240 MW Khizi-Absheron wind farm on January 8, 2026 at the Gulistan Palace in Baku. "In parallel, the integration of renewable energy sources into the energy system has advanced. One of the main reasons for Azerbaijan's success in the field of "green energy" is a stable and reliable investment environment. "The Azerbaijani state always protects foreign investments, many of our oil contracts have been successfully carry out for many years, and not a single paragraph, not even a single word has been changed and will not be changed in the decisions and contracts" This principle has ensured the attraction of more than $300 billion in foreign investment to the country. The low level of outdoor debt and high foreign exchange reserves further strengthen this reliability. Based on the signed contracts, wind and solar power plants with a capacity of 6 gigawatts will be built by 2030, and 8 gigawatts by 2032. This will significantly increase the share of "green energy" in the energy balance of Azerbaijan.
Keywords: *Green enerjy, enerjy export, Azerbaijan*

Introduction

Over the past few years, the vector of development of Azerbaijan's energy sector has changed to the development of renewable energy sources. So that exploit the rich potential in the country, a modern legislative framework has been formed, fiscal and other preferences for investors have been introduced, and cooperation with leading international companies has been established. The achievements in the field of alternative energy, promising areas of development and the support of international donor structures were discussed at the Green Energy Week of Azerbaijan and Central Asia2025, which is taking place in Baku these days. Azerbaijan is attracting large investments in renewable energy sources such as solar, wind and hydropower, and by 2030 about 40% of the energy produced in the country. The Khizi–Absheron wind power plant is located on the territory of the Absheron and Khizi districts. A total of 37 wind turbines with a capacity of 6.5 MW each have been installed as part of the project. The annual electricity production of the plant is about 1 billion kilowatt-hours. "These indicators lead to a number of significant outcomes: approximately 220 million cubic meters of natural gas are saved annually.; The emission of more than 400,000 tons of carbon dioxide is prevented; the share of “green energy” in the country's energy balance is significantly increased. The project has attracted a total of 340 million US dollars of foreign investment. This highlights that Azerbaijan is a reliable and attractive country for foreign investors in the field of green energy.

RESEARCH:

The Khizi–Absheron project is also a successful one remarkable example of international cooperation. The Khazar lake engaged a special place in Azerbaijan's strategy for the development of "green energy" according to international calculation, the wind potential of the Azerbaijani sector of the Khazar lake is 157 gigawatts. In the coming years, this process will become widespread. Today, Azerbaijan is shaping its position as an exporter not only of oil and gas, but also of the "green energy" of the future. This approach proves this path is not by chanse — it is a well-thought-out, consistent government policy designed for real results. Considering these factors, the Azerbaijani authorities aim to produce 3 GW of wind and 1 GW of solar energy by 2027, 80% of which will be exported, as well as create additional capacities of at least 6 GW of alternative energy. The Azerbaijani authorities are considering a project to create a 1,100 km long underwater cable laid under the Black Sea as the main supply channel for "green" electricity to Europe. "Khazar–Black Sea–Europe Green Energy Corridor" capacity has considering at least 1,000 MW. It is likely an "underwater transmission line" will ensure the supply of Azerbaijani electricity from Georgia to Romania and can be built within three to four years. However, the issue of financing the work has not been fully resolved. The Memorandum of Understanding on the creation of the Black Sea Submarine Cable was signed by President of Azerbaijan Ilham Aliyev and Prime Ministers I. Garibashvili (Georgia), N. Ciuke (Romania) and V. Orban (Hungary) on December 17, 2022 in Bucharest showed us another sample. It is expected that the construction of the cable will take 3-4 years, and opening is planned for 2032. In 2025, the realizability study of the project is in the final stage, and new memorandums of understanding have been signed with Kazakhstan and Uzbekistan to expand the corridor. At the same time, by the end of 2022, the main suppliers to the Republic of Azerbaijan were Russia — $2,734.8 million (18.8%), Turkey — $2,297.4 million (15.8%), China — $2,086.3 million (14.4%), Germany — $663.6 million (4.6%) and Turkmenistan - 509.7 million dollars (3.5%). Today, a global competion for control of infrastructure is unfolding: hundreds of new data centers are being built around the world. OpenAI is building a supercenter in Texas, Meta - in Louisiana. The United States is investing in a data center in the Abu Dhabi desert because of its strategic location at the crossroads of submarine cables connecting Europe, Africa and Asia. Similarly, Azerbaijan is becoming a logical candidate for the factor of a digital connection between East and West. Azerbaijan occupies a highly advantageous location between Europe and Asia, bordering Russia, Iran, Turkey, and the countries of Central Asia. Real and planned digital highways pass through the country, including the Trans-Khazar route under construction, which will connect China with Europe via the Khazar lake. Given this situation global demand for distributed infrastructure, Azerbaijan is able to become not only a transit corridor, but also a hosting platform for data centers that will serve users in the region - from the Middle East to Eastern Europe. Internal digitalization complements this picture by creating a regulatory and technological environment to attract international investment in information and communication technology. Azerbaijan is one of the oldest energy powers in the world, which has been actively diversifying its energy structure in the last decade, focusing on renewable energy sources. By 2030, the share of "green" energy in installed capacity should be at least 30%, to achieve this goal, the

country is perform projects on the use of solar, wind and hydropower of various scales in Gobustan, Khizi, Absheron, Jabrayil, Fuzuli, Zangilan and Kalbajar. The most essential initiative is the creation of "green energy zones" in Karabakh and Eastern Zangezur, where natural conditions - strong winds, high solar radiation and hydro resources - create ideal conditions for the production of clean energy. Key projects include Garadagh (230 MW, in operation), Khizi-Absheron (240 MW, under construction) and Shafag (240 MW, under development). In addition, agreements for 3.5 GW of floating wind power projects were signed at COP29 in 2024. In 2024, Azerbaijan became the host of the largest climate event, COP29, the Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change. This event demonstrated to the international community the country's active involvement in the fight to the climate crisis and its commitment to developing sustainable energy practices. Even before COP29, Azerbaijan committed to reducing greenhouse gas emissions 35% by 2030 and 40% by 2050 compared to 1990 levels. The country also continues to attract international investments for the realization of "green" projects, which confirms its commitment to the global agenda of sustainable development and the fight to the climate change. Azerbaijan is actively developing initiatives in the field of sustainable energy and continues to provide resposible infrastructure projects aimed at exporting clean energy. These efforts significantly strengthen the country's international place and supports future development for its economic growth in the post-carbon era.

THE MAİN 5 ASPECTS FOR GREEN ENERJY

1. *GEOSTRATEGİC*- is an absolute competitive advantage. Azerbaijan is geographically located at the intersection of three macro markets: Europe, Asia and the Middle East. This allows it to form a stable digital connectivity, develop transit potential and serve the needs of the nearest regions with minimal delays and high throughput.

2. *GREEN ENERJY* - the key to technological integration. Using renewable energy sources to power data centers is no longer just an option, but a necessary condition for meeting the ESG agenda. Azerbaijan is able to immediately offer renewable energy, land resources, and logistical proximity to markets, which makes it particularly attractive to hyperscale operators.

3. *INSTITUTIONAL STABILITY AND LEGAL INFRASTRUCTURE* – a big evaluation criterion. Technological capital enters a place where there are clear rules of the game, protection of contracts, and predictability of normative decisions. Azerbaijan demonstrates the stability of its institutions, which makes it possible to speak about a reliable platform for digital and energy investments.

4. *COP29 OPPORTUNITY FOR DIPLOMATIC AND MARKET RELATIONS* - holding the largest climate conference of the year in Baku is not only a victory, but also an opportunity to transform the country into a model platform for climate leadership. This creates grounds for climate capital, strong partnerships, and entering global markets for green solutions.

5. *ENERJY EXPORTS TO EUROPE* - step towards a new geo-economy. Azerbaijan is showing that it can export not only hydrocarbons, but also sustainable electricity. The EU energy corridor project across the Black Sea is a strategic bet on the role of a provider of "clean" energy

Azerbaijan's key asset is political stability and strategic transformation. Starting in 2025, more than 70 academic AI programs will be offered at universities across the country. Azerbaijan's energy potential plays major factor here, building solar and wind power plants and we have started design work on an energy cable under the Black Sea that will connect the country directly with the EU. Azerbaijan has already signed an agreement with Kazakhstan and Uzbekistan on the formation of a "Green Energy Corridor" to Europe. This means that Azerbaijan is becoming part of the energy and digital architecture of Europe of the future. Cooperation with the UA Saudi Arabia-ACWA Power, Turkey, China, South Korea and the European Union opens up access to capital, technologies and the best practices of the world. Azerbaijan's institutions in the field of energy and digitalization. Hosting COP29 highlights international recognition of our country in the right development

Conclusion

So, the prospects for the development of the alternative energy market in Azerbaijan potentially reveal opportunities for many companies with relevant competencies to provide various projects in the field of wind energy, solar generation, hydropower and other areas of "green" energy. The large-scale technological changed caused by the development of artificial intelligence has unlocked not only new horizons for humanity, but also new challenges. The world is facing a shortage of computing power, data, energy, and

talent.Azerbaijan today has everything it needs to not only join this global transformation, but also play a crusial role in it. The geographical location, the growing capacities of green energy, a stable political environment, active digitalization, climate diplomacy and actions of the leadership - all this adds up to national resource.Azerbaijan is not just discussing strategies in this direction, but is building data centers, exporting green energy, and training a new generation of technology leaders. Azerbaijan has been able to combine its resources, intelligence and political will into a single ecosystem. Azerbaijan will become not only a bridge between East and West, but also a view of a new technological civilization.Today, Azerbaijan has a chance not just to enter the future, but to build it here - in Baku, Shusha, Zangilan, Lachyn and other cities of the country. In every corner, where digital solutions will transform the economy, education, healthcare in life. In every technopark, in every data center, in every laboratory.

REFERENCES

1. https://caliber.az/post/green-energy-week-2025-baku-stavit-na-zelenuyu-energetiku
2. https://br.az/economy/70297/realistichnye-prognozy/
3. https://e-cis.info/news/566/109175/
4. https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-alternativnoy-i-vozobnovlyaemoy-energetiki-v-azerbaydzhane
5. https://www.aa.com.tr/ru/

AZƏRBAYCANDA RƏQƏMSAL İQTISADIYYATIN İNKIŞAFINDA DOMAR-HARROD MODELI

Səbinə Əhmədova
Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti,magistrant
sabina.ahmadova305@gmail.com
ORCID:0009-0008-2589-9717

Xülasə: 2000-ci illərdən etibarən texnoloji tərəqqi iqtisadi inkişafın əsas hərəkətverici qüvvəsinə çevrilmiş, nəticədə rəqəmsallaşma iqtisadi artımın struktur amili kimi formalaşmışdır. Bu transformasiya yalnız yeni iş yerlərinin yaranmasına deyil, həm də iqtisadiyyatın ümumi həcminin genişlənməsinə səbəb olmuşdur. Rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı istehsal və xidmət sektorlarında məhsuldarlığın artmasını stimullaşdırmaqla yanaşı, əmək bazarının strukturunda da keyfiyyət dəyişiklikləri yaratmışdır. Elektron ticarət və rəqəmsal xidmətlərin genişlənməsi bəzi ənənəvi fəaliyyət sahələrində məşğulluğun azalmasına gətirib çıxarsa da, eyni zamanda yeni texnoloji yönümlü məşğulluq imkanlarının formalaşmasına şərait yaratmışdır.

Bu prosesləri makroiqtisadi artım baxımından izah etmək üçün Domar-Harrod modeli mühüm nəzəri çərçivə təqdim edir. Sözügedən model iqtisadi artımın investisiya səviyyəsi və kapitalın məhsuldarlığı ilə birbaşa bağlı olduğunu əsaslandırır. Rəqəmsal iqtisadiyyat kontekstində investisiyalar artıq fiziki kapitaldan daha çox insan kapitalına, innovasiyalara və rəqəmsal infrastruktura yönəlir. Bu isə iqtisadi artımın dayanıqlılığını təmin edən yeni inkişaf trayektoriyası formalaşdırır. Məqalədə Azərbaycanda rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı Domar-Harrod modelinin əsas prinsipləri əsasında təhlil edilir. Xüsusilə rəqəmsal investisiyaların iqtisadi artım tempinə təsiri, texnoloji kapitalın yığım səviyyəsi, həmçinin struktur transformasiyanın məşğulluğa təsiri araşdırılır. Bununla yanaşı, yerli və beynəlxalq təcrübənin müqayisəli təhlili əsasında Azərbaycanın rəqəmsal iqtisadi inkişaf strategiyasında prioritet hesab edilə biləcək istiqamətlər müəyyən edilir.

Açar sözlər: Rəqəmsal iqtisadiyyat,Domar-Harrod, elektron ticarət, elektron kommersiya, ölkə iqtisadiyyatı, elektron hökumət.

JEL KOD: O41, O33, O11

Abstract: Since the 2000s, technological progress has become the main driving force of economic development, as a result of which digitalization has formed as a structural factor of economic growth. This transformation has led not only to the creation of new jobs, but also to the expansion of the total volume of the economy. The development of the digital economy has stimulated productivity growth in the manufacturing and service sectors, as well as created qualitative changes in the structure of the labor market. Although the expansion of e-commerce and digital services has led to a decrease in employment in some traditional areas of activity, it has also created conditions for the formation of new technology-oriented employment opportunities.

The Domar-Harrod model provides an important theoretical framework to explain these processes in terms of macroeconomic growth. The model argues that economic growth is directly related to the level of investment and the productivity of capital. In the context of the digital economy, investments are now directed more towards human capital, innovations and digital infrastructure than towards physical capital. This forms a new development trajectory that ensures the sustainability of economic growth. The article analyzes the development of the digital economy in Azerbaijan based on the basic principles of the Domar-Harrod model. In particular, the impact of digital investments on the rate of economic growth, the level of technological capital accumulation, as well as the impact of structural transformation on employment are examined. In addition, based on a comparative analysis of local and international experience, priority areas are identified in the digital economic development strategy of Azerbaijan.

Keywords: Digital economy, Domar-Harrod, electronic trade, electronic commerce, national economy, electronic government.

Giriş

Müasir dövrdə rəqəmsallaşma dinamik sürətlə inkişaf edərək milli iqtisadiyyatların strukturunu dəyişdirən əsas amillərdən birinə çevrilmişdir. İnformasiya-kommunikasiya texnologiyalarının (İKT) yeni inkişaf mərhələsinə daxil olması istehsal, xidmət, idarəetmə və sosial münasibətlər sisteminə kompleks təsir göstərir. Qabaqcıl ölkələrin təcrübəsi göstərir ki, rəqəmsallaşma yeni iş yerlərinin yaranmasına, məhsuldarlığın yüksəlməsinə, şəffaflığın təmin edilməsinə, habelə kiçik və orta sahibkarlığın inkişafına mühüm töhfə verir. Bu dəyişikliklər iqtisadi artımın mənbələrinin transformasiyasını şərtləndirir. Domar-Harrod artım modelinə əsasən iqtisadi inkişafın əsas şərti investisiya səviyyəsi ilə kapitalın məhsuldarlığı arasındakı tarazlıqdır. Rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində kapital anlayışı yalnız fiziki aktivlərlə məhdudlaşmır; burada rəqəmsal infrastruktur, məlumat resursları, innovativ texnologiyalar, həmçinin insan kapitalı mühüm rol oynayır. İnsanlar, müəssisələr, cihazlar və proseslər arasında formalaşan rəqəmsal əlaqələr iqtisadi fəaliyyətin yeni şəbəkə modelini yaradır. Süni intellekt, əşyaların interneti, böyük verilənlər, artırılmış və virtual reallıq kimi texnologiyalar bu yeni kapital formalarının məhsuldarlığını artırır. Bu isə Domar-Harrod modelində ifadə olunan iqtisadi artım tempinin yüksəlməsinə səbəb olur.

Qlobal səviyyədə rəqəmsal ticarətin həcminin sürətlə artması da investisiya yönümlü inkişafın nəticəsi kimi qiymətləndirilə bilər. Rəqəmsal iqtisadiyyatın əhatə dairəsinin genişlənməsi iqtisadi fəaliyyətin demək olar ki, bütün sahələrinə nüfuz edir. Bu şəraitdə rəqəmsal texnologiyalara yönəlmiş investisiyalar iqtisadi artımın davamlılığını təmin edən əsas amillərdən birinə çevrilir.

Azərbaycanda rəqəmsal iqtisadiyyatın institusional əsaslarının formalaşdırılması bu kontekstdə xüsusi əhəmiyyət daşıyır. 2005-ci ildə qəbul edilmiş "Elektron ticarət haqqında" qanun rəqəmsal iqtisadi münasibətlərin hüquqi çərçivəsinin yaradılması istiqamətində ilk mühüm addım olmuşdur. Bununla yanaşı, elektron mühitdə təhlükəsizlik, əqli mülkiyyət hüquqları, şəxsi məlumatların qorunması kimi məsələlər rəqəmsal kapitalın səmərəli istifadəsinə təsir edən mühüm amillərdir. Daha sonra Prezident İlham Əliyevin 27 aprel 2021-ci il tarixli "Rəqəmsal transformasiya sahəsində idarəetmənin təkmilləşdirilməsi haqqında" fərmanı ölkədə rəqəmsal inkişafın institusional əsaslarını gücləndirmişdir. Bu sənəd idarəetmə mexanizmlərinin modernləşdirilməsini nəzərdə tutur və rəqəmsal texnologiyalar vasitəsilə iqtisadi proseslərin səmərəliliyinin artırılmasına xidmət edir. Domar-Harrod yanaşması baxımından bu addım rəqəmsal investisiyaların sistemli şəkildə yönəldilməsinə şərait yaratmaqla iqtisadi artımın tələb olunan tempinin təmin edilməsinə imkan verir. Azərbaycanda rəqəmsallaşma nəticəsində startap ekosistemi genişlənmiş, distant təhsil imkanları artmış, özəl sektorun texnoloji inteqrasiyası sürətlənmiş, regional əməkdaşlıq güclənmişdir. Dövlət və özəl sektor arasında rəqəmsal əsaslı əməkdaşlıq modellərinin formalaşması resursların daha səmərəli istifadəsinə imkan yaradır. Bu proses yeni iqtisadi sahələrin meydana çıxmasına səbəb olmuşdur. Süni intellekt, data analitika, kibertəhlükəsizlik, elektron ticarət,

blokçeyn, robototexnika və avtomatlaşdırma kimi istiqamətlər rəqəmsal kapitalın artım tempinə təsir edən əsas sahələr kimi çıxış edir.

Beləliklə, Azərbaycanda rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı Domar-Harrod modelinin məntiqinə uyğun olaraq investisiya yönümlü struktur transformasiya vasitəsilə baş verir. Rəqəmsal texnologiyalara yönəlmiş kapital qoyuluşları iqtisadi artımın dayanıqlığını təmin edən əsas mexanizm kimi çıxış edir.

Ədəbiyyat icmalı

Azərbaycanda rəqəmsal iqtisadiyyatın mövcud vəziyyəti

Azərbaycanda rəqəmsal iqtisadiyyat son illərdə dövlət təşəbbüsləri, özəl sektor investisiyaları, həmçinin innovasiya yönümlü inkişaf strategiyası nəticəsində mühüm irəliləyiş mərhələsinə daxil olmuşdur. Ölkədə ticarət, maliyyə texnologiyaları (FinTech), ağıllı şəhər sistemləri və elektron hökumət xidmətləri kimi sahələrdə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi genişlənməkdədir. Bu proses iqtisadi artımın yeni struktur əsaslarını formalaşdırır. Makroiqtisadi baxımdan bu transformasiya Domar–Harrod artım modelinin prinsipləri ilə izah edilə bilər. Sözügedən modelə görə iqtisadi artımın davamlılığı investisiya səviyyəsi və kapitalın məhsuldarlığı ilə müəyyən olunur. Müasir mərhələdə Azərbaycanda investisiyaların mühüm hissəsi artıq ənənəvi fiziki kapitaldan rəqəmsal infrastruktura, innovativ texnologiyalara, həmçinin insan kapitalına yönəlir. Bu isə iqtisadi artımın keyfiyyətini yüksəldən yeni inkişaf mexanizmi formalaşdırır.

FinTech inkişafı

Azərbaycanın maliyyə sektoru rəqəmsal transformasiya mərhələsindədir. Mobil bankçılıq, rəqəmsal pul kisələri, təmassız ödəniş sistemləri geniş yayılmaqdadır. Azərbaycan Respublikasının Mərkəzi Bankı tərəfindən blokçeyn texnologiyaları və açıq bankçılıq mexanizmlərinin təşviqi FinTech sektorunda kapitalın səmərəliliyini artırır. Domar–Harrod modelinə uyğun olaraq bu tip texnoloji investisiyalar kapitalın məhsuldarlığını yüksəldərək iqtisadi artım tempini sürətləndirir. Lakin maliyyə inklüzivliyinin məhdudluğu, habelə kibertəhlükəsizlik riskləri inkişafın sabitliyinə təsir göstərən amillər kimi qalır.

Ağıllı şəhərlər

Azərbaycanda, xüsusilə Bakı şəhərində, həmçinin işğaldan azad edilmiş ərazilərdə ağıllı şəhər layihələri həyata keçirilir. 5G texnologiyası, IoT əsaslı idarəetmə sistemləri, süni intellektə əsaslanan şəhər planlaşdırılması sahələrinə investisiyalar artır. Zəngilanda həyata keçirilən "Ağıllı kənd" layihəsi rəqəmsal kapitalın regional inkişafda rolunun nümunəsi kimi çıxış edir. Domar–Harrod yanaşmasına görə bu tip investisiyalar uzunmüddətli iqtisadi artım üçün zəruri olan kapital yığımını təmin edir. Bununla belə, yüksək maliyyə xərcləri, texniki bilik çatışmazlığı müəyyən məhdudiyyətlər yaradır.

Elektron hökumət və rəqəmsal xidmətlər

Azərbaycanda dövlət xidmətlərinin rəqəmsallaşdırılması istiqamətində mühüm nailiyyətlər əldə olunmuşdur (https://e-qanun.az/framework/10406). ASAN Xidmət platforması vasitəsilə inzibati xidmətlərin onlayn təqdim edilməsi təmin edilir. MyGov portalı isə dövlət idarəçiliyində şəffaflığı və operativliyi artırır (Qasımli, V., və b.,2023). Bu sistemlər rəqəmsal kapitalın idarəetmə səmərəliliyinə təsirini gücləndirir ki, bu da Domar–Harrod modelində qeyd edilən kapitalın məhsuldarlığının yüksəlməsi ilə uyğunluq təşkil edir. Azərbaycanın rəqəmsal iqtisadiyyatında əsas maneələri kimi aşağıdakıları göstərə bilərik:

- Bəzi regionlarda rəqəmsal infrastrukturun zəif inkişafı;
- Tənzimləyici və hüquqi mexanizmlərin adaptasiya ehtiyacı;
- Müasir texnologiyaların mənimsənilməsində institusional çətinliklər.

Domar–Harrod modelinə görə bu problemlər investisiya effektivliyini azalda bilər, nəticədə iqtisadi artımın dayanıqlılığı zəifləyə bilər.

Rəqəmsal iqtisadiyyatın günümüzdə rolu

Rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı texnologiyanın inkişafı ilə meydana gəldi, iqtisadiyyat sahəsində inqilab etdi artıq məsafə anlayışı olmadan ticari əlaqələrin qurulması asanlaşdı. Rəqabətqabiliyyətliliyi artıran bu iqtisadi transformasiya texnologiyanın populyarlaşması ilə iqtisadi çərçivədə payının artması ilə nəticələndi. Bu istiqamətdə rəqəmsal iqtisadiyyat və yaşıl iqtisadiyyat məqsədlərinin eyniliyi baxımından bir xətt üzərində inkişaf etməyə başladı. Belə ki, bu iqtisadi formalar həm təbiət üçün zərərsiz və yaxud az zərərli (yəni sənayedə müasir texnologiyaların istifadəsi ilə karbon emisiyasının faizin azalmasına təsir göstərməsi aşkarlandı) olması sahibkarlar tərəfindən uyğun qarşılandı. Nəticə olaraq, rəqəmsal iqtisadiyyat və yaşıl iqtisadiyyatın məqsədlərinin birləşməsi ilə yeni forma "transformativ iqtisadiyyat" anlayışı meydana gəldi (Əsgərov V.Y., 2024).

Rəqəmsal iqtisadiyyatın yaranması fərdlər, müəssisələr və cəmiyyət arasında ənənəvi qarşılıqlı əlaqə, həmçinin münasibətlərdə əhəmiyyətli transformasiyaya səbəb oldu. İnformasiya texnologiyalarının artan rolu təşkilati və milli maneələrin əhəmiyyətini effektiv şəkildə azaldıb, beləliklə, müəssisələr və qurumlar arasında rəqabəti gücləndirir. Rəqəmsal iqtisadiyyat təşkilatların, sənayelərin, bazarların, ticarətin, paylama metodlarının, pul sistemlərinin, maliyyə təcrübələrinin və innovasiya proseslərinin müxtəlif aspektlərində əhəmiyyətli dəyişikliklərə səbəb olur (Əliyev, İ., 2021). Rəqəmsal iqtisadiyyatın ortaya çıxması rəqəmsal platformaların iqtisadiyyatı, şəbəkə effektləri, qiymət strategiyası, əqli mülkiyyət və antiinhisar tənzimlənməsi də daxil olmaqla bir sıra yeni məsələlər və perspektivlərin yaranmasına səbəb olub. Fərdlərin innovasiyaları artırmaq, həmçinin innovasiyanın nəticələri ilə qlobal ekoloji problemlərin və ictimai maneələrin həlli arasında effektiv əlaqə yaratmaq üçün informasiya texnologiyalarından fəal şəkildə istifadə etməsi vacib hala çevrilmişdir.

Müasir dövrdə rəqəmsal iqtisadiyyatın maliyyə, kənd təsərrüfatı, biznes və ticarət sahələrinə inteqrasiyası iqtisadi artımın yeni struktur əsaslarını formalaşdırır. Domar–Harrod modelinə əsasən iqtisadi inkişafın davamlılığı investisiyaların həcmi ilə kapitalın məhsuldarlığı arasındakı qarşılıqlı əlaqədən asılıdır. Rəqəmsallaşma şəraitində isə kapital anlayışı yalnız maddi aktivlərlə məhdudlaşmır; rəqəmsal infrastruktur, texnoloji platformalar, məlumat bazaları və insan kapitalı iqtisadi artımın əsas determinantlarına çevrilir. Maliyyə sektorunda rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi investisiya effektivliyini artıran əsas amillərdən biri kimi çıxış edir. Qlobal miqyasda mobil və internet istifadəçilərinin sayının sürətlə artması maliyyə xidmətlərinin rəqəmsallaşdırılmasını stimullaşdırır (Azərbaycan Respublikasının Mərkəzi Bankı. 2018). Bu isə kapitalın dövriyyə sürətini yüksəldərək Domar–Harrod modelində nəzərdə tutulan artım tempinə müsbət təsir göstərir. Rəqəmsal maliyyə alətləri resursların daha optimal bölgüsünə imkan yaradır, investisiya axınlarını genişləndirir və iqtisadi sistemin sabitliyini gücləndirir.

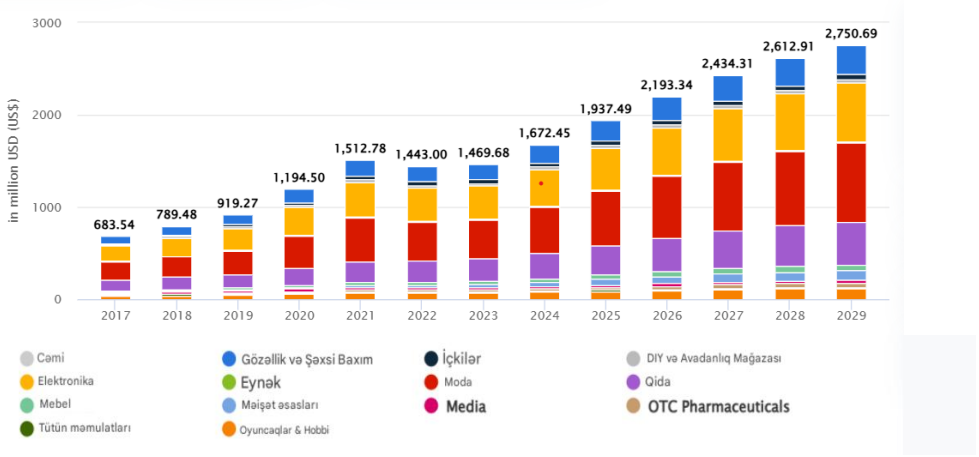
Kənd təsərrüfatı sektorunda rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi də iqtisadi artımın struktur komponenti kimi çıxış edir. "Ağıllı təsərrüfatlar", aqrobotlar, dəqiq əkin texnologiyaları, dron monitorinqi və ağıllı suvarma sistemləri istehsalın məhsuldarlığını artırır. Domar–Harrod yanaşması baxımından bu texnologiyalar kapitalın məhsuldarlığını yüksəldərək investisiyaların iqtisadi artıma təsir gücünü artırır. Bununla yanaşı, kənd təsərrüfatında innovasiyaların tətbiqində savadlılıq səviyyəsi, gəlir fərqləri və infrastruktur məhdudiyyətləri kimi amillər artım tempinə təsir edən struktur məhdudiyyətlər kimi qiymətləndirilə bilər. Rəqəmsal iqtisadiyyat biznes subyektlərinin inkişafına da mühüm təsir göstərir. Dördüncü Sənaye İnqilabının təsiri altında rəqəmsal texnologiyalar ÜDM, investisiya, məşğulluq və ticarət kimi makroiqtisadi göstəricilərin formalaşmasında yeni mexanizmlər yaradır (Dünya İqtisadi Forumu 2024). Rəqəmsal platformalar vasitəsilə müəssisələrin bazarlara çıxışı asanlaşır, müştəri bazası genişlənir və xidmət keyfiyyəti artır (Mansoor, R. R., 2024). Bu proses investisiyaların səmərəliliyini yüksəldərək iqtisadi artımın sabitliyinə töhfə verir ki, bu da Domar–Harrod modelində nəzərdə tutulan tarazlı artım şərtləri ilə uyğunluq təşkil edir.

Elektron ticarət sahəsi rəqəmsal iqtisadiyyatın ən dinamik inkişaf edən istiqamətlərindən biridir. İnternet əsaslı kommersiya sistemləri bazar sərhədlərini genişləndirərək istehsalçılar və istehlakçılar arasında birbaşa əlaqələrin formalaşmasına şərait yaradır. Elektron ticarət biznes proseslərinin transformasiyasını sürətləndirir və iqtisadi münasibətlərin strukturunu dəyişir. Bu sahəyə yönəlmiş investisiyalar kapitalın dövriyyəsini sürətləndirir və məhsuldarlığın artımını təmin edir. Azərbaycanda rəqəmsal ticarətin inkişafı qeyri-neft sektorunun şaxələndirilməsi strategiyasının mühüm komponentidir. "Azərbaycan 2020: gələcəyə baxış" inkişaf konsepsiyası informasiya cəmiyyətinin formalaşdırılması, elektron xidmətlərin genişləndirilməsi və rəqabət qabiliyyətli İKT sektorunun inkişafını prioritet istiqamətlər kimi müəyyən etmişdir. Ölkədə yaradılmış "Rəqəmsal Ticarət Qovşağı" transsərhəd elektron xidmətlərin həyata keçirilməsinə imkan yaradır və rəqəmsal iqtisadi münasibətlərin institusional əsaslarını gücləndirir. 2005-ci ildə qəbul edilmiş "Elektron ticarət haqqında" qanun elektron kommersiyanın hüquqi tənzimlənməsini təmin etmişdir. Bununla yanaşı, "GoldenPay" kimi ilk onlayn ödəniş sistemlərinin tətbiqi rəqəmsal maliyyə infrastruktunun formalaşmasına şərait yaratmışdır.

Domar–Harrod modeli baxımından qeyd olunan bütün bu istiqamətlər rəqəmsal kapitala yönəlmiş investisiyaların iqtisadi artım tempinə birbaşa təsir etdiyini göstərir. Maliyyə, kənd təsərrüfatı, biznes və ticarət sahələrində rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi kapitalın məhsuldarlığını artıraraq iqtisadi inkişafın dayanıqlığını təmin edir. Beləliklə, Azərbaycanda rəqəmsal iqtisadiyyatın sektorlararası inkişafı investisiya yönümlü struktur transformasiya vasitəsilə həyata keçirilir və bu proses Domar–Harrod modelinin nəzəri müddəaları ilə uyğunluq təşkil edir.

Göstərilən qrafikdə 2017-2024 cü illər ərzində Azərbaycanda Elektron ticarətin satış ardıcıllığı artımı tam əks olunub. 2017 ci ildə 683.53 milyon olan e-ticarət gəliri, 2029 cü ildə 2,750.69 milyona çatır bu da artım tempinin yüksək olduğunu göstərir.

Şəkil 1. Azərbaycanda elektron ticarətdən əldə edilən gəlir (USD milyon dollarla)



Mənbə: https://www.statista.com/outlook/emo/ecommerce/azerbaijan#revenue

Rəqəmsal ödənişlər

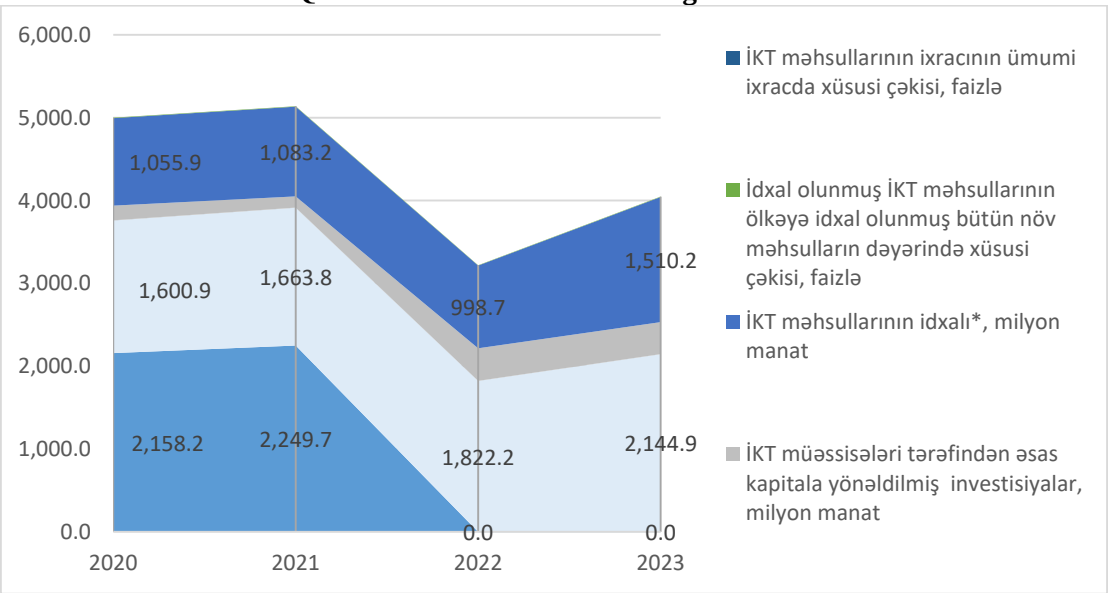
"Azərbaycan Respublikasında rəqəmsal ödənişlərin genişləndirilməsinə dair 2018–2020-ci illər üçün Dövlət Proqramı" nın (bundan sonra Dövlət Proqramı) əsas məqsədi fiziki şəxslər, kommersiya qurumları və dövlət qurumları arasında nağdsız ödəniş sistemini əsaslı şəkildə gücləndirməkdən ibarətdir. Əsas strateji hədəflərə rəqəmsal ödəniş xidmətləri üçün institusional və hüquqi mühitin təkmilləşdirilməsi, təkmilləşdirilmiş infrastruktur imkanları vasitəsilə bu xidmətlərin əhatə dairəsinin, keyfiyyətinin, tətbiqi imkanlarının genişləndirilməsi və geniş tətbiqin təşviq edilməsi daxildir (Əliyev, T. N. O., 2021).

Rəqəmsal ödənişlərin yayılması iqtisadi əməliyyatların şəffaflığını artıracaq, nağd pulla bağlı xərcləri azaldacaq və banklar və biznes üçün əməliyyat xərclərini azaldacaqdır. Həmçinin bu, sonradan vergi bazasını genişləndirəcək, fiziki şəxslərin, müəssisələrin maliyyə xidmətlərinə çıxışını yaxşılaşdıracaq, bank sektorunun kreditləşdirmə, investisiya imkanlarını artıracaq və nəticədə iqtisadi artımı stimullaşdıracaq (Azərbaycan Respublikasının Mərkəzi Bankı. 2018)

Blokçeyn texnologiyası

Blokçeyn bir anlayış kimi 30 il öncə yaransa da, müasir texnologiyanın tarixi 2008-ci ildə ilk kriptovalyuta olan bitkoinin yaranması ilə başlayır. Bitkoinlə həyata keçirilən tranzaksiyalar kriptoqraik şifrə formasında göndərilir. Sistem istifadəçiləri tərəindən bu şifrələr pul olaraq dəyərləndirilir və qəbul edilir. Əməliyyatların aparıldığı sistem isə blokçeynadlandırılır.

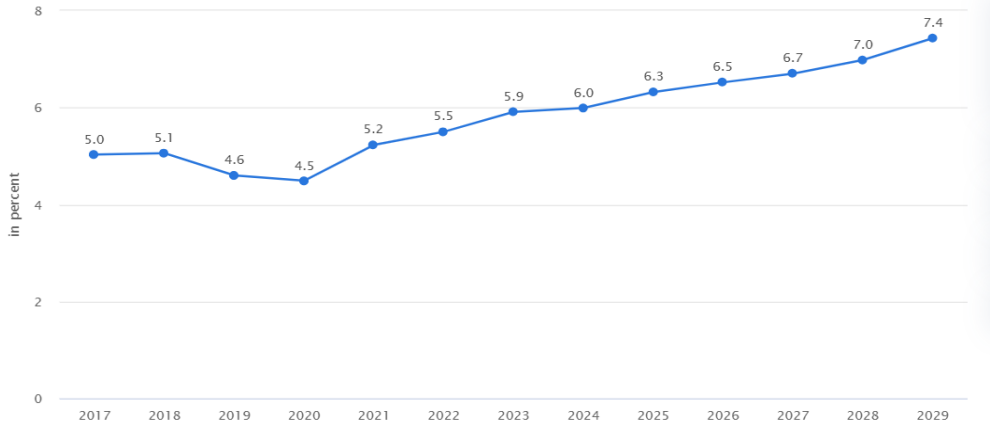
Qrafik 1. İKT sektoru üzrə əsas göstəricilər



Mənbə: https://www.stat.gov.az/source/digital_development/

Təqdim olunan məlumatlar Azərbaycanın İKT sektorunda 2020-ci ildən 2023-cü ilə qədər olan əsas tendensiyaları göstərir. İKT sektorunda istehsal sahəsinin artımı 2020-ci ildəki 2 158,2 milyon manatdan 2023-cü ildə 2 988,8 milyon manatadək davamlı olaraq artmışdır. Eynilə, sektorda yaradılmış əlavə dəyər 1600,9 milyon manatdan 2144,9 milyon manata yüksəldi, baxmayaraq ki, İKT sektorunun ÜDM-dəki payı 2020-ci ildə 2,2%-ə çatmış 2022-ci ildə 1,4% azalmış 2023-cü ildə yenidən artım qeydə alınaraq 1,7%-ə çatmışdır.

Şəkil 1. Elektron kommersiyanın inkişaf tendensiyası Azərbaycan, faiz dərəcəsi



Mənbə: Statista (2024) https://www.statista.com

Şəkil 1-də göstərilən qrafik 2017-2024 cü illər ərzində Azərbaycanda elektron ticarətin qaytarılma dərəcəsidir. Qrafikdə 2017-2020 ci illər arasında dəyişkən gəlir dərəcəsi nəzərə çarpılır, 2021 ci ildən sonra isə sabit şəkildə artım müşahidə olunur. Gəlir dərəcəsi 2020 ci ildə ən aşağı 4.5 % hazırki dövrdə isə ən pik olaraq 6% qeyd olunmuşdur. 2020 ci ildə aşağı olmasının səbəbi COVID 19 pandemiya dövrü ilə əlaqəli ola bilər. Proqnoz nəticəsində növbəti 5 ildə e-ticarətin ən zirvə nöqtəsinə çatacağı 7.4% və hazırki dövrdən 1.4% çox olacağı gözlənilir.

Müasir qloballaşma şəraitində informasiya cəmiyyətinə keçid dövlət idarəçiliyinin də transformasiyasını zəruri etmişdir. Bu transformasiya elektron hökumət sistemlərinin yaradılması və inkişafı ilə müşayiət olunur. Azərbaycanda elektron hökumət konsepsiyası dövlət və vətəndaş münasibətlərinin rəqəmsal platformalar vasitəsilə sadələşdirilməsini və idarəetmənin səmərəliliyinin artırılmasını hədəfləyir. Elektron xidmətlərin genişləndirilməsi və dövlət qurumlarının rəqəmsal inteqrasiyası idarəetmənin şəffaflığını yüksəldir, xidmətlərin əlçatanlığını artırır və vətəndaşların idarəetmə proseslərində iştirakını gücləndirir.

Domar–Harrod artım modelinə əsasən iqtisadi inkişafın davamlılığı investisiyaların həcmi və kapitalın məhsuldarlığı ilə müəyyən olunur. Müasir mərhələdə isə kapital anlayışı yalnız fiziki aktivlərlə məhdudlaşmır; rəqəmsal infrastruktur, institusional sistemlər və insan kapitalı iqtisadi artımın əsas determinantlarına çevrilir (Vandenberg, H., Rosete, A. R., 2018). Bu baxımdan Azərbaycanda 2013-cü ildən fəaliyyət göstərən Elektron Hökumət İnformasiya Sistemi dövlət xidmətlərinin vahid platforma üzərindən təqdim olunmasını təmin etməklə rəqəmsal kapitalın formalaşmasına töhfə verir. Bu sistem idarəetmədə səmərəliliyi artıraraq iqtisadi resursların daha optimal istifadəsinə şərait yaradır.

Azərbaycanda rəqəmsal potensialın reallaşdırılması üçün mövcud olan texnoloji və təşkilati imkanlar iqtisadiyyatın rəqəmsallaşdırılmasının sürətləndirilməsinə şərait yaradır. İnkişaf edən texnologiyalar dövlət idarəçiliyinin və biznes mühitinin strukturunu dəyişdirir, sosial və iqtisadi münasibətlərin yeni formalarını yaradır. Bu proses Domar–Harrod modelində nəzərdə tutulan investisiya yönümlü artım mexanizminə uyğun olaraq iqtisadi sistemin keyfiyyət transformasiyasına gətirib çıxarır (Vandenberg, H., Rosete, A. R., 2018). Rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafında insan kapitalı xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Təhsil sahəsində müasir texnologiyaların tətbiqi distant təhsil imkanlarını genişləndirir və biliklərin yeni formalarda mənimsənilməsinə şərait yaradır. Yüksək ixtisaslı insan resurslarının formalaşdırılması müasir dövrdə iqtisadi artımın əsas strateji şərtlərindən biridir. Domar–Harrod modelinin genişləndirilmiş interpretasiyasında insan kapitalına yönəlmiş investisiyalar kapitalın məhsuldarlığını artıraraq iqtisadi artım tempinə müsbət təsir göstərir.

Rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı əmək bazarında da struktur dəyişikliklər yaradır. Ənənəvi peşələrin transformasiyası ilə yanaşı, yeni texnoloji sahələr üzrə ixtisaslaşmış kadrların formalaşması zəruri olur. Proqram təminatı yaradıcıları, sistem administratorları, məlumat analitikləri və digər İT mütəxəssislərinə olan tələbatın artması intellektual kapitalın iqtisadi inkişafda aparıcı rolunu göstərir (Ələkbərov, 2023).

Nəticə

Rəqəmsal iqtisadiyyatın müasir inkişaf tendensiyaları iqtisadi artımın struktur mexanizmlərinin yenidən formalaşmasına səbəb olmuşdur. Azərbaycanda da rəqəmsallaşma prosesləri iqtisadi transformasiyanın mühüm istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir. Lakin ölkədə rəqəmsal iqtisadiyyat hələ inkişaf mərhələsindədir və ümumi iqtisadi strukturda onun payı nisbətən məhduddur. Buna baxmayaraq, son illərdə bu sahənin genişləndirilməsi istiqamətində həyata keçirilən institusional və texnoloji təşəbbüslər iqtisadi artımın yeni əsaslarını formalaşdırır. Domar–Harrod artım modelinə əsasən iqtisadi inkişafın dayanıqlılığı investisiya səviyyəsi ilə kapitalın məhsuldarlığı arasındakı qarşılıqlı əlaqədən asılıdır. Müasir mərhələdə rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı məhz bu modelin məntiqinə uyğun olaraq yeni kapital formalarının – rəqəmsal infrastrukturların, innovativ texnologiyaların və insan kapitalının – formalaşdırılması ilə müşayiət olunur. Azərbaycanda dövlət tərəfindən həyata keçirilən rəqəmsallaşma təşəbbüsləri bu istiqamətdə kapital yığımının strukturunu dəyişdirir.

Bu baxımdan ASAN Xidmət modeli, elektron hökumət platformaları və myGov kimi rəqəmsal idarəetmə sistemləri iqtisadi proseslərin səmərəliliyini artırmaqla yanaşı, kapitalın məhsuldarlığını yüksəldən mühüm mexanizmlər kimi çıxış edir. Texnoparkların yaradılması, rəqəmsal savadlılığın artırılması və texnologiyaların ənənəvi sahələrə inteqrasiyası investisiya yönümlü inkişafın əsas komponentlərini təşkil edir. Bu proses Domar–Harrod modelində nəzərdə tutulan iqtisadi artım tempinin təmin edilməsinə şərait yaradır. Azərbaycanın rəqəmsal iqtisadiyyatının inkişafı üçün hazırlanmış strateji yol xəritələri də bu yanaşma ilə uzlaşır. Texnoloji innovasiyaların geniş tətbiqi, beynəlxalq ticarətdə rəqəmsal həllərin artırılması və elektron kommersiyanın inkişafı kapitalın daha məhsuldar sahələrə yönəldilməsinə imkan verir. Müasir texnologiyalar kommersiya əməliyyatlarının elektron müstəvidə həyata keçirilməsini təmin etməklə iqtisadi münasibətlərin çevikliyini artırır və informasiya mübadiləsini beynəlxalq ticarətin əsas komponentlərindən birinə çevirir.

Gələcək inkişaf imkanları kimi aşağıdakıları qeyd edə bilərik:

- Elektron ticarət və rəqəmsal ödənişlərin genişləndirilməsi;
- FinTech innovasiyalarının stimullaşdırılması;
- Azad edilmiş ərazilərdə ağıllı şəhər modellərinin tətbiqi;
- İT sektoruna xarici investisiyaların cəlb edilməsi;
- Dövlət və özəl sektorda rəqəmsal texnologiyaların inteqrasiyası;
- Elektron ticarətin həcminin artırılması.

Bu istiqamətlər üzrə investisiyaların artırılması Domar–Harrod modelinə uyğun olaraq iqtisadi artımın tələb olunan tempini təmin edə bilər. Beləliklə, rəqəmsal iqtisadiyyata yönəlmiş investisiya siyasəti Azərbaycanın uzunmüddətli dayanıqlı inkişaf strategiyasının əsas komponentlərindən biri kimi çıxış edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. https://www.stat.gov.az
2. Azərbaycan Respublikasının Mərkəzi Bankı. (2018). 2018–2020-ci illərdə Azərbaycan Respublikasında rəqəmsal ödənişlərin genişləndirilməsi üzrə Dövlət Proqramı URL: https://www.cbar.az/law-11/decree-no-508
3. Dünya İqtisadi Forumu (2024). URL:https://www.weforum.org/
4. Elektron ticarət haqqında Azərbaycan Respudlikasının qanunu, Bakı şəhəri, 10 may 2005-ci il, № 908-IIQ https://e-qanun.az/framework/10406
5. Əliyev, İ. (2021). "Rəqəmsal transformasiya sahəsində idarəetmənin təkmilləşdirilməsi haqqında" fərman. Prezident.az, Bakı.
6. Əliyev, T. N. O. (2021). İnformasiya Cəmiyyəti Kontekstində İqtisadiyyatın Gücləndirilməsində Sahibkarlığın Rolunun Artırılması İstiqamətləri. İnformasiya Cəmiyyətində İqtisadiyyatın Davamlı İnkişaf Problemləri.
7. Əsgərov V.Y., (2024). "Yaşıl,ənənəvi və rəqəmsal iqtisadiyyatların müqayisəli təhlili və gələcək perspektivləri" Bakı.
8. https://www.researchgate.net/publication/370072866 E.Ələkbərov, Azərbaycanın əmək bazarında prioritet peşələrin müəyyənləşdirilməsi, ResearchGate, aprel 2023 – Azərbaycanda bilik iqtisadiyyatının inkişafı və rəqəmsallaşmanın əmək bazarına təsiri.
9. Qasımli, V., Talibova, M., Quliyeva, G., Museyibov, A., Mirzəyev, F., Qədəşov, A., & Əhmədova, G. (2023). Rəqəmsal iqtisadiyyat. Bakı: Azprint. Səh.262
10. Mansoor, R. R. (2024). The Impact of E-marketing Technology in Improving The Effectiveness of Communication With Customers: A Case of Attayibat International Trading (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
11. Statista (2024), https://www.statista.com
12. Vandenberg, H., & Rosete, A. R. (2018). Extending the Harrod-Domar Model. *American Review of Political Economy*, *11*(2).
13. https://www.statista.com/outlook/emo/ecommerce/azerbaijan#revenue

AZƏRBAYCANDA DAVAMLI İQTİSADİ İNKİŞAFIN EKONOMETRİK TƏHLİLİ

LƏMAN MÜRSƏLİZADƏ
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə kafedrası/Makroiqtisadi siyasət
l.lamanmursalizadeh@gmail.com
Bakı,Azərbaycan

Xülasə: Bu araşdırma Azərbaycanda davamlı iqtisadi inkişafın əsas makroiqtisadi göstəricilər vasitəsilə ekonometrik təhlili aparılmışdır. ÜDM, inflyasiya səviyyəsi, işsizlik, enerji istifadəsi və investisiyalar arasındakı qarşılıqlı təsirlər VAR modeli ilə təhlil edilmişdir. Nəticələr göstərir ki, iqtisadi artım enerji və kapital qoyuluşlarından müsbət təsirlənsə də, inflyasiya və ekoloji təzyiqlər uzunmüddətli inkişafın məhdudlaşdırılmasına mənfi təsir göstərir. Əldə olunan nəticələr davamlı inkişafın təmin edilməsi baxımından optimal və balanslaşdırılmış makroiqtisadi siyasət çərçivəsinin formalaşdırılmasının zəruriliyini əsaslandırır.

Açar sözlər: davamlı iqtisadi inkişaf, ekonometrik təhlil, VAR modeli, ÜDM, inflyasiya, işsizlik, enerji istehlakı, investisiyalar, makroiqtisadi siyasət

Abstract: This study investigates the main macroeconomic determinants of sustainable economic development in Azerbaijan using an econometric framework. Within the scope of the research, the dynamic interrelationships among GDP, inflation, unemployment, energy consumption, and investments are analyzed through the VAR model. The empirical findings indicate that economic growth is positively influenced by energy consumption and capital investments, while rising inflation and environmental pressures impose constraints on long-term development. The results highlight the necessity of establishing an optimal and balanced macroeconomic policy framework to ensure sustainable economic development.
Keywords: Sustainable economic development, econometric analysis, VAR model, GDP, inflation, unemployment, energy consumption, investments, macroeconomic policy.

Giriş

Müasir dövrdə davamlı inkişaf qlobal iqtisadi siyasətin əsas prioritet istiqamətlərindən biri kimi formalaşmışdır.Bunun səbəbi artan ekoloji problemlər,resursların tədricən azalması və sosial-iqtisadi qeyri-barəbərliklərin dərinləşməsi ilə əlaqədədardır.Davamlı inkişaf indiki dövrdə insanların ehtiyaclarını ödəməklə yanaşı,gələcək nəsillərin də bu potensial imkanlardan istifadəsini məhdudlaşdırmır.Son illərdə iqtisadi artımın ekoloji davamlılıq və sosial rifahla uzlaşdırılması xüsusilə resurslara əsaslanan iqtisadi sistemlər üçün əhəmiyyətli hesab olunur.

Azərbaycanda son iyirmi ildə müşahidə olunan iqtisadi artım əsasən neft-qaz sektorunun təsiri ilə əhəmiyyətli iqtisadi inkişaf olmuşdur.Lakin bu model,uzunmüddətli davamlılıq,iqtisadi strukturun genişləndirilməsi və ekoloji təsirlər baxımından risklər yaradır.

Bu kontekstdə,iqtisadiyyatın davamlı və diversifikasiya olunmuş inkişaf modelinə keçidi vacib addımdır.Neft sektoruna olan asılılığın azaldılması,yaşıl enerji mənbələrinin genişləndirilməsi və enerji səmərəliliyinin yüksəldilməsi bu prosesin əsas elementidir.Araşdırma həm qısa həm də uzunmüddətli əlaqələri müəyyən etməklə mövcud ədəbiyyata elmi töhfə verir.

Son illərdə Azərbaycanda davamlı inkişafın təmin edilməsi istiqamətində kompleks və çoxşaxəli tədbirlər həyata keçirilir. Bu addımlar daha çox iqtisadiyyatın neftdən asılılığının azaldılması, bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişaf etdirilməsi və enerji istifadəsinin daha səmərəli təşkil olunmasına əsas prioritetlər kimi müəyyən edilmişdi. Lakin iqtisadi artım ilə əsas ekoloji və makroiqtisadi göstəricilər — xüsusilə enerji istehlakı, karbon emissiyaları və birbaşa xarici investisiyalar arasındakı qarşılıqlı əlaqələrin sistemli ekonometrik qiymətləndirilməsi hələ də am şəkildə və dərin ekonometrik üsullarla araşdırılmamışdır.

Bu baxımdan, davamlı iqtisadi inkişafın ekonometrik təhlili iqtisadi artım və ekoloji faktorların qarşılıqlı təsirini daha aydın şəkildə qiymətləndirilməsinə imkan yaradır.

Tədqiqatın məqsədi olaraq Azərbaycanda davamlı iqtisadi inkişafı müəyyən edən amilləri ekonometrik üsullarla təhlil etmək və iqtisadi artım ilə ekoloji göstəricilər arasındakı əlaqəni aydınlaşdırmaqdır. Eyni zamanda, əldə edilən nəticələrə əsaslanaraq iqtisadi siyasətin təkmilləşdirilməsi istiqamətində əsaslandırılmış praktik və tətbiq oluna bilən tövsiyələrin verilməsi də nəzərdə tutulur.

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, Azərbaycanda davamlı iqtisadi inkişafın formalaşmasında həm makroiqtisadi, həm də ekoloji amillər əhəmiyyətli rol oynayır.Aparılan ekonometrik təhlil nəticəsində enerji istehlakı ilə iqtisadi artım arasında müsbət və statistik baxımdan əhəmiyyətli təsir göstərir. Ümumilikdə, əldə edilən nəticələr dəyişənlər arasında uzunmüddətli əlaqə mövcuddur və bu, davamlı inkişaf siyasətinin kompleks yanaşma tələb etdiyini sübut edir.

Tədqiqat işi struktur baxımından dörd əsas fəsli əhatə edir. Birinci fəsildə davamlı iqtisadi inkişaf anlayışının nəzəri əsasları və onun iqtisadi sistemdəki əhəmiyyəti araşdırılır. İkinci fəsildə Azərbaycanda davamlı inkişafın mövcud vəziyyəti və dinamikası təhlil edilir. Üçüncü fəsildə tədqiqatın metodoloji əsasları, istifadə olunan ekonometrik model və analiz üsulları izah olunaraq empirik nəticələr əldə edilir. Sonuncu fəsildə isə bu nəticələr ümumiləşdirilərək ,iqtisadi siyasətin təkmilləşdirilməsi istiqamətində tövsiyələr təqdim olunur.

Davamlı iqtisadi inkişafın nəzəri əsasları

Davamlı iqtisadi inkişaf müasir iqtisadi nəzəriyyədə fundamental anlayışlardan biri hesab olunur və xüsusilə ekoloji problemlərin kəskinləşdiyi, təbii resursların isə məhdudlaşdığı dövrdə daha çox aktuallıq qazanmışdır. Bu yanaşma iqtisadi inkişafı yalnız qısamüddətli nəticələr əsasında deyil, həm də ekoloji dayanıqlılıq və sosial rifah baxımından qiymətləndirməyi tələb edir.

Daha geniş mənada, davamlı inkişaf bu günün ehtiyaclarını ödəyərkən gələcək nəsillərin resurslara çıxış imkanlarını təhlükə altına atmayan inkişaf modelidir. Bu yanaşma iqtisadiyyat, ətraf mühit və sosial rifah arasında balanslı və inteqrasiya olunmuş əlaqənin qurulmasını zəruri edir.

Davamlı iqtisadi inkişafın formalaşması əsasən üç fundamental istiqamətə əsaslanır:

CƏDVƏL 1 .İqtisadi inkişafın formalaşması

İstiqamət	Təsvir	Əsas göstəricilər
İqtisadi davamlılıq	Uzunmüddətli iqtisadi artım və sabitlik	ÜDM,investisiya,məhsuldarlıq
Ekoloji davamlılıq	Resursların qorunması və çirklənmənin azaldılması	CO2 emissiyaları və enerji istehlakı
Sosial davamlılıq	Sosial rifah və bərabərlik	Məşğulluq,gəlir bölgüsü

Bu komponentlər bir-biri ilə sıx əlaqədədir və yalnız balanslı şəkildə inkişaf etdikdə davamlı nəticəyə malik olur.

Davamlı inkişaf üzrə nəzəri yanaşmalar

Davamlı iqtisadı inkişafın mahiyyətini izah etmək üçün müxtəlif iqtisadi nəziyyələr mövcuddur.Bu nəzəriyyələr iqtisadi artımın hansı amillərdən asılı olduğunu və ətraf mühitlə olan əlaqəni fərqli aspektlərdən izah edir.Bu yanaşmalar aşağıdakı kimidir:

1. Neoklassik nəzəriyyə
2. Endogen artım nəzəriyyəsi
3. Ekoloji iqtisadiyyat nəzəriyyəsi

Neoklassik yanaşmaya görə iqtisadi artımı əsasən ənənəvi istehsal amilləri ilə- kapital, əmək və texnologiyanın inkişafı hesabına baş verir.Bu yanaşmada bazar mexanizmlərininöz-özünü tənzimlədiyini və resursların səmərəli şəkildə bölüşdürüldüyünü qəbul edir. Ancaq bu yanaşmada ətraf mühit amilləri və resursların məhdudluğu arxa planda qalır və davamlılıq məsələlərinə geniş yer verilmir.

Endogen artım nəzəriyyəsi iqtisadi inkişafın daxili faktorlarla bağlı olduğunu ön plana çıxardır. Bu yanaşmada innovasiya, bilik və insan kapitalı əsas hərəkətverici qüvvələr hesab olunur. Nəzəriyyəyə əsasən, texnologiyanın inkişafı və insanların bilik səviyyəsinin artması həm iqtisadi artımı sürətləndirir, həm də daha ekoloji cəhətdən uyğun istehsal imkanları yaradır.

Ekoloji iqtisadiyyat yanaşmasıiqtisadi fəaliyyətin təbii resurslarla sıx bağlı olduğunu əsas götürür. Bu yanaşmaya görə, təbii resurslar sonsuz deyil və onların düzgün istifadə olunması vacibdir. İqtisadi inkişaf yalnız ətraf mühitin qorunması ilə uzlaşdırıldığı halda uzunmüddətli və davamlı ola bilər. Buna görə də, resurslardan səmərəli istifadə, çirklənmənin azaldılması və ekoloji tarazlığın qorunması əsas prioritetlər kimi xüsusi əhəmiyyətə malikdir.

Davamlı iqtisadi inkişafın əsas amilləri aşağıdakılardır:

Enerji istehlakı-iqtisadi fəaliyyətin əsasını təşkil edir və istehsal proseslərinin davamlılığı üçün vacib resurs kimi qiymətləndirilir. Lakin enerji mənbələrinin, xüsusilə də qeyri-bərpa olunan resursların geniş istifadəsi ətraf mühitə mənfi təsir malik ola bilər və bu da davamlı inkişaf baxımından müəyyən risklər yaradar.

Karbon emissiyaları ətraf mühitin vəziyyətini qiymətləndirmək üçün istifadə olunan əsas göstəricilərdən biridir. İqtisadi artımın sürətlənməsi əksər hallarda emissiyaların artması ilə müşahidə olunur ki, bu da ekoloji tarazlığın pozulması ilə nəticələnə bilər.

Birbaşa xarici investisiyalar iqtisadiyyatın inkişafına müsbət təsir göstərən mühüm amillərdən biridir. Xarici kapital axını ilə yanaşı, yeni texnologiyaların və idarəetmə təcrübələrinin ölkəyə daxil olması iqtisadiyyatın daha səmərəli,rəqabətqabiliyyətli inkişafına əlverişli şərait yaradır.

Texnoloji yeniliklər davamlı iqtisadi inkişafın təmin olunmasında xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Müasir texnologiyaların tətbiqi istehsal proseslərinin daha səmərəli təşkilinə, resurslardan daha səmərəli istifadəsinə və ətraf mühitə mənfi təsirlərin azaldılmasına səbəb olur.

İqtisadi şaxələndirmə davamlı inkişafın əsas şərtlərindən biri hesab olunur. Müxtəlif sahələrin paralel inkişafı iqtisadi riskləri azaldır, resurslardan daha effektiv istifadəni təmin edir və iqtisadi sistemin xarici şoklara qarşı dayanıqlığını artırır. Qeyd olunan amillərin qarşılıqlı və balanslı şəkildə inkişafı davamlı iqtisadi artımın təmin olunmasında əhəmiyyətli rol oynayır.

Azərbaycanda Davamlı İnkişafın Mövcud Vəziyyəti və İnkişaf Trendləri

Son illərdə Azərbaycan davamlı iqtisadi inkişafın təmin olunması istiqamətində mühüm nailiyyətlər əldə etmişdir.Bu irəliləyişlər əsasən strateji dövlət proqramlarının və struktur islahatların vasitəsilə həyata keçirilməsi nəticəsində olmuşdur. Ölkənin iqtisadi modeli uzun müddət neft və qaz sektoruna əsaslanmış, bu sahə həm ÜDM-in artımında, həm də ixrac gəlirlərinin formalaşmasında mühim rol oynamışdır. Lakin

bu asılılıq iqtisadiyyatın xarici bazar dəyişikliklərinə qarşı həssaslığını artırmış və eyni zamanda ekoloji dayanıqlılıq baxımından müəyyən problemlər yaratmışdır.

Azərbaycanda iqtisadi artım qlobal enerji bazarlarında baş verən qiymət dəyişikliklərindən əhəmiyyətli dərəcədə təsirlənmişdir və bu, iqtisadiyyatın şaxələndirilməsinin zəruriliyini daha da aktuallaşdırmışdır . Eyni zamanda, xüsusilə karbon emissiyaları kimi ekoloji göstəricilər sənaye istehsalının genişlənməsi və enerji istehlakının artması ilə paralel şəkildə yüksəlmişdir.

Ölkədə United Nations tərəfindən müəyyən edilmiş Dayanıqlı İnkişaf Məqsədlərinə uyğun milli inkişaf strategiyaları həyata keçirilmişdir. Bu strategiyalar inklüziv iqtisadi artımın təşviqi, ətraf mühitin qorunması və təbii resursların daha səmərəli idarə olunmasını hədəfə alır.

Davamlı inkişafın əsas göstəriciləri

Azərbaycanda Davamlı iqtisadi inkişafın səviyyəsi müxtəlif makroiqtisadi və ekoloji göstəricilərin təhlili əsasında həyata keçirilir.

ÜDM artımı: ümumi iqtisadi performansın əsas göstəricisidir

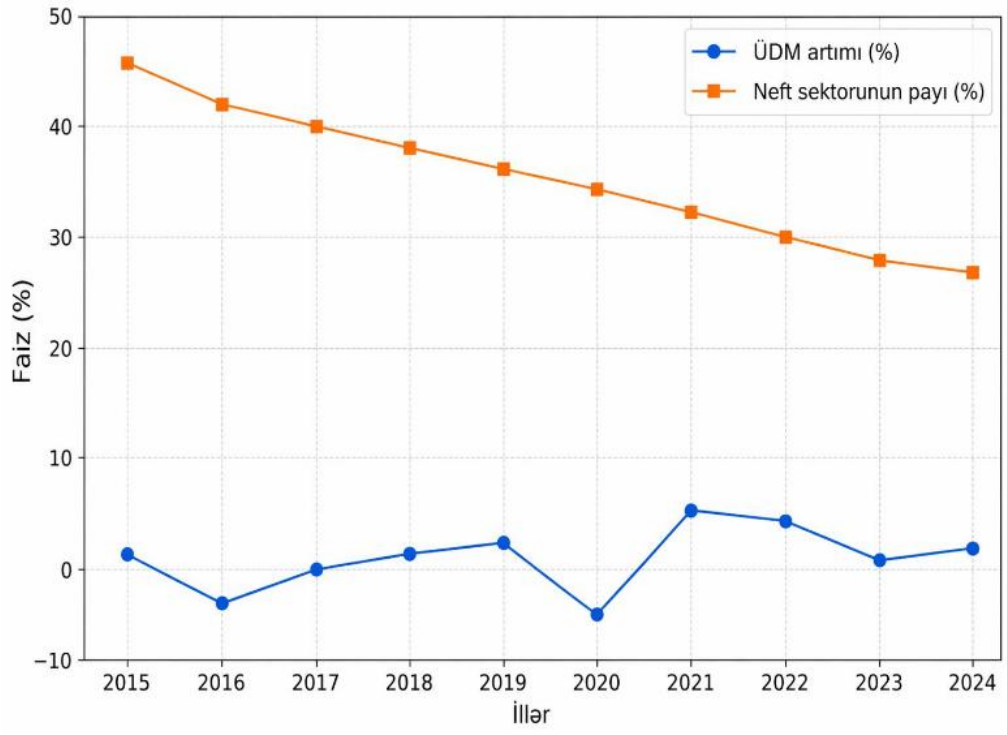
Enerji istehlakı: iqtisadi aktivlik və sənaye inkişafını əks etdirir

CO_2 emissiyaları: ətraf mühitə təsirin səviyyəsini göstərir

FDI (birbaşa xarici investisiyalar): iqtisadi inteqrasiyanın göstəricisidir

Qeyri-neft sektoru: iqtisadi şaxələndirmə səviyyəsini ifadə edi

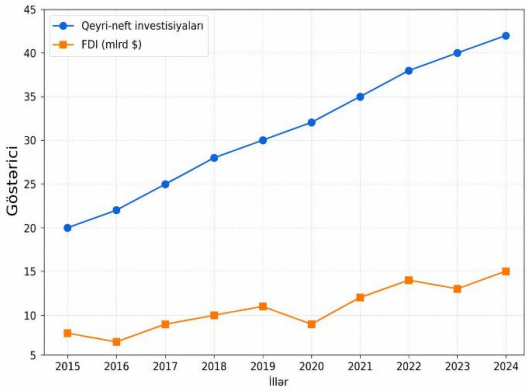
International Monetary Fund məlumatlarına əsasən, Azərbaycanda qeyri-neft sektoru son illərdə artım nümayiş etdirsə də, iqtisadi strukturda neft sektoru hələ də dominant mövqeyini qoruyur. Bu isə şaxələndirmə prosesinin davam etməsinə baxmayaraq daha güclü institusional dəstəyə ehtiyac olduğunu göstərir.



Şəkil 1. ÜDM və Neft sektorunun payı (2015-2024)

Mənbə: World Bank (2025), Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi (2025)

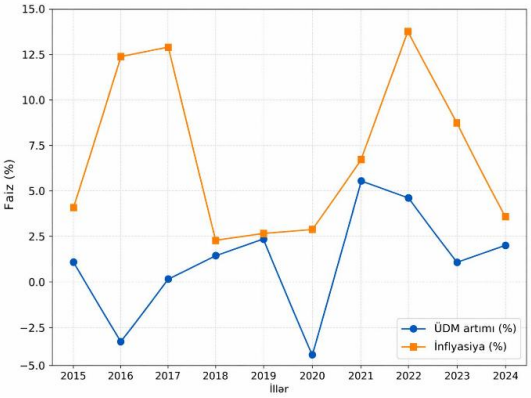
Bu qrafik ÜDM artımı ilə neft sektorunun iqtisadiyyatda payı arasında tərs əlaqəni əyani göstərir. Müşahidə olunur ki, neft sektorunun payı azaldıqca iqtisadi artım daha sabit və müsbət tendensiya ilə xarakterizə olunur.Xüsusilə 2020-ci ildə neftdən asılılığın yüksək olduğu dövrdə ÜDM-də kəskin azalma müşahidə edilmişdir. Sonrakı illərdə isə diversifikasiya nəticəsində artım bərpa olunmuş və daha sabit formaya keçmişdir.



Şəkil 2. İnvestisiya və FDI dinamikası

Mənbə: World Bank (2025), IMF (2025), UNCTAD (2025)

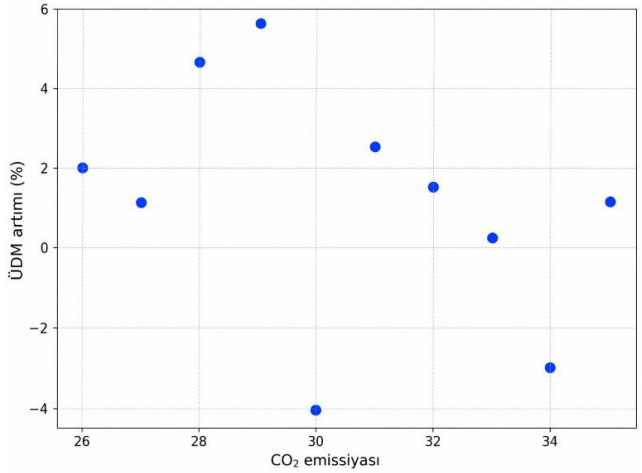
Qrafik qeyri-neft sektoruna yönəldilən investisiyaların ardıcıl və davamlı şəkildə artdığını nümayiş etdirir. Eyni zamanda FDI axınlarının da ümumi olaraq artması iqtisadi diversifikasiyanın gücləndiyini əks etdirir. Bu inkişaf ölkənin xarici investorlar üçün daha cəlbedici mühitə çevrildiyini və həyata keçirilən struktur islahatların müsbət nəticələr verdiyini təsdiqləyir.



Şəkil 3. İnflyasiya və ÜDM

Mənbə: World Bank (2025), IMF (2025)

Qrafik inflyasiya ilə ÜDM artımı arasında olan qarşılıqlı əlaqəni aydın şəkildə göstərir. Qrafik inflyasiya ilə ÜDM artımı arasında olan qarşılıqlı əlaqəni aydın şəkildə əks etdirir. Əksinə, inflyasiyanın sabit olduğu dövrlərdə iqtisadi artım daha stabil olmuşdur. Bu da makroiqtisadi sabitliyin davamlı inkişaf üçün əsas şərlərdən biri olduğunu göstərir.



Şəkil 4. CO_2 emissiyası və ÜDM əlaqəsi

Mənbə: World Bank (2025), World Development Indicators;UN Data (2025); Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi

Qrafik CO_2 emissiyaları ilə ÜDM artımı arasındakı əlaqəni əks etdirir. Nəticələrdən görünür ki, emissiya səviyyəsi azaldıqca iqtisadi artım daha sabitləşməyə başlayır. Bu isə "yaşıl inkişaf" (green growth) yanaşmasının Azərbaycanda tətbiqinin potensial baxımdan effektivliyini göstərir. Scatter plot-da nöqtələrin paylanması isə zəif mənfi korrelyasiyaya işarə edir. Yəni, uzunmüddətli və davamlı iqtisadi artımın təmin edilməsi üçün ekoloji amillərin nəzərə alınması mühüm əhəmiyyət daşıyır.

İnkişaf trendləri

Azərbaycanın davamlı inkişaf strategiyasında əsas istiqamətlərdən biri iqtisadi şaxələndirmənin gücləndirilməsinə yönləndirilib. Bu məqsədlə kənd təsərrüfatı, turizm və emal sənayesi kimi qeyri-neft sahələrinin inkişafı prioritet istiqamət kimi müəyyən edilmişdir.

Eyni zamanda, bərpa olunan enerji sektoruna diqqət də artmaqdadır. International Energy Agency hesabatlarına görə, ölkədə günəş və külək enerjisi üzrə böyük potensial mövcuddur və bu potensialın reallaşdırılması həm karbon emissiyalarının azaldılmasına, həm də uzunmüddətli dayanıqlı inkişafa səbəb ola bilər.

Enerji səmərəliliyinin yüksəldilməsi və innovativ texnologiyaların tətbiqi də mühüm inkişaf istiqamətləri biri kimi çıxış edir. Bu tədbirlərin iqtisadi məhsuldarlığı artıracağı və ekoloji təsirləri minimuma endirəcəyi gözləntilərdən biridir.

Metodologiya, Ekonometrik Model və Empirik Nəticələr

Azərbaycanda davamlı iqtisadi inkişafın tədqiqi məqsədilə tətbiq olunan metodoloji yanaşma geniş şəkildə təqdim edilir və aparılmış empirik təhlilin nəticələrini əks etdirir. Burada tədqiqatın quruluşu, istifadə olunan məlumatların xüsusiyyətləri, dəyişənlərin seçimi və istifadə olunan ekonometrik üsullar ətraflı izah olunur. Eyni zamanda, əldə olunan nəticələrin etibarlılığını və düzgünlüyünü təmin etmək üçün tətbiq edilən prosedurlar açıqlanır və nəticələrin iqtisadi və ekoloji davamlılıq kontekstində necə şərh edildiyi müzakirə olunur.

Tədqiqat Metodologiyası

Bu tədqiqat əsasən kəmiyyət (kvantitativ) yanaşmanı əsas götürərək,çünki işin əsas məqsədinin iqtisadi artım ilə davamlılıq göstəriciləri arasında mövcud olan statistik əlaqələrin təhlil edilməsidir. Araşdırma 2000–2022-ci illəri əhatə edən zaman sırası (time-series) məlumatları əsaslanır. Bu dövr həm qısamüddətli iqtisadi dəyişiklikləri, həm də uzunmüddətli inkişaf meyllərini əhatə etmək baxımından məqsədəuyğundur. Zaman sırası yanaşması vasitəsilə dəyişənlər arasında zamanla formalaşan dinamik əlaqələr təhlil edilir və bir göstəricidə baş verən dəyişikliklərin digər göstəricilərə olan təsirinin qiymətləndirilməsidir.

Dəyişənlərin Seçimi və Əsaslandırılması

İstifadə edilən dəyişənlər həm nəzəri iqtisadi yanaşmalara, həm də davamlı inkişaf mövzusunda aparılmış çoxsaylı empirik araşdırmaların nəticələrinə əsaslanaraq seçilmişdir. Asılı dəyişən kimi Ümumi Daxili Məhsul (ÜDM) götürülmüşdür ki, ÜDM ölkənin iqtisadi fəaliyyət səviyyəsini və ümumi iqtisadi artımı əks etdirən əsas makroiqtisadi ölçü vahidi kimi qəbul olunur.

Müstəqil dəyişənlər isə aşağıdakılardır:

- Enerji istehlakı (EC)- iqtisadi və sənaye fəaliyyətinin intensivliyini əks etdirən iqtisadi inkişafın mühüm indikatorlarından biridir.
- Karbon dioksid emissiyaları (CO_2)-iqtisadi artımın ekoloji nəticələrini əks etdirir və ətraf mühitə təsirin səviyyəsini ölçmək üçün indicator
- Xarici birbaşa investisiyalar (FDI)- ölkəyə daxil olan kapital axınını, texnologiya transferini və investisiya mühitinin ifadə edən dəyişəndir.
- Qeyri-neft sektorunun inkişafı (NOG)- iqtisadiyyatın şaxələndirilmə səviyyəsini ölçən göstərici

Model spesifikasiyası

Davamlı iqtisadi inkişafın müəyyənedicilərini qiymətləndirmək üçün aşağıdakı ekonometrik model spesifikasiya qeyd edilmişdir:

$$GDP_t = \beta_0 + \beta_1 EC_t + \beta_2 CO2_t + \beta_3 FDI_t + \beta_4 NOG_t + \varepsilon_t$$

- **GDP** – Ümumi Daxili Məhsul (iqtisadi artım göstəricisi)
- **EC** – Enerji istehlakı
- **CO_2** – Karbon emissiyaları
- **FDI** – Birbaşa xarici investisiyalar
- **NOG** – Qeyri-neft sektorunun inkişafı
- **ε** – Səhv termini

Aparılmış qiymətləndirmələr göstərir ki, qurulan model bütövlükdə statistik baxımdan əhəmiyyətə malikdir. Yəni seçilmiş izahedici dəyişənlər ÜDM-də baş verən dəyişiklikləri izah etmək gücünə sahibdir. Eyni zamanda, modelin determinasiya əmsalının (R^2) yüksək olması onun yaxşı uyğunluğa sahib olduğunu və iqtisadi artımın əsas amillərinin kifayət qədər effektiv şəkildə əhatə olunduğunu göstərir.

Azərbaycanda makroiqtisadi və ekoloji dəyişənlər arasındakı qarşılıqlı əlaqələrin zaman üzrə dinamikasını öyrənmək üçün Vektor Avtoreqressiya (VAR) modeli istifadə edilir. Araşdırma Dünya Bankı, Beynəlxalq Valyuta Fondu və Beynəlxalq Enerji Agentliyi kimi etibarlı beynəlxalq mənbələrdən götürülmüş illik zaman sıralı məlumatlardan istifadə edilmişdir.

VAR modeli aşağıdakı kimi spesifikasiya edilmişdir:

$$Y_t = A_1 * Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \ldots + A_p Y_{t-p} + \varepsilon_t$$

- Y_t- endogen dəyişənlər vektorunu ifadə edir;
- A_i- koeffisient matrislərini təmsil edir;
- p- AIC və SC meyarlarına əsasən seçilmiş optimal gecikmə uzunluğudur
- ε_t- xəta termini

Period	GDP	Inflation	FDI	Energy	CO_2	Non-Oil
1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	72.5	8.1	10.2	4.5	2.3	2.4
3	60.4	9.5	14.8	5.2	3.1	7.0
4	52.1	10.2	18.5	6.0	4.0	9.2
5	45.3	11.0	22.1	6.5	4.8	10.3
6	40.8	11.5	25.0	7.2	5.3	10.2
7	38.2	12.0	26.8	7.8	5.6	9.6
8	35.6	12.3	28.5	8.1	5.8	9.7
10	32.4	12.7	30.2	8.5	6.0	10.2

Cədvəl 2. ÜDM dəyişkənliyinin izahı (%) VAR modelinin sintetik (illustrativ) nəticəsi

Variance decomposition nəticələri göstərir ki, ÜDM-dəki dəyişkənliyin əsas hissəsi uzunmüddətli dövrdə qeyri-neft sektoru və birbaşa xarici investisiyaların təsiri ilə formalaşır. Xüsusilə 10-cu dövrdə bu iki amilin birlikdə izah etdiyi pay 40%-i keçir ki, bu da iqtisadi strukturda tədricən diversifikasiyanın gücləndiyini göstərir. Başqa sözlə, iqtisadi artım yalnız ənənəvi neft amillərindən deyil, getdikcə daha çox real sektorun inkişafı və xarici kapital axınlarından asılı hala gəlir.

Empirik Nəticələrin Şərhi

Ekonometrik nəticələr Azərbaycanda davamlı iqtisadi inkişafın formalaşmasında əsas makroiqtisadi amillərin rolunu daha aydın şəkildə ortaya qoyur. Birincisi, enerji istehlakı (EC) ÜDM-ə müsbət və statistik cəhətdən əhəmiyyətli təsir təsir göstərməsi iqtisadi artımın hələ də enerji resurslarının istifadəsi ilə sıx bağlı olduğunu göstərir. Bu, Azərbaycanda iqtisadi artımın hələ də enerji istifadəsi və sənaye fəaliyyəti ilə sıx bağlı olduğunu göstərir. İqtisadi artımın enerji resurslarının istifadəsi ilə sıx bağlı olduğunu göstərir. Bu nəticə onu göstərir ki, ölkə iqtisadiyyatı hələ də sənaye və enerji əsaslı inkişaf modelinə söykənir.

Digər tərəfdən, karbon emissiyalarının (CO_2) uzunmüddətli dövrdə iqtisadi artımla mənfi əlaqəsi müşahidə olunur. Bu hal iqtisadi inkişafın ekoloji mühit üzərində yaratdığı təzyiqləri göstərir və "yaşıl iqtisadiyyat" yanaşmasının vacibliyini ön plana çıxarır. Yəni, iqtisadi artım ekoloji dayanıqlılıqla paralel şəkildə idarə olunmadıqda, gələcək inkişaf üçün rmənfi təsirlər yarana bilər.

Birbaşa xarici investisiyalar (FDI) ÜDM-ə müsbət və əhəmiyyətli təsir göstərməsi, yeni texnologiyaların və idarəetmə təcrübələrinin iqtisadi artımı stimullaşdırdığını təsdiqləyir. Bu faktor Azərbaycanın qlobal iqtisadi sistemə inteqrasiyasının inkişaf üçün vacibliyini vurğulayır.

Qeyri-neft sektorunun (NOG) iqtisadi artıma güclü və davamlı müsbət təsiri iqtisadi şaxələndirmənin əhəmiyyətini bir daha vurğulayır. Bu nəticə göstərir ki, neftdən asılılığın azaldılmasında, qeyri-neft sahələrinin inkişafı uzunmüddətli və dayanıqlı iqtisadi artımın əsas şərtlərindən birinin olduğunu təsdiqləyir.

Nəticə

Aparılan ekonometrik təhlil göstərir ki, Azərbaycanda davamlı iqtisadi inkişaf əsas makroiqtisadi göstəricilərin qarşılıqlı təsiri nəticəsində formalaşır. VAR modeli əsasında əldə olunan empirik nəticələr

iqtisadi artımın tək bir mənbədən deyil, əsasən struktur dəyişikliklər və sektorlararası balansdan asılı olduğunu təsdiqləyir.

Alınan nəticələr sübut edir ki, uzunmüddətli dövrdə ÜDM-in dinamikasında qeyri-neft sektoru və birbaşa xarici investisiyalar daha stabil və güclü rol oynayır. Bu isə iqtisadiyyatın tədricən neft asılılığından uzaqlaşaraq daha diversifikasiya olunmuş struktura keçdiyini göstərir. Eyni zamanda enerji istehlakı qısa müddətdə iqtisadi aktivliyi dəstəkləsə də, onun davamlı inkişaf baxımından struktur risklər yaratdığı müşahidə olunur. Ekoloji göstəricilərin təsiri də xüsusilə diqqət çəkir. CO_2 emissiyalarının iqtisadi artım üzərində müəyyən neqativ təsiri uzunmüddətli inkişafın yalnız iqtisadi deyil, həm də ekoloji balans tələb etdiyini ortaya qoyur. Bu, "yaşıl iqtisadiyyat" yanaşmasının aktuallığını daha da artırır. Ekoloji göstəricilərin təsiri də xüsusilə diqqət çəkir. CO_2 emissiyalarının iqtisadi artım üzərində müəyyən neqativ təsiri uzunmüddətli inkişafın yalnız iqtisadi deyil, həm də ekoloji balans tələb etdiyini ortaya qoyur. Bu, "yaşıl iqtisadiyyat" yanaşmasının aktuallığını daha da artırır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Aghion, P., & Howitt, P. (2009). *The economics of growth*. MIT Press.
2. Barro, R. J., & Sala-i-Martin, X. (2004). *Economic growth* (2nd ed.). MIT Press.
3. Enders, W. (2014). *Applied econometric time series* (4th ed.). Wiley.
4. Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill.
5. Hamilton, J. D. (1994). *Time series analysis*. Princeton University Press.
6. Johansen, S. (1995). *Likelihood-based inference in cointegrated vector autoregressive models*. Oxford University Press.
7. Pesaran, M. H., & Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics Letters, 58*(1), 17–29.
8. Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica, 48*(1), 1–48.
9. Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy, 98*(5), S71–S102.
10. Sachs, J. D., & Warner, A. M. (2001). The curse of natural resources. *European Economic Review, 45*(4–6), 827–838.
11. Stock, J. H., & Watson, M. W. (2001). Vector autoregressions. *Journal of Economic Perspectives, 15*(4), 101–115. World Bank. (2024). *World development indicators*. https://data.worldbank.org
12. International Monetary Fund. (2024). *World economic outlook database*. https://www.imf.org
13. UNCTAD. (2023). *World investment report*. https://unctad.org Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi. (2024). *Milli hesablar və əsas makroiqtisadi göstəricilər*. https://www.stat.gov.az
14. Azərbaycan Respublikası Mərkəzi Bankı. (2024). *Pul siyasəti və maliyyə sabitliyi hesabatı*. https://www.cbar.az
15. Azərbaycan Respublikası İqtisadiyyat Nazirliyi. (2023). *Azərbaycan iqtisadiyyatı: əsas göstəricilər və inkişaf istiqamətləri*. Bakı.
16. Əhmədov, M. (2022). Azərbaycanda iqtisadi artım və qeyri-neft sektorunun inkişafı. *Azərbaycan İqtisadiyyat Jurnalı, 15*(2), 45–62.
17. Hüseynov, R. (2021). Enerji amillərinin Azərbaycan iqtisadiyyatına təsiri. *Bakı Dövlət Universiteti Elmi Xəbərləri, İqtisadiyyat seriyası, 3*(1), 12–27.
18. Quliyev, A. (2020). Birbaşa xarici investisiyaların region iqtisadi inkişafına təsiri. *İqtisadi Araşdırmalar Jurnalı, 8*(4), 88–103.
19. Məmmədov, E. (2023). Azərbaycanda davamlı inkişaf və ekoloji iqtisadiyyat məsələləri. *ADA University Working Papers*.

RƏQƏMSAL İQTİSADİYYAT ŞƏRAİTİNDƏ ƏMƏK BAZARI VƏ DAVAMLI İNKIŞAF MEXANİZMLƏRİ

İ.E.D.,PROF. RƏHMANOV FƏRHAD PƏNAH OĞLU
İqtisadiyyat fakultəsi
Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti
farhad52@live.ru
AZƏRBAYCAN, BAKI

İ.Ü.F.D. HƏŞİMOVA ALBİNA ÇİNGİZ QIZI
İqtisadiyyat
Bakı Mühəndislik Universiteti
ahashimova@beu.edu.az
AZƏRBAYCAN, BAKI

Xülasə: Müasir dövrdə rəqəmsallaşma və texnoloji innovasiyalar əmək bazarının strukturunu və funksional xüsusiyyətlərini köklü şəkildə dəyişir. Əmək bazarının transformasiyası ənənəvi məşğulluq modellərinin əvəz olunmasına, yeni peşələrin və çevik iş formalarının yaranmasına səbəb olur. Bu proses yalnız iqtisadi artımın təşviqinə deyil, həm də sosial rifahın və inklüziv məşğulluğun təmin edilməsinə yönəlmiş davamlı inkişaf prinsiplərinin reallaşmasına təsir göstərir.
Xülasə: də qeyd olunur ki, rəqəmsal iş platformaları, frilans fəaliyyəti və uzaq iş formaları əmək bazarının dinamikliyini artırmaqla yanaşı, sosial müdafiə və işçi hüquqları məsələlərini də aktuallaşdırır. Eyni zamanda, insan kapitalının inkişafı və ömürboyu təhsil konsepsiyasının tətbiqi iqtisadiyyatın dayanıqlığını təmin edən əsas amillərdən biridir.
Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, əmək bazarının transformasiyası və davamlı inkişaf arasında qarşılıqlı təsir mövcuddur və bu əlaqənin effektiv idarə olunması dövlət siyasətləri, təhsil sistemi və biznes mühiti arasında koordinasiyalı yanaşmanı tələb edir. Nəticə etibarilə, rəqəmsal dövrdə əmək bazarının çevikliyinin artırılması və sosial-iqtisadi dayanıqlığın təmin edilməsi davamlı iqtisadi inkişafın əsas hərəkətverici qüvvələrindən biridir.
Açar sözlər: davamlı iqtisadi inkişaf, rəqəmsal iqtisadiyyat, insan kapitalı, texnoloji innovasiyalar, əmək bazarının transformasiyası

GİRİŞ

Son illərdə qlobal iqtisadiyyat sürətli rəqəmsallaşma, avtomatlaşdırma və texnoloji innovasiyalar prosesindən keçir. Bu transformasiyalar əmək bazarının strukturuna, işçi qüvvəsinin funksiyalarına və məşğulluq modellərinə fundamental təsir göstərir. Ənənəvi sənaye və xidmət sektorları artıq yeni texnologiyaların inteqrasiyasına uyğunlaşmalı, işçilərin bilik və bacarıqlarının davamlı təkmilləşdirilməsini təmin etməlidirlər. Rəqəmsal dövr əmək bazarında çeviklik, innovativ bacarıqlar, texniki səriştə və ömürboyu təhsil kimi yeni tələbləri ön plana çıxarır, bu isə həm işçi qüvvəsinin, həm də işəgötürənlərin adaptasiya qabiliyyətinə ciddi təsir göstərir.
Rəqəmsallaşma yalnız texnologiyaların tətbiqi ilə məhdudlaşmır; o, həmçinin əmək bazarının qloballaşmasına, sərhədsiz iş imkanlarının yaranmasına və işçilərin regionlararası rəqabət şəraitində fəaliyyətinə şərait yaradır. Frilans fəaliyyəti, platforma əsaslı iş modelləri, uzaq və hibrid iş rejimləri işçilərə daha elastik və çevik iş şəraiti təqdim etsə də, qeyri-sabit məşğulluq, sosial müdafiənin zəifliyi və əmək hüquqlarının qorunması məsələlərini aktuallaşdırır. Bu isə dövlətin və biznes sektorunun əmək bazarını yeni reallıqlara uyğunlaşdırmaq üçün strateji tədbirlər görməsini tələb edir.
Davamlı iqtisadi inkişaf kontekstində əmək bazarının transformasiyası yalnız iqtisadi artımı təşviq etməklə kifayətlənmir. O, həm də sosial rifahın yüksəldilməsi, inklüziv məşğulluğun təmin olunması, gender bərabərliyinin qorunması və insan kapitalının inkişafı kimi əsas məqsədlərə xidmət edir. İşçi qüvvəsinin rəqabət qabiliyyətinin artırılması, texnoloji adaptasiyaya uyğun bacarıqların formalaşdırılması və peşə hazırlığı proqramlarının müasir tələblərə uyğunlaşdırılması uzunmüddətli iqtisadi dayanıqlığın təmin olunması üçün vacibdir.
Məqalənin məqsədi rəqəmsal dövrdə əmək bazarının transformasiyasını sistemli şəkildə araşdırmaq, bu dəyişikliklərin davamlı iqtisadi inkişafla qarşılıqlı təsirini təhlil etmək və dayanıqlı, inklüziv və çevik əmək

bazarının formalaşdırılması istiqamətində elmi və praktik tövsiyələr təqdim etməkdir. Tədqiqat metodologiyası olaraq beynəlxalq və yerli statistik məlumatlar, iqtisadi göstəricilər, mövcud elmi ədəbiyyat və müasir tədqiqat modelləri istifadə edilmişdir.

Bununla yanaşı, əmək bazarının transformasiyası və davamlı inkişafın əlaqəsi yalnız iqtisadi göstəricilərlə deyil, həm də sosial və institusional amillərlə ölçülür. Belə ki, təhsil sistemi, peşə hazırlığı proqramları, işçi hüquqları, sosial müdafiə və gender bərabərliyi kimi elementlər əmək bazarının dayanıqlığını və iqtisadi artımın davamlılığını müəyyən edən əsas amillər kimi çıxış edir. Bu baxımdan tədqiqat əmək bazarının çevikliyini, insan kapitalının inkişafını və inklüziv məşğulluğu strateji prioritetlər kimi qiymətləndirir [2,3].

Nəticə etibarilə, rəqəmsal transformasiya şəraitində əmək bazarının çevik, dayanıqlı və inklüziv strukturlarının formalaşdırılması qlobal iqtisadiyyatın davamlı inkişafı üçün əsas şərtdir. Bu prosesin effektiv idarə olunması dövlət siyasətləri, təhsil və biznes sektorları arasında koordinasiyalı yanaşmanı tələb edir. Məqalə əmək bazarının transformasiyasının müasir iqtisadi modeldə oynadığı rolu nəzəri və praktiki baxımdan araşdıraraq, gələcək inkişaf perspektivlərini müəyyən etməyə çalışır [4].

1. RƏQƏMSAL TRANSFORMASİYANIN ƏMƏK BAZARINA TƏSİRİ

Son onilliklərdə qlobal iqtisadiyyat sürətli rəqəmsallaşma, avtomatlaşdırma və texnoloji innovasiyalar prosesindən keçir. Bu proseslər əmək bazarının strukturuna, işçi qüvvəsinin funksiyalarına və məşğulluq modellərinə fundamental təsir göstərir. Ənənəvi sənaye və xidmət sektorları artıq texnoloji innovasiyalara uyğunlaşmalı, işçilərin bacarıqlarını davamlı olaraq yeniləməsini təmin etməlidirlər. Rəqəmsal dövr əmək bazarında çeviklik, analitik düşüncə, texniki səriştə, problem həll etmə və ömürboyu təhsil kimi yeni tələbləri ön plana çıxarır.

Rəqəmsal texnologiyalar əmək bazarında yalnız peşələrin dəyişməsinə səbəb olmur, həm də yeni iş imkanlarının yaradılmasını stimullaşdırır. Süni intellekt (AI), robot texnologiyaları, bulud əsaslı xidmətlər, data analitika və kibertəhlükəsizlik sahələri bu dəyişikliklərin ən aydın nümunələridir. Məsələn, proqram təminatı inkişaf etdirən şirkətlər, böyük verilənlər analitikləri və kibertəhlükəsizlik mütəxəssisləri yüksək tələb görür, bu isə işçi qüvvəsinin bacarıqlarının daim təkmilləşdirilməsini zəruri edir. Belə bir dəyişiklik yalnız fərdi işçi səviyyəsində deyil, həm də korporativ strukturlar və işəgötürənlər üçün strateji önəm daşıyır. İşçilərin yenilikçi və texnoloji bacarıqlara malik olmaması müəssisələrin rəqabət qabiliyyətini zəiflədə bilər.

Rəqəmsallaşma əmək bazarının qloballaşmasına və sərhədsiz iş imkanlarının yaranmasına da şərait yaradır. Uzaq iş rejimləri, frilans fəaliyyəti və platforma əsaslı məşğulluq modelləri işçilərə elastik iş saatları və fərdi adaptasiya imkanı təqdim edir. Bu isə işçi məhsuldarlığını artırmaqla yanaşı, innovasiya və rəqabət qabiliyyətini də gücləndirir. Məsələn, qlobal freelans platformaları vasitəsilə proqramçılar, dizaynerlər və tərcüməçilər dünyanın istənilən nöqtəsindən layihələrdə iştirak edə bilirlər, bu isə həm işçilər üçün, həm də işəgötürənlər üçün yeni imkanlar yaradır[5].

Lakin rəqəmsal transformasiya həm də yeni sosial və institusional çağırışları ortaya qoyur. Qeyri-sabit məşğulluq, iş saatlarının qeyri-müəyyənliyi, sosial təminatın zəifliyi və əmək hüquqlarının qorunmaması kimi məsələlər gündəmə gəlir. Uzaq iş və platforma əsaslı iş formaları ənənəvi əmək qanunvericiliyi ilə tam uyğun gəlmir, bu isə işçilərin sosial müdafiəsinin zəifləməsinə və iqtisadi qeyri-sabitliyə gətirib çıxara bilər. Bu səbəbdən dövlət siyasətləri, biznes strategiyaları və tənzimləyici orqanlar əmək bazarını yeni reallıqlara uyğunlaşdırmaq üçün çevik və strateji tədbirlər görməlidirlər.

Rəqəmsal transformasiya əmək bazarında sosial bərabərliyi və inklüzivliyi də təsir edir. Texnologiyaya çıxışın məhdud olduğu regionlarda və ya sosial qruplarda iş imkanlarının az olması iqtisadi bərabərsizliyi dərinləşdirə bilər. Bu səbəbdən rəqəmsal bacarıqların bərabər paylanması, inklüziv təhsil proqramları, qadınların, gənclərin və az təmsil olunan qrupların əmək bazarına cəlb olunması önəmli strategiya kimi ortaya çıxır.

Bundan əlavə, rəqəmsal transformasiya əmək bazarında əmək məhsuldarlığının, iş keyfiyyətinin və iqtisadi səmərəliliyin artırılmasına şərait yaradır. Avtomatlaşdırılmış proseslər və süni intellektin tətbiqi monoton və təkrarlanan işlərin sayını azaldır, insan resurslarını daha strateji və yaradıcı işlərə yönəldir. Bu isə yalnız fərdi işçi səviyyəsində deyil, həm də makroiqtisadi baxımdan məhsuldarlığın yüksəlməsinə, iqtisadi artımın sürətlənməsinə və dayanıqlı inkişafın təmin olunmasına xidmət edir.

Nəticədə, rəqəmsal transformasiya əmək bazarını həm imkanlar, həm də risklər baxımından yenidən formalaşdırır. Əmək bazarının çevik, dayanıqlı və inklüziv strukturlara uyğunlaşması yalnız texnoloji inkişafdan asılı deyil, həm də sosial müdafiə, təhsil siyasətləri, institusional dəstək mexanizmləri və

dövlətin strateji müdaxiləsi ilə mümkün olur. Bu transformasiya həm dövlət, həm biznes, həm də işçi tərəfi üçün uzunmüddətli planlaşdırma və davamlı inkişaf yanaşmalarını zəruri edir[6].

2. ƏMƏK BAZARININ TRANSFORMASİYASI VƏ DAVAMLI İQTİSADİ İNKİŞAFI

Davamlı iqtisadi inkişaf yalnız iqtisadi artımı deyil, həm də sosial rifahı, inklüzivliyi və ekoloji dayanıqlılığı nəzərdə tutan çoxölçülü bir konsepsiyadır. Bu kontekstdə əmək bazarının çevik, inklüziv və dayanıqlı struktura malik olması, insan kapitalının inkişafı və bacarıqların müasirləşdirilməsi iqtisadiyyatın sabit və dayanıqlı inkişafı üçün əsas şərtlərdən biridir.

Son illərdə Azərbaycan əmək bazarında ciddi dəyişikliklər müşahidə olunur. Dövlət Statistika Komitəsinin məlumatına görə, 2024-cü ildə ölkədə işçi qüvvəsinin sayı təxminən 5,02 milyon nəfər olmuşdur ki, bu da əvvəlki illərlə müqayisədə artım tendensiyasını göstərir. Eyni zamanda, işsizlik səviyyəsi 6,1% səviyyəsində qeydə alınmışdır ki, bu da əmək bazarının sağlamlaşdığını və yeni iş yerlərinin yaradıldığını əks etdirir. Gənc nəsil arasında əmək bazarına iştirak səviyyəsi isə təxminən 40,8% olmuşdur ki, bu rəqəm rəqəmsal bacarıqlara malik işçi qüvvəsinin artmasını və gənclərin iqtisadi fəaliyyətə cəlb olunmasını göstərir.

Rəqəmsal transformasiya əmək bazarının strukturunda keyfiyyət dəyişikliklərinə də səbəb olmuşdur. Süni intellekt, robot texnologiyaları, bulud əsaslı xidmətlər və data analitika kimi sahələrdə işçilərə olan tələbat sürətlə artır. Məsələn, Azərbaycanda İKT sektorunda iş müqavilələrinin sayı 2020-ci ildən etibarən artaraq 34 000-ə çatmışdır**,** bu da rəqəmsal iqtisadiyyatın məşğulluq imkanlarını gücləndirir. Bu sahədə fəaliyyət göstərən işçilər yalnız texniki bacarıqlara deyil, həm də analitik düşüncə, problem həll etmə və yaradıcı yanaşma qabiliyyətlərinə malik olmalıdırlar[7].

Əmək bazarının transformasiyası eyni zamanda yeni iş modellərinin və çevik məşğulluğun genişlənməsinə səbəb olmuşdur. Platforma əsaslı işlər, frilans fəaliyyəti və uzaq (remote) iş rejimləri işçilərə elastik iş saatları və lokasiyadan asılı olmayan əmək imkanları təqdim edir. Bu, əmək məhsuldarlığını artırmaqla yanaşı, iqtisadiyyatın rəqabət qabiliyyətini və innovasiya potensialını gücləndirir. Statistik göstəricilər göstərir ki, Azərbaycanda qadınların əmək bazarındakı iştirakı 2024-cü ildə 39,5% olmuş, gənclərin məşğulluq səviyyəsi isə 41%-ə çatmışdır. Bu göstəricilər əmək bazarında gender və yaş üzrə inklüzivliyin artdığını təsdiqləyir.

İşçi qüvvəsinin peşə hazırlığı və ömürboyu təhsil imkanlarının genişləndirilməsi, əmək bazarının çevikliyini artıran mühüm strategiyalardan biridir. Azərbaycan hökumətinin təşəbbüsləri ilə Peşə Təhsil Mərkəzləri və İKT üzrə təlim proqramları fəaliyyət göstərir. 2023-cü ildə bu proqramlarda iştirak edənlərin sayı 20% artmışdır, bu da işçi qüvvəsinin rəqabət qabiliyyətinin yüksəlməsini və əmək bazarına uyğunlaşmasını göstərir.

Əlavə olaraq, əmək bazarının transformasiyası iqtisadi artımı stimullaşdırır və investisiya axınlarını artırır. Rəqəmsal biznesin və startap sektorunun genişlənməsi yeni iş yerləri yaradır, gənc nəsil və qadınların əmək bazarına cəlb olunmasını təmin edir. Bu, inklüziv iqtisadi inkişafın əsas komponentidir, çünki müxtəlif sosial qrupların iş imkanlarına çıxışı genişlənir və iqtisadi bərabərlik artır.

Nəticə etibarilə, əmək bazarının transformasiyası Azərbaycan iqtisadiyyatı üçün yalnız texnoloji dəyişiklikləri deyil, həm də davamlı inkişafı təmin edən strateji amilləri ifadə edir. İnsan kapitalının inkişafı, texnoloji və rəqəmsal bacarıqların artırılması, yeni iş sahələrinin yaradılması və sosial inklüzivliyin gücləndirilməsi əmək bazarını daha çevik, dayanıqlı və rəqabət qabiliyyətli edir. Bu isə ölkənin davamlı iqtisadi inkişaf strategiyasının həyata keçirilməsi üçün vacib bir təməl təşkil edir[8].

Cədvəl 1. *Azərbaycanda əmək bazarının əsas göstəriciləri*

İllər	İşçi qüvvəsi (min nəfər)	İşsizlik səviyyəsi(%)	Gənclərin əmək bazarında iştirakı (%)	Qadınların əmək bazarında iştirakı (%)	İKT sektorunda iş yerləri (min nəfər)
2020	4900	6.9	39.0	37.0	22
2021	4950	6.5	39.5	37.5	28
2022	4980	6.3	40.0	38.0	30
2023	5010	6.2	40.5	39.0	32
2024	5020	6.1	40.8	39.5	34

Mənbə: *Azərbaycanın Statistik Göstəriciləri. Bakı – 2023, 725 s.*

3. ƏMƏK BAZARININ DAVAMLI İNKİŞAF PRİNSİPLƏRİ

Rəqəmsal transformasiya şəraitində əmək bazarının davamlı inkişaf prinsipləri ilə uyğunlaşdırılması müasir iqtisadi siyasətin əsas prioritet istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir. Bu proses yalnız texnoloji yenilənmə ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda institusional dəyişikliklər, sosial müdafiə mexanizmlərinin yenidən qurulması və insan kapitalının inkişafı ilə sıx bağlıdır. Qlobal qiymətləndirmələr göstərir ki, rəqəmsallaşmanın təsiri ilə yaxın onillikdə mövcud peşələrin təxminən 40%-ə qədəri transformasiyaya məruz qalacaq**,** bu isə əmək bazarında çevik və adaptiv strategiyaların tətbiqini zəruri edir.

İlk olaraq, təhsil və peşə hazırlığı sisteminin yenidən qurulması davamlı inkişafın əsas dayaqlarından biridir. Müasir statistik göstəricilərə əsasən, yüksək rəqəmsal bacarıqlara malik işçilərin məhsuldarlığı ənənəvi bacarıqlarla çalışan işçilərlə müqayisədə 1.5–2 dəfə daha yüksəkdir**.** Bununla yanaşı, işəgötürənlərin təxminən 75%-i ixtisaslı kadr çatışmazlığını biznes inkişafının qarşısında əsas maneə kimi qiymətləndirir. Bu baxımdan, təhsil sistemində yalnız texniki biliklərin deyil, həm də analitik düşüncə, problem həlli və yaradıcılıq kimi kompetensiyaların inkişafına xüsusi diqqət yetirilməlidir. Ömürboyu təhsil mexanizmlərinin tətbiqi nəticəsində işçi qüvvəsinin adaptasiya qabiliyyəti artır və struktur işsizliyin səviyyəsi 20–25% azala bilir**.**

Bununla yanaşı, rəqəmsal təhsil platformalarının inkişafı qlobal miqyasda təhsilə çıxışı əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirmişdir. Məsələn, onlayn təhsil bazarının həcmi son illərdə sürətlə artaraq illik orta hesabla 15–20% böyümə tempi nümayiş etdirir. Bu isə əmək bazarında yeni bacarıqların əldə edilməsini daha əlçatan edir və regional bərabərsizliyin azalmasına töhfə verir[9].

Sosial müdafiə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində xüsusi aktuallıq kəsb edir. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, qeyri-ənənəvi məşğulluq formalarında çalışan işçilərin payı artıq bəzi ölkələrdə 30%-ə yaxınlaşır**.** Bununla belə, bu işçilərin böyük hissəsi sosial sığorta və pensiya sistemlərindən kənarda qalır. Bu vəziyyət sosial risklərin artmasına və gəlir qeyri-bərabərliyinin dərinləşməsinə səbəb olur. Bu baxımdan, fərdi sosial sığorta hesablarının yaradılması, portativ sosial təminat modellərinin tətbiqi və minimum sosial təminat standartlarının müəyyən edilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Araşdırmalar göstərir ki, effektiv sosial müdafiə sistemlərinin tətbiqi yoxsulluq səviyyəsini 10–15% azalda bilər**.**

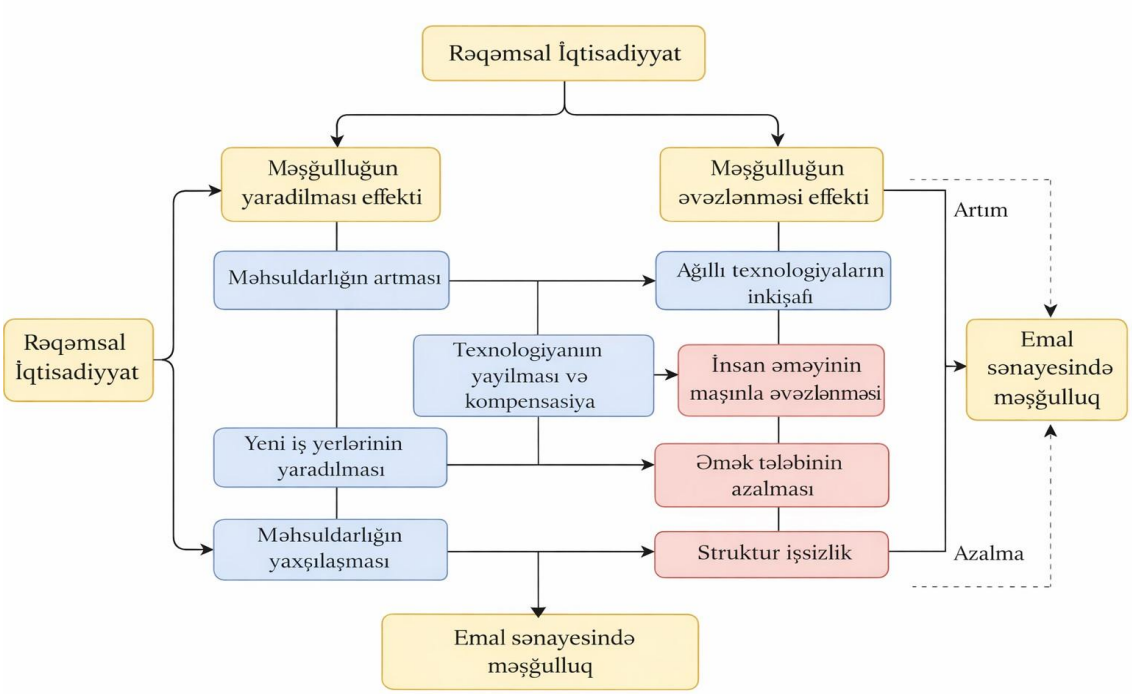
İnnovasiya və texnoloji adaptasiya isə əmək bazarının davamlı inkişafında əsas transformasiyaedici qüvvə kimi çıxış edir. Rəqəmsal texnologiyaların geniş tətbiqi nəticəsində müəssisələrdə əməyin məhsuldarlığı orta hesabla 25–35% artır**,** əməliyyat xərcləri isə 20%-ə qədər azalır. Eyni zamanda, avtomatlaşdırma nəticəsində bəzi aşağı ixtisaslı iş yerlərinin azalmasına baxmayaraq, yüksək ixtisas tələb edən sahələrdə məşğulluq artımı müşahidə olunur. Bu isə əmək bazarında struktur dəyişikliklərin dərinləşdiyini göstərir.

Ətraf mühit aspektindən yanaşdıqda, rəqəmsal iş modellərinin tətbiqi mühüm ekoloji üstünlüklər yaradır. Statistik göstəricilər göstərir ki, uzaqdan iş modelinin geniş tətbiqi nəticəsində işgüzar səfərlərin həcmi 20–30% azalır, bu isə karbon emissiyalarının əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına gətirib çıxarır. Eyni zamanda, kağız istifadəsinin azalması nəticəsində ofis xərcləri 60–70% azalmaqla yanaşı, təbii resursların qorunmasına da müsbət təsir göstərir.

İnklüzivlik və gender bərabərliyi davamlı əmək bazarının sosial əsasını təşkil edir. Beynəlxalq qiymətləndirmələr göstərir ki, gender bərabərliyinin təmin olunması iqtisadi artımı əhəmiyyətli dərəcədə sürətləndirir və qlobal ÜDM-ə 12 trilyon ABŞ dollarına qədər əlavə töhfə verə bilər. Bununla yanaşı, gənclər arasında işsizlik səviyyəsinin yüksək olması (bəzən ümumi göstəricidən 2–3 dəfə artıq) onların əmək bazarına inteqrasiyasını prioritet məsələyə çevirir. İnklüziv siyasətlərin tətbiqi, o cümlədən qadınların və həssas qrupların məşğulluq imkanlarının genişləndirilməsi sosial sabitliyi və iqtisadi davamlılığı gücləndirir.

Eyni zamanda, regional və sektoral fərqlərin azaldılması da davamlı inkişaf strategiyalarının mühüm komponentidir. Rəqəmsal texnologiyalar regionlararası iqtisadi fərqlərin azaldılmasına imkan yaradır. Məsələn, rəqəmsal platformalar vasitəsilə ucqar ərazilərdə yaşayan insanların əmək bazarına çıxışı genişlənir və bu, regional məşğulluğun artmasına səbəb olur[10].

Nəticə etibarilə, rəqəmsal dövrdə əmək bazarının davamlı inkişafı yalnız texnoloji yeniliklərin tətbiqi ilə deyil, həm də insan kapitalına investisiya, sosial müdafiə sistemlərinin gücləndirilməsi və inklüziv siyasətlərin həyata keçirilməsi ilə mümkündür. Statistik göstəricilər açıq şəkildə nümayiş etdirir ki, kompleks və balanslaşdırılmış strategiyalar əmək bazarının dayanıqlığını artırır, iqtisadi artımı sürətləndirir və sosial rifahın yüksəldilməsinə şərait yaradır. Bu yanaşma uzunmüddətli perspektivdə həm milli, həm də qlobal səviyyədə davamlı inkişafın təmin olunmasının əsas şərti kimi çıxış edir.



Şəkil 1. Rəqəmsal iqtisadiyyatın məşğulluğa təsir mexanizmi

Şəkildə rəqəmsal iqtisadiyyatın əmək bazarına təsirini iki əsas istiqamətdə təqdim edilir: məşğulluğun yaradılması effekti və məşğulluğun əvəzlənməsi effekti.

Məşğulluğun yaradılması effekti çərçivəsində rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi nəticəsində məhsuldarlığın artması, texnologiyanın yayılması və kompensasiya mexanizmlərinin formalaşması baş verir. Bu proseslər yeni iş yerlərinin yaranmasına, əmək tələbinin artmasına və ümumilikdə iqtisadi aktivliyin genişlənməsinə səbəb olur. Nəticədə əmək bazarında müsbət dinamika müşahidə olunur.

Digər tərəfdən, məşğulluğun əvəzlənməsi effekti ağıllı texnologiyaların inkişafı və avtomatlaşdırma proseslərinin genişlənməsi ilə bağlıdır. Bu istiqamətdə insan əməyinin maşınlarla əvəz olunması, bəzi sahələrdə əmək tələbinin azalması və struktur işsizliyin yaranması müşahidə edilir. Xüsusilə aşağı ixtisas tələb edən iş yerləri bu prosesdən daha çox təsirlənir.

Şəkildə göstərildiyi kimi, hər iki effekt paralel şəkildə fəaliyyət göstərir və onların qarşılıqlı təsiri nəticəsində emal sənayesində və ümumilikdə iqtisadiyyatda məşğulluq səviyyəsi ya artım, ya da azalma istiqamətində dəyişə bilir. Bu isə rəqəmsal transformasiyanın əmək bazarına təsirinin birmənalı olmadığını, balanslaşdırılmış və düzgün idarə olunmasının vacibliyini göstərir[11].

Nəticə və təkliflər:

Müasir dövrdə rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı əmək bazarında köklü transformasiyalara səbəb olmuşdur. Aparılan təhlillər göstərir ki, rəqəmsallaşma prosesi yalnız iqtisadi fəaliyyətin strukturunu dəyişdirməklə kifayətlənmir, eyni zamanda məşğulluq münasibətlərinin xarakterini, əmək tələbinin istiqamətlərini və işçi qüvvəsinin keyfiyyət göstəricilərini də yenidən formalaşdırır. Bu proses nəticəsində həm yeni imkanlar yaranır, həm də müəyyən risklər meydana çıxır.

Rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində məşğulluğun yaradılması və əvəzlənməsi effektləri paralel şəkildə fəaliyyət göstərir: texnoloji yeniliklər yeni iş yerləri yaradır və əmək məhsuldarlığını artırır, eyni zamanda bəzi ənənəvi peşələr azalır və struktur işsizlik riski yaranır. Rəqəmsallaşma həmçinin uzaqdan və hibrid iş modellərinin formalaşmasına səbəb olaraq əmək münasibətlərini çevik və dinamik etmiş, amma sosial müdafiə və əmək hüquqları məsələlərini daha aktual etmişdir.

Davamlı inkişaf baxımından insan kapitalının keyfiyyəti həlledici rol oynayır. Rəqəmsal bacarıqlara malik işçi qüvvəsinə olan tələbin artması təhsil sisteminin modernləşdirilməsini, ömürboyu təhsil yanaşmasının tətbiqini və sosial inklüzivliyin təmin olunmasını tələb edir. Nəticə etibarilə, rəqəmsal transformasiya əmək bazarının inkişafında strateji əhəmiyyət kəsb edir və düzgün idarə olunduqda həm iqtisadi artımı, həm sosial rifahı, həm də ekoloji tarazlığı dəstəkləyən davamlı inkişaf modelini formalaşdırır[12,13].

Əldə olunan nəticələr əsasında rəqəmsal dövrdə əmək bazarının davamlı inkişafını təmin etmək üçün bir sıra məqsədyönlü və kompleks tədbirlər tövsiyə olunur.

1. Təhsil və insan kapitalının inkişafı prioritet istiqamət olmalıdır. Təhsil proqramları əmək bazarının rəqəmsal tələblərinə uyğunlaşdırılmalı, xüsusilə proqramlaşdırma, data analitikası, süni intellekt və digər texnoloji bacarıqların öyrədilməsi genişləndirilməlidir. Ömürboyu təhsil konsepsiyasının tətbiqi işçi qüvvəsinin dəyişən iqtisadi şəraitə uyğunlaşmasını təmin edəcək və onların rəqəmsal bacarıqlarını davamlı şəkildə inkişaf etdirməyə imkan yaradacaqdır.
2. Sosial müdafiə sistemlərinin modernləşdirilməsi zəruridir. Qeyri-ənənəvi məşğulluq formalarının – frilans və platforma əsaslı işlərin – genişlənməsi şəraitində işçilər üçün yeni sosial təminat mexanizmləri yaradılmalı, əmək hüquqları qorunmalı və sosial ədalətin təmin olunması üçün adekvat mexanizmlər formalaşdırılmalıdır.
3. İnnovasiya və texnoloji inkişafın təşviqi əmək bazarının rəqabət qabiliyyətini artırmaq baxımından mühüm rol oynayır. Rəqəmsal infrastrukturun gücləndirilməsi, startap ekosisteminin dəstəklənməsi və elmi-tədqiqat fəaliyyətlərinin maliyyələşdirilməsinin artırılması iqtisadiyyatın modernləşməsinə və yeni iş yerlərinin yaranmasına təkan verəcəkdir.
4. Əmək bazarında inklüzivliyin təmin olunması sosial sabitliyin və davamlı inkişafın tərkib hissəsi kimi qiymətləndirilməlidir. Qadınların, gənclərin və digər həssas qrupların məşğulluq imkanlarının genişləndirilməsi, regionlararası əmək bazarı fərqlərinin azaldılması və rəqəmsal imkanların bərabər paylanması bu istiqamətdə əsas addımlar hesab olunur.
5. Rəqəmsal transformasiyanın əmək bazarına gətirdiyi risklərin idarə olunması vacibdir. İşçi və işəgötürən arasında yeni əmək modellərinin tənzimlənməsi, çevik əmək münasibətlərinin təşviqi və struktur işsizliyin qarşısının alınması üçün strateji yanaşmalar hazırlanmalıdır [14].

Beləliklə, təklif olunan tədbirlər rəqəmsal dövrdə əmək bazarının həm iqtisadi, həm sosial, həm də ekoloji baxımdan davamlı inkişafını təmin edən kompleks modelin formalaşdırılmasına xidmət edir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Azərbaycanın Statistik Göstəriciləri. Bakı – 2024, 695 s.
2. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2021-ci il 2 fevral tarixli Sərəncamı: Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər
3. Azərbaycan Respublikasının 2022-2026-cı illərdə sosial-iqtisadi inkişaf Strategiyası. AR Prezidentinin Sərəncamı// Bakı, 22 iyul 2022.
4. Azərbaycan Respublikasında sosial xidmətin inkişafına dair 2023-2026-cı illər üçün Dövlət Proqramı.AR Prezidentinin Sərəncamı// Bakı, 28 avqust 2023.
A. Hashimova (2023) "Personnel work process usıng dıgıtal economy applıcatıon programs" AGORA International Journal of Economical Sciences, Vol 17, №2 page: 78-86
B. Hashimova (2022), "Analysis of electronics sector in Azerbaijan" Journal of Baku Engineering University, Volume 6. İssue 2
5. Məmmədov, T., & Quliyev, S. (2022). "Rəqəmsal transformasiyanın biznes strategiyasına təsiri." İqtisadiyyat və Biznes Jurnalı, 19(2), 44–63.
6. Rahmanov, F.P.Sosial Sfera ve Sosial Siyasət. Dərs Vəsaiti, "MSV NƏŞR",səh-436 Bakı-2021
7. Rəhmanov. F.P, Süleymanov.E.B. "Azərbaycan iqtisadiyyatı: makroiqtisadi analiz" səh:404, Bakı-2021
8. Rahmonov F.P. (A.C.Hashimova, R. Salahov) "Management of digitisation processes in the field of social services". Marketing and Management of Innovations. – ISSN 2218-4511 (print) ISSN 2227-6718 (online) Ukraine– 2023 – Vol 14. (№2) – Səh.173-184
9. Qasımlı, M. Talibova, G. Quliyeva, A. Museyibov, F. Mirzəyev, A. Qədəşov, G. Əhmədova (2023) "Rəqəmsal iqtisadiyyat". Bakı, "Azprint" nəşriyyatı,262 s.
10. https://president.az/
11. https://www.economy.gov.az/az
12. https://maliyye.gov.az/

URBANİZASİYA VƏ DAVAMLI İQTİSADİ İNKİŞAF: DAŞINMAZ ƏMLAKIN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ ASPEKTLƏRİ

ƏLİYEVA LEYLA FUAD QIZI
Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti
İnşaat fakulltəsi
leyla.aliyeva2@azmiu.edu.az
AZƏRBAYCAN, BAKI

Xülasə: Məqalədə urbanizasiya proseslərinin davamlı iqtisadi inkişaf kontekstində rolu və bu proseslərin daşınmaz əmlak bazarına təsiri iqtisadi yanaşma baxımından təhlil edilir. Şəhərləşmənin sürətlənməsi istehsal və xidmət sahələrinin genişlənməsinə, əmək bazarının aktivləşməsinə və investisiya axınlarının artmasına səbəb olaraq ümumi iqtisadi artımı stimullaşdırır. Bu proseslər daşınmaz əmlaka olan tələbi artırır, kapitalın bu sahəyə yönəlməsini gücləndirir və bazar qiymətlərinin formalaşmasında mühüm rol oynayır. Eyni zamanda, urbanizasiya şəraitində daşınmaz əmlak bazarı iqtisadi sistemin vacib seqmentlərindən biri kimi çıxış edir və makroiqtisadi göstəricilərlə sıx əlaqədə inkişaf edir. Qiymət səviyyəsi, inflyasiya, faiz dərəcələri və gəlir səviyyəsi kimi amillər daşınmaz əmlakın dəyərinə birbaşa təsir göstərir. Bu baxımdan, qiymətləndirmə metodlarının təkmilləşdirilməsi bazar şəraitinin daha düzgün əks etdirilməsi və iqtisadi qərarların səmərəliliyinin artırılması baxımından əhəmiyyətlidir.
Bununla yanaşı, ekoloji və sosial faktorların nəzərə alınması davamlı iqtisadi inkişafın təmin olunmasına xidmət edir və uzunmüddətli perspektivdə daşınmaz əmlakın dəyərinin sabitliyini gücləndirir. Nəticə etibarilə, urbanizasiya və iqtisadi inkişaf qarşılıqlı şəkildə bir-birini şərtləndirir və bu əlaqə daşınmaz əmlakın qiymətləndirilməsi yanaşmalarında yeni iqtisadi modellərin tətbiqini zəruri edir.
Açar sözlər: Urbanizasiya, davamlı inkişaf, daşınmaz əmlak, qiymətləndirmə, şəhər iqtisadiyyatı, yaşıl iqtisadiyyat

GİRİŞ

Müasir dövrdə urbanizasiya iqtisadi inkişafın əsas hərəkətverici qüvvələrindən biri kimi çıxış edir. Şəhər əhalisinin sürətli artımı, infrastrukturun genişlənməsi, sənaye və xidmət sektorlarının mərkəzləşməsi, eləcə də kapital və texnologiyanın konsentrasiyası şəhərləri iqtisadi fəaliyyətin və innovasiyanın əsas mərkəzlərinə çevirir. Bu proses, öz növbəsində, daşınmaz əmlak bazarının dinamik inkişafına səbəb olur, tələbi artırır və yeni investisiya imkanları yaradır.
Urbanizasiya yalnız iqtisadi artımı stimullaşdırmaqla kifayətlənmir; o, həm də sosial və ekoloji aspektləri gündəmə gətirir. Şəhərlərdə resursların səmərəli istifadəsi, enerji effektivliyi, ekoloji tarazlığın qorunması və ictimai xidmətlərin əlçatanlığı kimi məsələlər urbanizasiya ilə bağlı strateji planlaşdırmanın əsas prioritetlərinə çevrilir. Beləliklə, urbanizasiya yalnız bazar həcmini artıran amil deyil, həm də şəhər mühitinin davamlı və dayanıqlı inkişafını təmin edən mühüm sosial-iqtisadi prosesdir.
Davamlı inkişaf prinsipləri şəhər planlaşdırması və iqtisadi siyasətin əsas istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir. Bu yanaşma, təkcə əhali və iqtisadi fəaliyyətin mərkəzləşməsini idarə etməklə kifayətlənmir, həm də ekoloji riskləri, sosial bərabərsizliyi və infrastruktur problemlərini minimuma endirməyə yönəlir. Bunun nəticəsi olaraq urbanizasiya yalnız iqtisadi göstəriciləri yüksəltmək üçün bir vasitə deyil, həm də şəhərin sosial rifahını və yaşayış keyfiyyətini artıran bir strategiyadır.
Bununla yanaşı, urbanizasiya və davamlı inkişaf prinsiplərinin daşınmaz əmlak bazarına inteqrasiyası yeni qiymətləndirmə yanaşmalarını tələb edir. Ənənəvi qiymətləndirmə metodları — müqayisəli, gəlir və xərc yanaşmaları — hələ də aktualdır, lakin onlar artıq yalnız bazar göstəricilərinə əsaslanmamalıdır. Müasir qiymətləndirmə modeli, həmçinin ekoloji, sosial və texnoloji indikatorları, eləcə də ESG (Ekoloji, Sosial və İdarəetmə) yanaşmasını əhatə etməli, daşınmaz əmlakın uzunmüddətli dəyərini, bazar risklərini və investor maraqlarını düzgün əks etdirməlidir.
Beləliklə, urbanizasiya və davamlı iqtisadi inkişaf prinsipləri daşınmaz əmlak qiymətləndirməsini yalnız iqtisadi baxımdan deyil, həm də ekoloji və sosial baxımdan əhatəli, çoxmeyarlı bir prosesə çevirir. Bu yanaşma həm akademik tədqiqatlarda, həm də praktik bazar təcrübəsində yeni perspektivlər açır və konfrans iştirakçıları üçün müasir iqtisadiyyatın aktual məsələlərini ortaya qoyur[2].

Urbanizasiya yalnız iqtisadi artımı stimullaşdırmaqla kifayətlənmir, eyni zamanda resursların səmərəli istifadəsi, ekoloji tarazlığın qorunması və sosial rifahın artırılması kimi məsələləri də gündəmə gətirir. Bu baxımdan, daşınmaz əmlakın qiymətləndirilməsi prosesində yeni yanaşmaların tətbiqi zəruri olur.

Urbanizasiya iqtisadi inkişafın struktur dəyişiklikləri ilə sıx bağlı olan kompleks sosial-iqtisadi prosesdir. Müasir iqtisadiyyatda şəhərlər yalnız əhali toplanma məkanı deyil, eyni zamanda istehsal, innovasiya və kapitalın cəmləşdiyi əsas mərkəzlər kimi çıxış edir. Şəhərlərdə sənaye, xidmət sektoru və texnoloji startaplar kimi müxtəlif iqtisadi fəaliyyətlərin mərkəzləşməsi məhsuldarlığın artmasına, əmək bazarında ixtisaslaşmanın dərinləşməsinə və investisiya axınının sürətlənməsinə şərait yaradır.

Urbanizasiya həmçinin iqtisadi strukturları dəyişdirərək şəhər iqtisadiyyatını milli iqtisadiyyatın mühüm hissəsinə çevirir. Xüsusilə inkişaf etməkdə olan ölkələrdə urbanizasiya prosesi sənayeləşmə və xidmət sektorunun inkişafı ilə paralel gedir, bu isə iqtisadi artımı stimullaşdıran amillərdən biridir. Bu proses nəticəsində yeni iş yerləri yaranır, əmək bazarında rəqabət və peşəkar ixtisaslaşma yüksəlir, bununla da verimlilik artımı baş verir.

Eyni zamanda urbanizasiya daşınmaz əmlak bazarına birbaşa təsir göstərir. Şəhərlərə miqrasiya nəticəsində yaşayış və kommersiya sahələrinə olan tələbin artması qiymətlərin yüksəlməsinə səbəb olur, bu isə öz növbəsində investisiya imkanlarını genişləndirir. Artan tələbin nəticəsi kimi yeni layihələr, yaşayış kompleksləri və kommersiya obyektləri inşa edilir. Lakin tələbin yüksək olması eyni zamanda sosial bərabərsizliyin artmasına və bəzi qruplar üçün yaşayış imkanlarının məhdudlaşmasına gətirib çıxara bilər[3,4].

Urbanizasiyanın mənfi tərəfləri də mövcuddur. Qeyri-planlı şəhərləşmə aşağıdakı problemləri yaradır:

- Nəqliyyat sıxlığı və infrastruktur çatışmazlığı: Artan əhali və avtomobil sayı şəhər yollarının tıxanmasına, ictimai nəqliyyat sistemlərinin yüklənməsinə və infrastruktur xərclərinin artmasına səbəb olur.
- Ekoloji çirklənmə və resursların həddindən artıq istifadəsi: Qeyri-planlı tikinti və sənaye fəaliyyəti nəticəsində hava, su və torpaq çirklənir, təbii resurslardan səmərəli istifadə zəifləyir.
- Qeyri-formal yaşayış məntəqələrinin artması: Planlaşdırılmamış şəhər genişlənməsi nəticəsində qeyri-formal yaşayış zonaları yaranır ki, bunlarda sosial xidmətlər və infrastruktur kifayət qədər mövcud olmur.

Bununla belə, urbanizasiya yalnız problemlərlə əlaqələndirilə bilməz. Müasir iqtisadiyyat üçün o, həm də innovasiya və sosial transformasiya mənbəyidir. Şəhərləşmə yeni iqtisadi fəaliyyət növlərinin inkişafına, texnologiyaların tətbiqinə, startap ekosisteminin formalaşmasına və kreativ sənaye sahələrinin yaranmasına imkan yaradır.

Bu baxımdan urbanizasiya proseslərinin idarə olunması üçün dövlət siyasətində balanslı və davamlı yanaşmaların tətbiqi vacibdir. Davamlı şəhər planlaşdırması, infrastrukturun optimal idarə olunması, ekoloji standartların tətbiqi və sosial inklüzivlik siyasəti urbanizasiya proseslərinin iqtisadi səmərəliliyini artırır və sosial riskləri azaldır. Bunun nəticəsində şəhərlər həm iqtisadi baxımdan güclənir, həm də yaşayış keyfiyyəti və sosial rifah səviyyəsi yüksəlir [5].

1.DAVAMLI İQTİSADİ İNKIŞAF VƏ İNNOVATİV DAŞINMAZ ƏMLAKIN QİYMƏTLƏNDİRMƏSİ

Davamlı şəhər inkişafı konsepsiyası iqtisadi səmərəlilik, sosial inklüzivlik və ekoloji tarazlıq prinsiplərinə əsaslanır. Bu yanaşma şəhərlərin uzunmüddətli perspektivdə dayanıqlı inkişafını təmin etməyi hədəfləyir. Şəhərsalma strategiyaları yalnız əhalinin artımını idarə etməklə kifayətlənmir, həm də enerji sərfiyyatının optimallaşdırılması, təbii resursların qorunması və sosial xidmətlərin bərabər paylanması kimi aspektləri əhatə edir.

Son illərdə “yaşıl iqtisadiyyat” və “yaşıl tikinti” anlayışları daşınmaz əmlak bazarında əsas trendlərdən birinə çevrilmişdir. Enerji səmərəli binalar, alternativ enerji mənbələrindən istifadə, ekoloji standartlara uyğun tikinti layihələri və binaların davamlı dizayn prinsiplərinə riayət bazarda daha yüksək dəyər qazanır. Bu yanaşma həmçinin daşınmaz əmlak investisiyalarının riskini azaldır, çünki yaşıl və davamlı layihələr uzunmüddətli perspektivdə enerji və texniki xidmət xərclərini minimuma endirir.

Araşdırmalar göstərir ki, yaşıl sertifikatlı binalar (LEED, BREEAM, DGNB və s.) ənənəvi binalarla müqayisədə bir sıra üstünlüklərə malikdir:

- Daha yüksək satış qiymətinə malik olur: Bazarda rəqabət üstünlüyü təmin edir və investorların marağını artırır.

- Daha aşağı istismar xərcləri yaradır: Enerji, su və texniki xidmət xərcləri azaldığı üçün sahiblər uzunmüddətli maliyyə səmərəliliyi əldə edir.
- Investorlar üçün daha cəlbedici olur: ESG (ekoloji, sosial və idarəetmə) göstəricilərinə uyğun layihələr kapital cəlb etməkdə və maliyyə bazarlarında etibarlılığı artırmaqda mühüm rol oynayır.

Bununla yanaşı, davamlı şəhər inkişafı yalnız binaların ekologiyası ilə məhdudlaşmır. Sosial infrastruktur – məktəblər, xəstəxanalar, parklar, ictimai mərkəzlər – və şəhər planlaşdırılması daşınmaz əmlakın dəyərinə birbaşa təsir göstərir. Yaxşı planlaşdırılmış sosial infrastruktur əhalinin yaşam keyfiyyətini artırır, bu isə bazarda tələbi və qiymətləri yüksəldir. Şəhər planlaşdırılması isə nəqliyyat axınını, yaşıl zonaları və ictimai xidmətlərin əlçatanlığını təmin edərək həm yaşayış, həm də kommersiya obyektlərinin dəyərini artırır [6,7].

Davamlı şəhər inkişafının iqtisadi faydaları həmçinin investisiya riskinin azaldılması, bazar sabitliyinin təmin olunması və əmlakın uzunmüddətli dəyərinin qorunması ilə ölçülür. Şəhərsalma və infrastruktur layihələrinin planlı və ekoloji uyğun şəkildə icrası nəticəsində daşınmaz əmlak bazarında qiymət dəyişkənliyi azalır və investorlar üçün proqnozlaşdırıla bilən gəlir imkanları yaranır.

Bundan əlavə, beynəlxalq təcrübələr göstərir ki, davamlı şəhər inkişafı şəhər iqtisadiyyatının innovasiya və texnoloji modernizasiya yönümlü olmasını da stimullaşdırır. "Smart city" texnologiyaları, rəqəmsal idarəetmə sistemləri, ağıllı enerji və su monitorinq sistemləri şəhər inkişafını həm ekoloji, həm də iqtisadi baxımdan dayanıqlı edir. Bu yanaşmalar bazarda rəqabət üstünlüyü təmin edir və urbanizasiya ilə bağlı iqtisadi risklərin idarə olunmasına imkan yaradır.

Beləliklə, davamlı şəhər inkişafı yalnız ekoloji məsələ deyil, həm də iqtisadi dəyərin formalaşmasında və daşınmaz əmlak bazarının dayanıqlı inkişafında mühüm amildir. Şəhər planlaşdırması, investisiya strategiyaları və qiymətləndirmə meyarları bu prinsip əsasında qurulduqda bazar daha sabit, investorlar üçün daha etibarlı və əhalinin yaşam keyfiyyəti daha yüksək olur.

Cədvəl 1. *Daşınmaz əmlak bazarında davamlı layihələrin iqtisadi göstəriciləri*

İllər	Yaşıl sertifikatlı layihələr(ədəd)	Ortalama satış qiyməti (AZN m²)	Istismar xərcləri (% azalma)	İnvestorların cəlbedicilik indeksi
2020	25	1200	10%	65
2021	40	1250	12%	70
2022	55	1300	15%	75
2023	70	1350	18%	80
2024	85	1400	20%	85

Mənbə: *ESG göstəriciləri və bazar tələbinə əsaslanaraq müəllif tərəfindən hesablanmışdır.*

2. DAŞINMAZ ƏMLAKIN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ ASPEKTLƏRİ

Müasir dövrdə daşınmaz əmlakın qiymətləndirilməsi yalnız ənənəvi bazar göstəricilərinə əsaslanmaqla kifayətlənmir. Urbanizasiya, davamlı iqtisadi inkişaf və texnoloji innovasiyalar qiymətləndirmə prosesini çoxmeyarlı və strateji yanaşma tələb edən sahəyə çevirib. Klassik metodlar — müqayisəli yanaşma, gəlir yanaşması və xərc yanaşması — hələ də bazar qiymətinin müəyyən edilməsində əsas rol oynayır, lakin yalnız bazar göstəricilərinə əsaslanmaq artıq kifayət deyil və əlavə indikatorlarla tamamlanmalıdır.

Ekoloji meyarlar və statistik göstəricilər - Ekoloji faktorların qiymətləndirmədə rolu getdikcə artır. Enerji səmərəliliyi yüksək olan binalar (A, B sinifli) bazarda rəqabət üstünlüyü qazanır. 2022-ci il üzrə Azərbaycanın böyük şəhərlərində enerji səmərəli binaların orta satış qiyməti 1,400 AZN/m², ənənəvi binaların isə 1,180 AZN/m² olmuşdur ki, bu da 18% fərq deməkdir. Karbon emissiyasının azaldılması və yaşıl zonalara yaxınlıq da obyektin bazar dəyərini yüksəldir. Statistik tədqiqatlar göstərir ki, yaşıl sertifikatlı layihələrin istismar xərcləri orta hesabla 15–20% daha aşağı, satış müddəti isə 20–25% daha qısa olur. Bu faktorlar investorlar üçün əlavə dəyər yaradır və daşınmaz əmlakın bazar dayanıqlığını artırır [8].

Sosial meyarlar və təsir göstəriciləri - Sosial indikatorlar qiymətləndirmədə mühüm rol oynayır. Məktəb, xəstəxana, parklar və ictimai nəqliyyatın yaxınlığı daşınmaz əmlakın bazar dəyərinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Statistik göstəricilərə görə, yüksək sosial infrastruktur səviyyəsi olan məhəllələrdə daşınmaz əmlakın orta satış qiyməti digər bölgələrə nisbətən 12–15% daha yüksəkdir. Urban komfort səviyyəsi də qiymətləri birbaşa təsir edir: şəhər planlaşdırılmasında geniş küçələr, açıq sahələr və ictimai məkanların mövcudluğu obyektlərin bazar dəyərini 8–10% artırır və uzunmüddətli bazar sabitliyinə töhfə verir.

Texnoloji meyarlar və iqtisadi göstəricilər - Texnoloji faktorlar qiymətləndirmənin ayrılmaz hissəsinə çevrilib. "Ağıllı bina" texnologiyaları ilə təchiz olunmuş obyektlərdə enerji sərfiyyatı 25–30% daha

aşağıdır. Rəqəmsal idarəetmə sistemləri və innovativ tikinti materiallarının tətbiqi obyektlərin satış qiymətinə 10–12% əlavə dəyər qatır. 2021–2022-ci illər üzrə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, smart texnologiyalara malik layihələrdə investorlara cəlbedicilik indeksi 85/100 səviyyəsindədir, adi binalarda isə bu göstərici 65/100 olaraq qalır. Bu fərq texnoloji faktorların iqtisadi təsirini açıq şəkildə göstərir [9,10].

ESG indikatorlarının inteqrasiyası - Müasir qiymətləndirmədə ESG (Ekoloji, Sosial və İdarəetmə) prinsiplərinin tətbiqi getdikcə əhəmiyyətlidir. ESG indikatorları investorların qərarlarına birbaşa təsir göstərir və daşınmaz əmlakın uzunmüddətli dəyərini müəyyən edir. Statistik göstəricilərə görə:

- ESG standartlarına cavab verən layihələrin satışı bazarda 30–35% sürətlə həyata keçirilir.
- ESG və yaşıl sertifikatlı layihələrdə qiymət artımı orta hesabla 15–20% təşkil edir.
- Bu layihələr bazar riskini 20–25% azaldır və uzunmüddətli gəlirliliyi təmin edir.

Çoxmeyarlı qiymətləndirmə modeli - müasir daşınmaz əmlak qiymətləndirməsi çoxmeyarlı və inteqrativ yanaşma tələb edir. Klassik bazar göstəriciləri, ekoloji, sosial və texnoloji faktorlar, həmçinin ESG meyarlarının birləşməsi qiymətləndirməni yalnız obyektin cari bazar dəyəri ilə məhdudlaşdırmır, həm də onun uzunmüddətli investisiya perspektivini və bazar dayanıqlılığını əks etdirir.

Qiymətləndirmə prosesi aşağıdakı mərhələləri əhatə edir:

1. Klassik bazar və gəlir göstəricilərinin təhlili;
2. Ekoloji, sosial və texnoloji indikatorların qiymətləndirməyə daxil edilməsi;
3. ESG prinsiplərinin inteqrasiyası;
4. Risklərin və gəlirliliyin proqnozlaşdırılması;
5. Qiymətləndirmə nəticələrinin investisiya və strateji qərarlara tətbiqi.

Bu yanaşma nəticəsində daşınmaz əmlak bazarında obyektlər həm dayanıqlı, həm investisiya cəlbedici, həm də iqtisadi baxımdan proqnozlaşdırıla bilən olur. Statistik göstəricilər bu prosesin iqtisadi təsirini açıq şəkildə göstərir və qiymətləndirmənin həm akademik, həm də praktik əhəmiyyətini vurğulayır [11].

Cədvəl 2. *Daşınmaz əmlakın qiymətləndirilməsi üçün çoxmeyarlı qiymətləndirmə modeli*

Meyar	Maksimum bal	Orta qiymətləndirmə balı	Təsir səviyyəsi
Ekoloji faktorlar	30	24	Yüksək
Sosial faktorlar	25	20	Orta-yüksək
Texnoloji faktorlar	20	16	Orta
ESG uyğunluğu	25	22	Yüksək

Mənbə: *Beynəlxalq tədqiqatlar və statistik məlumatlar əsasında müəllif tərəfindən tərtib edilmişdir*

3. DAŞINMAZ ƏMLAKIN DƏYƏRİNƏ TƏSİR EDƏN FAKTORLAR

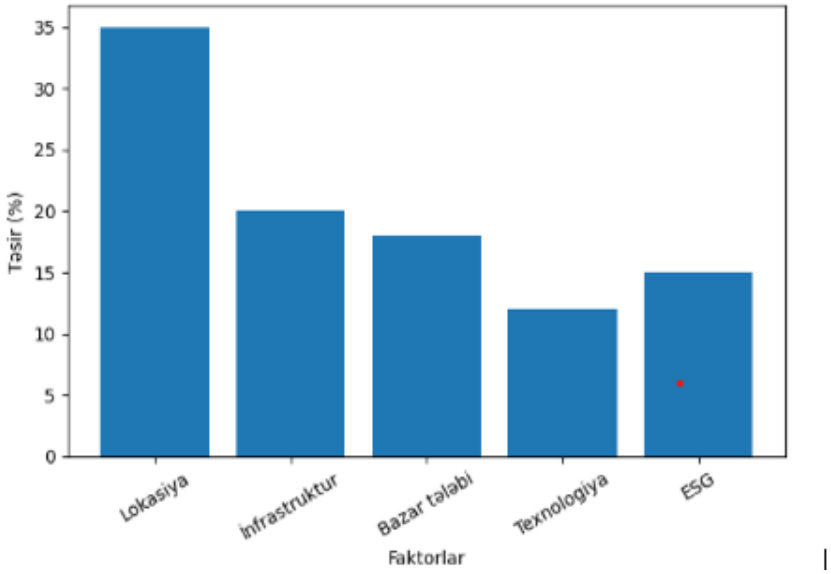
Daşınmaz əmlakın bazar dəyəri çoxsaylı iqtisadi, sosial, fiziki və institusional faktorların qarşılıqlı təsiri nəticəsində formalaşır. Müasir qiymətləndirmə yanaşmaları bu faktorları kompleks şəkildə təhlil etməyi tələb edir. Ənənəvi olaraq dəyərin müəyyən edilməsində əsas rol oynayan göstəricilər mövcud olsa da, müasir dövrdə davamlılıq, texnologiya və bazar dinamikası kimi yeni amillər də mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

1. Lokasiya (yerləşmə) faktoru - Daşınmaz əmlakın dəyərinə təsir edən ən mühüm amil onun yerləşdiyi ərazidir. Lokasiya obyektin həm cari bazar qiymətini, həm də gələcək investisiya potensialını müəyyən edir. Şəhər mərkəzinə yaxınlıq, nəqliyyat əlçatanlığı, infrastruktur təminatı və ətraf mühitin keyfiyyəti bu faktorun əsas komponentləridir. Tədqiqatlar göstərir ki, mərkəzi ərazilərdə yerləşən obyektlərin dəyəri periferik zonalarla müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə yüksək olur. Bu fərq bəzən 30–40%-ə qədər çata bilər ki, bu da lokasiyanın qiymətləndirmədə həlledici rol oynadığını təsdiqləyir.

2. Bazar tələbi və təklif - Daşınmaz əmlak bazarında qiymətlərin formalaşmasında tələb və təklif balansı əsas rol oynayır. Urbanizasiya və əhali artımı nəticəsində yaşayış sahələrinə tələbin artması qiymətlərin yüksəlməsinə səbəb olur. Eyni zamanda, yeni tikililərin bazara daxil olması təklifin artmasına gətirib çıxarır və müəyyən hallarda qiymət artımını sabitləşdirir. Bu baxımdan, bazar dinamikası qiymətləndirmə prosesində mütləq nəzərə alınmalıdır.

3. Fiziki və texniki xüsusiyyətlər - Obyektin sahəsi, planlaşdırılması, tikinti keyfiyyəti, istifadə olunan materiallar və texniki vəziyyəti onun bazar dəyərinə birbaşa təsir göstərir. Yeni tikililər və yüksək keyfiyyətli materiallardan istifadə olunan binalar adətən daha yüksək qiymətləndirilir. Bununla yanaşı, binanın yaşı və amortizasiya səviyyəsi də qiymətin formalaşmasında mühüm rol oynayır[12].

4. İnfrastruktur və sosial mühit - Sosial infrastrukturun inkişaf səviyyəsi daşınmaz əmlakın dəyərinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Məktəblər, xəstəxanalar, ticarət mərkəzləri, parklar və ictimai nəqliyyatın mövcudluğu obyektin cəlbediciliyini artırır. Bu amillər yaşayış keyfiyyətini yüksəltməklə yanaşı, daşınmaz əmlakın likvidliyini də artırır və satış müddətini qısaldır.
5. İqtisadi və makroiqtisadi faktorlar - İnflyasiya, faiz dərəcələri, əhalinin gəlir səviyyəsi və iqtisadi sabitlik daşınmaz əmlak bazarına birbaşa təsir göstərir. Məsələn, aşağı faiz dərəcələri ipoteka kreditlərinə çıxışı asanlaşdırır və tələbi artırır. Eyni zamanda, iqtisadi qeyri-sabitlik dövrlərində daşınmaz əmlak bazarında qiymət dəyişkənliyi artır və investisiya riskləri yüksəlir.
6. Hüquqi və institusional faktorlar - Mülkiyyət hüququnun qorunması, hüquqi şəffaflıq və dövlət tənzimləmələri daşınmaz əmlakın dəyərinə təsir edən mühüm amillərdəndir.Qanunvericilikdəki dəyişikliklər, vergi siyasəti və tikinti qaydaları bazarın fəaliyyətinə və qiymətlərin formalaşmasına təsir göstərir.
7. Texnoloji faktorlar - Müasir dövrdə texnologiya daşınmaz əmlak bazarında getdikcə daha mühüm rol oynayır. "Ağıllı bina" sistemləri, enerji idarəetməsi və rəqəmsal xidmətlər obyektlərin dəyərini artırır. Bu texnologiyalar həm enerji səmərəliliyini yüksəldir, həm də istismar xərclərini azaldır ki, bu da investorlar üçün əlavə üstünlük yaradır.
8. Ekoloji və ESG faktorları - Davamlı inkişaf prinsipləri çərçivəsində ekoloji və sosial faktorlar qiymətləndirmədə xüsusi əhəmiyyət qazanmışdır. Enerji səmərəliliyi, karbon emissiyası, yaşıl zonalara yaxınlıq və ekoloji standartlara uyğunluq daşınmaz əmlakın bazar dəyərinə müsbət təsir göstərir. ESG yanaşmasının tətbiqi investorların qərarlarına birbaşa təsir edir və uzunmüddətli dəyərin formalaşmasında mühüm rol oynayır[13].
Beləliklə, daşınmaz əmlakın dəyəri çoxsaylı faktorların kompleks təsiri altında formalaşır və bu faktorların hər biri qiymətləndirmə prosesində nəzərə alınmalıdır. Müasir yanaşmalar yalnız bazar göstəricilərinə deyil, həm də ekoloji, sosial və texnoloji meyarların inteqrasiyasına əsaslanır. Bu isə daşınmaz əmlakın daha dəqiq qiymətləndirilməsini, investisiya cəlbediciliyinin artmasını və bazarın davamlı inkişafını təmin edir.



Şəkil 1. Daşınmaz əmlak dəyərinə təsir edən faktorlar

4. AZƏRBAYCANDA URBANİZASİYANIN İQTİSADİ İNKİŞAFI VƏ QİYMƏTLƏNDİRMƏ MƏSƏLƏLƏRİ

Azərbaycanda urbanizasiya prosesi son onilliklərdə xüsusilə sürətlənmiş və ölkənin iqtisadi strukturunda mühüm transformasiyalara səbəb olmuşdur. Bu proses yalnız əhalinin şəhərlərə miqrasiyası ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda iqtisadi fəaliyyətin, kapitalın və innovasiyaların məkan üzrə konsentrasiyası ilə xarakterizə olunur. Xüsusilə Bakı şəhəri və Abşeron iqtisadi rayonu ölkənin əsas urban mərkəzi kimi çıxış edir və ümumi daxili məhsulun (ÜDM) əhəmiyyətli hissəsi bu regionda formalaşır.
Statistik təhlillər göstərir ki, ölkə əhalisinin təxminən 55–57%-i şəhərlərdə yaşayır, Bakı şəhərinin isə bu göstəricidə xüsusi çəkisi yüksəkdir. Bu, urbanizasiya prosesinin balanssız regional inkişaf modeli ilə

getdiyini göstərir. Regionlardan paytaxta daxili miqrasiya əmək bazarına, mənzil tələbinə və infrastruktur yüklənməsinə birbaşa təsir edir.

Urbanizasiyanın iqtisadi struktur təsirləri - Urbanizasiya iqtisadi strukturun dəyişməsinə səbəb olur. Azərbaycanda bu proses aşağıdakı istiqamətlərdə özünü göstərir:

- Kənd təsərrüfatından xidmət və sənaye sektoruna keçidin sürətlənməsi;
- Kiçik və orta biznesin (KOB) şəhər mühitində daha sürətli inkişafı;
- Daşınmaz əmlak sektorunun iqtisadi artımın əsas drayverlərindən birinə çevrilməsi;
- Tikinti sektorunun ÜDM-də payının artması.

Məlumatlara əsasən, son illərdə tikinti sektorunun ÜDM-də payı 8–10% intervalında dəyişir ki, bu da urbanizasiya ilə birbaşa əlaqəlidir. Bu dinamika daşınmaz əmlak bazarının iqtisadi sistemdə strateji rol oynadığını göstərir [14,15].

Daşınmaz əmlak bazarında struktur dəyişikliklər - Urbanizasiya daşınmaz əmlak bazarında həm kəmiyyət, həm də keyfiyyət baxımından dəyişikliklər yaradır. Son illərdə bazarda aşağıdakı əsas tendensiyalar müşahidə olunur:

- İlkin mənzil bazarının genişlənməsi və yeni tikililərin sayının artması;
- Premium və biznes sinif yaşayış komplekslərinin payının artması;
- Kommersiya daşınmaz əmlakı (ofis, ticarət mərkəzləri) bazarının genişlənməsi;
- Kirayə bazarında aktivliyin yüksəlməsi.

Bakı şəhərində mənzil qiymətləri üzrə aparılan təhlillər göstərir ki, mərkəzi ərazilərdə yerləşən obyektlərin qiyməti periferik zonalarla müqayisədə 25–40% daha yüksək, yeni tikililərdə isə bu fərq bəzən 50%-ə qədər çatır. Bu fərqlər lokasiya faktorunun qiymətləndirmədə həlledici rol oynadığını təsdiq edir.

Qiymətləndirmə prosesinə təsirlər - Urbanizasiya şəraitində daşınmaz əmlakın qiymətləndirilməsi daha mürəkkəb xarakter alır. Ənənəvi qiymətləndirmə yanaşmaları ilə yanaşı, aşağıdakı əlavə faktorların nəzərə alınması zəruridir:

- Nəqliyyat əlçatanlığı və logistika imkanları;
- İnfrastruktur təminatı (su, qaz, elektrik, internet);
- Ətraf mühitin keyfiyyəti və ekoloji risklər;
- Sosial infrastrukturun inkişaf səviyyəsi;
- Ərazinin gələcək inkişaf potensialı.

Bu faktorlar qiymətləndirmənin yalnız cari bazar dəyərini deyil, həm də gələcək kapital artımı potensialını müəyyən etməyə imkan verir.

Mövcud problemlər və risklər - Urbanizasiya prosesinin sürətli inkişafı ilə yanaşı, bir sıra sistemli problemlər də mövcuddur:

- Ekoloji standartların tam tətbiq olunmaması və yaşıl zonaların azalması;
- Tikinti sıxlığının artması və şəhər mühitinin yüklənməsi;
- Qeyri-formal tikililərin mövcudluğu və hüquqi qeyri-müəyyənliklər;
- Qiymətləndirmə bazarında məlumat şəffaflığının məhdudluğu;
- Bazar qiymətlərində spekulyativ dəyişikliklərin müşahidə olunması.

Bu problemlər daşınmaz əmlak bazarında risk səviyyəsini artırır və qiymətləndirmə nəticələrinin dəqiqliyinə mənfi təsir göstərir [16].

Davamlı inkişaf və institusional yanaşmalar - Müasir dövrdə Azərbaycanda urbanizasiya siyasəti tədricən davamlı inkişaf prinsiplərinə uyğunlaşdırılır. Bu istiqamətdə aşağıdakı institusional və strateji yanaşmalar mühüm əhəmiyyət kəsb edir:

- Beynəlxalq qiymətləndirmə standartlarının (IVS) tətbiqinin genişləndirilməsi;
- Yaşıl tikinti və enerji səmərəliliyi standartlarının tətbiqi;
- "Ağıllı şəhər" və rəqəmsal infrastruktur layihələrinin inkişafı;
- ESG prinsiplərinin investisiya və qiymətləndirmə proseslərinə inteqrasiyası;
- Dövlət tərəfindən şəhər planlaşdırılmasının sistemli şəkildə həyata keçirilməsi.

Xüsusilə Qarabağ və Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonlarında həyata keçirilən "ağıllı şəhər" və "ağıllı kənd" layihələri urbanizasiyanın yeni modelinin formalaşdığını göstərir. Bu model davamlılıq, texnologiya və resurs səmərəliliyinə əsaslanır.

Gələcək perspektivlər və inkişaf istiqamətləri - Gələcəkdə Azərbaycanda urbanizasiya prosesinin aşağıdakı istiqamətlərdə inkişaf edəcəyi gözlənilir:

- Regionların inkişafı ilə urbanizasiyanın balanslaşdırılması;
- Yaşıl və dayanıqlı tikinti layihələrinin genişlənməsi;
- Rəqəmsal daşınmaz əmlak bazarının formalaşması;
- Qiymətləndirmə sistemində innovativ metodların (big data, AI) tətbiqi;
- İnvestor etimadının və bazar şəffaflığının artırılması.

Bu istiqamətlər daşınmaz əmlak bazarında həm keyfiyyət, həm də sabitlik baxımından yeni mərhələnin başlanğıcını formalaşdırır [17].

Beləliklə, Azərbaycanda urbanizasiya prosesi daşınmaz əmlak bazarının inkişafında əsas determinantlardan biri olmaqla yanaşı, qiymətləndirmə metodologiyasının da transformasiyasını şərtləndirir. Müasir mərhələdə qiymətləndirmə prosesi yalnız bazar mexanizmlərinə deyil, həm də ekoloji, sosial, texnoloji və institusional faktorların inteqrasiyasına əsaslanmalıdır.

Bu yanaşma daşınmaz əmlak bazarının daha şəffaf, davamlı və investisiya baxımından cəlbedici inkişafını təmin etməklə yanaşı, ölkənin ümumi iqtisadi inkişaf strategiyasına da mühüm töhfə verir.

Nəticə və təkliflər:

Müasir dövrdə urbanizasiya yalnız şəhər ərazilərinin coğrafi genişlənməsi kimi deyil, həm də iqtisadi, sosial və ekoloji aspektləri əhatə edən kompleks və çoxölçülü proses kimi qiymətləndirilir. Bu proses şəhər iqtisadiyyatının strukturunu və dinamikasını dəyişir, əhalinin həyat səviyyəsini və yaşayış mühitinin keyfiyyətini birbaşa təsir edir. Azərbaycanın şəhər iqtisadiyyatında urbanizasiya sürətinin artması, yeni yaşayış və kommersiya sahələrinin formalaşması, infrastruktur layihələrinin genişlənməsi və əhalinin şəhərlərə cəlb olunması daşınmaz əmlak bazarının qiymətləndirilməsini strateji əhəmiyyətli sahəyə çevirir. Bu baxımdan daşınmaz əmlakın qiymətləndirilməsi yalnız iqtisadi göstəricilərin monitorinqi üçün deyil, həm də şəhərin sosial və ekoloji dayanıqlılığının təmin olunması üçün vacib bir mexanizmə çevrilir.

Tədqiqatlar göstərir ki, daşınmaz əmlakın düzgün və şəffaf qiymətləndirilməsi yalnız bazar sabitliyinin təmin olunmasına deyil, həm də investisiya proseslərinin effektivliyinə, vergi siyasətinin optimallaşdırılmasına və şəhər planlaşdırmasının strateji səviyyədə həyata keçirilməsinə birbaşa təsir göstərir. Qiymətləndirmə nəticələri şəhər idarəçiliyi üçün kritik məlumat mənbəyi rolunu oynayır, urban layihələrin planlaşdırılması, torpaq resurslarının səmərəli istifadəsi və sosial infrastrukturun inkişafı üçün əsaslı baza təmin edir. Şəhər iqtisadiyyatının dayanıqlı inkişafı üçün urbanizasiya proseslərinin iqtisadi aspektləri diqqətlə nəzərə alınmalı, sosial və ekoloji amillər qiymətləndirmə metodlarına inteqrasiya edilməlidir.

Eyni zamanda, müasir rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi – böyük verilənlər (Big Data), coğrafi informasiya sistemləri (GIS) və süni intellekt (AI) – qiymətləndirmə proseslərinin dəqiqliyini və sürətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bu texnologiyalar şəhər infrastrukturunun proqnozlaşdırılmasını, əmlak bazarının dinamikasının analitik təhlilini və investisiya qərarlarının dəstəklənməsini mümkün edir. Rəqəmsal texnologiyalar həmçinin daşınmaz əmlak bazarında şəffaflığın təmin olunmasına, korrupsiyanın qarşısının alınmasına və dövlət siyasətinin effektivliyinin yüksəldilməsinə xidmət edir.

Urbanizasiya və daşınmaz əmlak qiymətləndirilməsinin inteqrasiya olunmuş yanaşması yalnız iqtisadi nəticələr üçün deyil, həm də sosial və ekoloji dayanıqlılığın təmin olunması baxımından strateji əhəmiyyət kəsb edir. Bu yanaşma şəhər mühitində yaşıl infrastrukturun yaradılmasını, ictimai xidmətlərin səmərəli təşkilini, mədəniyyət və istirahət obyektlərinin inkişafını və əhalinin həyat keyfiyyətinin yüksəldilməsini dəstəkləyir. Beləliklə, urbanizasiya və daşınmaz əmlak qiymətləndirilməsi arasında balansın qorunması, şəhər iqtisadiyyatının dayanıqlılığını təmin etmək, investisiya mühitini gücləndirmək və əhalinin rifahını yüksəltmək baxımından zəruridir. Bu proses, eyni zamanda, Azərbaycanın şəhər inkişaf strategiyasının strateji planlamasında mühüm alət rolunu oynayır və uzunmüddətli davamlı iqtisadi inkişafın təmin olunmasına töhfə verir [18,19].

1. Qiymətləndirmə metodlarının təkmilləşdirilməsi: Daşınmaz əmlakın qiymətləndirilməsi prosesində beynəlxalq və milli standartların tətbiqi zəruridir. Qiymətləndirmə metodlarının müasir iqtisadi modellərlə və rəqəmsal analiz vasitələri ilə inteqrasiya olunması bazarın şəffaflığını artırır və investisiya qərarlarının effektivliyini yüksəldir.
2. Rəqəmsal texnologiyaların geniş tətbiqi: GIS, böyük verilənlər və süni intellekt kimi texnologiyalar qiymətləndirmə proseslərinin dəqiqliyini artırmaqla yanaşı, şəhər planlaşdırmasında və infrastruktur layihələrinin optimallaşdırılmasında strateji rol oynayır.
3. Urbanizasiya siyasəti ilə qiymətləndirmənin inteqrasiyası: Şəhər planlaşdırması və urban infrastruktur layihələri daşınmaz əmlak qiymətləndirmə nəticələrinə əsaslanmalıdır. Bu inteqrasiya

investisiyaların səmərəli yönləndirilməsinə, vergi siyasətinin düzgün aparılmasına və sosial rifahın artırılmasına imkan verir.

4. Davamlı inkişaf və ekoloji amillərin nəzərə alınması: Qiymətləndirmə prosesinə ətraf mühitin qorunması, enerji səmərəliliyi və sosial tələblərin daxil edilməsi dayanıqlı şəhər inkişafının əsas prinsiplərindən biridir. Bu yanaşma həm də şəhər iqtisadiyyatının ekoloji və sosial dayanıqlığını təmin edir.

5. Peşəkar kadr hazırlığı və təlim: Daşınmaz əmlak qiymətləndirilməsi sahəsində ixtisaslı kadrların hazırlanması, elmi-tədqiqat və davamlı təlim proqramlarının gücləndirilməsi şəhər iqtisadiyyatının dayanıqlı inkişafına birbaşa töhfə verir.

6. Siyasət və təşviq mexanizmləri: Sərmayəçilərin dayanıqlı urban layihələrə cəlb edilməsi üçün fiskal, inzibati və qanuni təşviq mexanizmlərinin hazırlanması zəruridir. Bu, şəhər iqtisadiyyatının inkişafına, urban ərazilərin keyfiyyətli inkişafına və sosial rifahın artırılmasına xidmət edir.

7. Davamlı monitorinq və təhlil sistemi: Urbanizasiya və daşınmaz əmlak qiymətləndirilməsi sahəsində mütəmadi məlumatların toplanması, təhlili və qiymətləndirilməsi qərar qəbuletməni dəstəkləyən vacib vasitədir. Bu yanaşma uzunmüddətli planlaşdırmanı və dayanıqlı inkişafı təmin edir.

Azərbaycanın urbanizasiyası və daşınmaz əmlak bazarının inkişafı şəhər iqtisadiyyatının güclənməsi və investisiya mühitinin səmərəli formalaşması baxımından strateji əhəmiyyət kəsb edir. Düzgün və şəffaf qiymətləndirmə şəhər iqtisadiyyatının resurslarının optimal istifadəsini təmin edir, vergi gəlirlərinin artmasına və maliyyə stabilliyinin möhkəmlənməsinə töhfə verir. Urbanizasiya ilə daşınmaz əmlak qiymətləndirilməsinin inteqrasiyası investisiya axınlarının idarə olunmasını asanlaşdırır, kommersiya və yaşayış sahələrinin səmərəli bazar dəyərinin formalaşmasına şərait yaradır. Eyni zamanda, rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi – GIS, böyük verilənlər və süni intellekt – iqtisadi qərar qəbuletməni sürətləndirir, bazar şəffaflığını təmin edir və şəhər planlaşdırması ilə iqtisadi strategiyaların uyğunluğunu gücləndirir. Nəticədə, urbanizasiya və daşınmaz əmlak qiymətləndirilməsi arasında balansın qorunması, iqtisadi resursların səmərəli idarə olunması və davamlı iqtisadi inkişafın təmin olunması baxımından zəruridir. Bu yanaşma Azərbaycanın şəhər iqtisadiyyatının dayanıqlılığını möhkəmləndirir və uzunmüddətli iqtisadi perspektivlər üçün əsaslı baza yaradır [20].

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Azərbaycanın Statistik Göstəriciləri. Bakı – 2024, 695 s.
2. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2021-ci il 2 fevral tarixli Sərəncamı: Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər
3. Azərbaycan Respublikasının 2022-2026-cı illərdə sosial-iqtisadi inkişaf Strategiyası. AR Prezidentinin Sərəncamı// Bakı, 22 iyul 2022.
4. Azərbaycan Respublikasında sosial xidmətin inkişafına dair 2023-2026-cı illər üçün Dövlət Proqramı.AR Prezidentinin Sərəncamı// Bakı, 28 avqust 2023.
5. Azərbaycan Respublikası İqtisadiyyat Nazirliyi. Davamlı inkişaf üzrə milli strategiya. Bakı 2024
6. Azərbaycan Respublikası Qiymətləndiricilər Palatası. Daşınmaz əmlakın qiymətləndirilməsi üzrə hesabat tələbləri. Bakı, Azərbaycan: AQP. — Qiymətləndirmə hesabatı üçün standart metodik tövsiyələr. 2025
7. Azərbaycan Respublikası Qiymətləndiricilər Palatası. *Qiymətləndirmə fəaliyyəti üzrə normativ və metodiki tövsiyələr*. Bakı, Azərbaycan: AQP.2021
8. Əliyev İ.Q., Həşimova.A.Ç.(2025) "Real estate development trends in the context of the digital economy" AZMİU.Tikintinin iqtisadiyyatı və menecment jurnalı, № 4 (33), P 123-131
9. Əliyev İ.Q., Quliyev.S.A. (2026) Məcburi satiş şəraitində daşinmaz əmlakin ləğv etmə dəyərinin qiymətləndirilməsinə metodoloji yanaşmalar. Ekologiya və su təsərrüfatı jurnalı, №1.
10. Əliyev İ.Q., Cəfərov.F.İ.(2026) Daşınmaz əmlakın dəyərinin qiymətləndirilməsi üçün informasiya bazasının təkmilləşdirilməsi istiqamətləri. Ekologiya və su təsərrüfatı jurnalı, №1
11. Məmmədov, T. S. (2019). Daşınmaz əmlak bazarı: struktur və qiymətləndirmə. Bakı, Azərbaycan.
12. Metzner, J., & Kindt, M. (2023). Automated valuation models in property appraisal. İnternational Journal of Housing Markets and Analysis, 16(2), 350–369.
13. Numan, J. A. A., et al. (2024). Identifying the current status of real estate appraisal methods. Real Estate Management and Valuation, 32(4), 12–27.
14. Rahmanov, F.P.Sosial Sfera ve Sosial Siyasət. Dərs Vəsaiti, "MSV NƏŞR",səh-436 Bakı-2021
15. Rəhmanov. F.P, Süleymanov.E.B. "Azərbaycan iqtisadiyyatı: makroiqtisadi analiz" səh:404, Bakı-2021
16. Rzayev, N. (2023). Daşınmaz əmlak bazarının analizi. Bakı
17. Topraklı, A. Y. (2024). AI-driven valuation: A new era for real estate appraisal. Journal of European Real Estate Research, 18(1), 105–120
18. https://president.az/
19. https://maliyye.gov.az/
20. https://emlak.gov.az/az

AZƏRBAYCANDA KREDİT FAİZLƏRİNİN İQTİSADİ TƏSİRİ

Salatın Cəfərli
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi
sceferli2025@std.beu.edu.az
Bakı,Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalədə Azərbaycanda kredit faizlərinin iqtisadi təsirləri kompleks şəkildə araşdırılır. Tədqiqat kredit faizlərinin iqtisadi aktivliyə, investisiya mühitinə, sahibkarlığın inkişafına və əhalinin maliyyə davranışlarına təsir mexanizmlərini təhlil edir. Eyni zamanda, bank sektorunun iqtisadi sistemdə rolu və kredit faizlərinin formalaşmasına təsir edən əsas amillər — inflyasiya, risk səviyyəsi və monetar siyasət — elmi əsaslarla şərh olunur. Araşdırma göstərir ki, kredit faizləri iqtisadi inkişafın həm stimullaşdırıcı, həm də məhdudlaşdırıcı amili kimi çıxış edir və onların optimal səviyyədə tənzimlənməsi makroiqtisadi sabitlik üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır. (Əliyev & Qasımov, 2021).
Açar sözlər: kredit faizləri, bank sistemi, iqtisadi inkişaf, monetar siyasət, investisiya, Azərbaycan iqtisadiyyatı
Abstract: This article provides a comprehensive analysis of the economic impact of interest rates in Azerbaijan. The study examines the mechanisms through which interest rates influence economic activity, investment climate, entrepreneurial development, and household financial behavior. It also discusses the role of the banking sector in the economic system and the key factors affecting interest rate formation, including inflation, risk levels, and monetary policy. The findings indicate that interest rates function as both a stimulating and restrictive factor in economic development, and their optimal regulation is essential for ensuring macroeconomic stability.
Keywords: interest rates, banking system, economic development, monetary policy, investment, Azerbaijani economy

GİRİŞ

Müasir qlobal iqtisadi sistemdə maliyyə institutları, xüsusilə də bank sektoru, iqtisadi inkişafın əsas hərəkətverici qüvvələrindən biri kimi çıxış edir (Hüseynov & Məmmədov, 2022). Banklar yalnız maliyyə vasitəçiliyi funksiyasını yerinə yetirməklə kifayətlənmir, eyni zamanda iqtisadi resursların səmərəli bölgüsü, kapitalın dövriyyəsi və iqtisadi sabitliyin təmin olunmasında strateji rol oynayır. Bu baxımdan bank sistemi müasir iqtisadi münasibətlərin ayrılmaz tərkib hissəsi hesab edilir.

Elmi ədəbiyyatda bankların iqtisadi rolu belə ifadə olunur: "banklar müasir cəmiyyətdə yalnız pul dövriyyəsini və kredit münasibətlərini təşkil etmir, eyni zamanda xalq təsərrüfatının maliyyələşdirilməsində və iqtisadi proseslərin tənzimlənməsində mühüm rol oynayır." Bu yanaşma bank sektorunun iqtisadi sistemdəki çoxşaxəli funksiyalarını aydın şəkildə əks etdirir.

Kredit faizləri isə bank sisteminin ən mühüm tənzimləyici alətlərindən biri olmaqla yanaşı, həm mikroiqtisadi, həm də makroiqtisadi səviyyədə iqtisadi davranışlara birbaşa təsir göstərir. Faiz dərəcələri investisiya mühitinin formalaşması, istehlak davranışları və ümumi iqtisadi aktivlik baxımından əsas göstəricilərdən biridir.

KREDIT FAIZLƏRININ MAHIYYƏTI VƏ NƏZƏRI ƏSASLARI

Kredit faizi bank tərəfindən təqdim olunan maliyyə resurslarının istifadəsinə görə borcalandan alınan ödəniş kimi müəyyən edilir. Bu göstərici maliyyə bazarında kapitalın "qiyməti" rolunu oynayır və tələb-təklif mexanizmi əsasında formalaşır.

Kredit faizlərinin səviyyəsi bir sıra iqtisadi və institusional amillərlə müəyyən edilir:

- inflyasiya səviyyəsi və real pul dəyəri
- bank sektorunda risklərin qiymətləndirilməsi
- Mərkəzi Bankın monetar siyasəti və uçot dərəcəsi
- maliyyə bazarının inkişaf dərəcəsi və rəqabət mühiti
- ölkənin makroiqtisadi sabitlik göstəriciləri

Faiz dərəcələrinin yüksəlməsi kredit resurslarının bahalaşmasına gətirib çıxarır ki, bu da iqtisadi aktivliyi məhdudlaşdırır (Azərbaycan Respublikası Mərkəzi Bankı, 2024). Əksinə, aşağı faiz dərəcələri investisiya və istehlakın artmasına şərait yaradır.

Bankların iqtisadi mahiyyətini daha dərindən anlamaq üçün onların fəaliyyətinin əsas iqtisadi funksiyalarına diqqət yetirmək vacibdir (Əliyev & Qasımov, 2021, s. 78). Belə ki, "bankın mahiyyətini müəyyən edən əsas amil onun iqtisadi tərəfidir, çünki bankın fəaliyyəti ilk növbədə iqtisadi münasibətlərlə bağlıdır." Bu baxımdan banklar yalnız maliyyə vasitəçisi deyil, həm də iqtisadi resursların yenidən bölüşdürülməsini təmin edən institusional mexanizmdir.

Bankların iqtisadi sistemdə rolu onların funksional xüsusiyyətləri ilə müəyyən olunur:

- maliyyə resurslarının toplanması və akkumulyasiyası
- kapitalın transformasiyası və yenidən bölgüsü
- pul kütləsinin və dövriyyəsinin tənzimlənməsi
- investisiya axınlarının yönləndirilməsi

Eyni zamanda banklar xüsusi iqtisadi subyekt kimi fəaliyyət göstərir və "bank xüsusi məhsul istehsal edən müəssisədir və bu məhsul ödəniş vasitəsi kimi çıxış edən puldur." Bu xüsusiyyət bank sektorunu digər iqtisadi sahələrdən fərqləndirir. (Azərbaycan Respublikası Mərkəzi Bankı, 2024).

Mərkəzi Bank isə monetar siyasətin həyata keçirilməsində əsas institusional orqan kimi çıxış edir. O, uçot dərəcəsi və pul kütləsinin tənzimlənməsi vasitəsilə iqtisadi sabitliyi qoruyur və inflyasiya proseslərinə nəzarət edir istinad gətirilmişdir

KREDIT FAIZLƏRININ IQTISADI TƏSIR MEXANIZMLƏRI

Kredit faizləri iqtisadi sistemdə ikili təsir mexanizminə malikdir və həm stimullaşdırıcı, həm də məhdudlaşdırıcı funksiyanı yerinə yetirir.

Yüksək faiz dərəcələrinin iqtisadi təsirləri

Yüksək kredit faizləri aşağıdakı makroiqtisadi nəticələrə səbəb olur:

- investisiya xərclərinin azalması və kapital qoyuluşlarının məhdudlaşması
- kiçik və orta sahibkarlığın inkişaf tempinin zəifləməsi
- kredit resurslarına çıxış imkanlarının azalması
- iqtisadi artım tempinin ləngiməsi

Bu şəraitdə iqtisadi subyektlər riskləri azaltmağa çalışır və yeni layihələrin maliyyələşdirilməsi azalır.

Aşağı faiz dərəcələrinin iqtisadi təsirləri

Aşağı faiz dərəcələri isə əks təsir göstərərək iqtisadi aktivliyi artırır:

- investisiya mühitinin canlanması
- yeni biznes təşəbbüslərinin stimullaşdırılması
- istehlak xərclərinin artması
- ümumi iqtisadi dövriyyənin sürətlənməsi

Beləliklə, kredit faizləri iqtisadi tsiklin formalaşmasında mühüm tənzimləyici rol oynayır. (Əliyev & Qasımov, 2021).

AZƏRBAYCANDA KREDIT FAIZLƏRININ MÖVCUD VƏZIYYƏTI VƏ STRUKTUR PROBLEMLƏR

Azərbaycanda kredit faizləri bir sıra hallarda regional və beynəlxalq səviyyə ilə müqayisədə nisbətən yüksək qiymətləndirilir. Bu vəziyyətin formalaşmasına kompleks iqtisadi amillər təsir göstərir:

- bank sektorunda kredit risklərinin yüksək olması
- inflyasiya təzyiqlərinin mövcudluğu
- maliyyə bazarının dərinləşmə səviyyəsinin məhdudluğu
- kapital bazarının zəif inkişafı
- banklararası rəqabətin nisbətən aşağı olması

(Dövlət Statistika Komitəsi, 2024; Azərbaycan Respublikası Mərkəzi Bankı, 2024).

Bu amillər kredit resurslarının bahalaşmasına və bəzi sosial qrupların maliyyə xidmətlərinə çıxış imkanlarının məhdudlaşmasına səbəb olur. Xüsusilə kiçik və orta sahibkarlıq subyektləri üçün maliyyələşmə imkanlarının məhdudluğu iqtisadi diversifikasiyaya mənfi təsir göstərir.

Kredit faizlərinin optimallaşdırılması istiqamətləri

Mövcud problemlərin aradan qaldırılması və kredit bazarının effektivliyinin artırılması üçün aşağıdakı istiqamətlər üzrə islahatlar vacib hesab olunur:

- Mərkəzi Bank tərəfindən monetar siyasətin daha çevik tətbiqi
- kredit faizlərinin diferensiallaşdırılmış tənzimlənməsi
- kiçik və orta biznes üçün güzəştli kredit mexanizmlərinin genişləndirilməsi
- bank sektorunda rəqabət mühitinin gücləndirilməsi
- maliyyə savadlılığının artırılması və risklərin idarə olunması bacarıqlarının inkişafı
- kapital bazarının dərinləşdirilməsi və alternativ maliyyə mənbələrinin yaradılması

Bu tədbirlər kredit sisteminin daha dayanıqlı və səmərəli fəaliyyətini təmin edə bilər. (Azərbaycan Respublikası Mərkəzi Bankı, 2024).

NƏTICƏ

Nəticə etibarilə, kredit faizləri müasir iqtisadi sistemin əsas tənzimləyici mexanizmlərindən biri kimi çıxış edir və onların səviyyəsi iqtisadi inkişafın istiqamətini və sürətini müəyyən edən mühüm faktordur. Kredit faizlərinin optimal səviyyədə tənzimlənməsi həm biznes mühitinin yaxşılaşdırılması, həm də əhalinin maliyyə rifahının yüksəldilməsi baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

Beləliklə, balanslaşdırılmış və elmi əsaslara söykənən faiz siyasəti ölkənin iqtisadi sabitliyinin təmin olunması və uzunmüddətli dayanıqlı inkişafın əldə edilməsi üçün strateji zərurət hesab olunur.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Azərbaycan Respublikası Mərkəzi Bankı. (2024). *Monetar siyasət və statistik hesabatlar*. Bakı.
2. Azərbaycan Respublikası Mərkəzi Bankı. (2024). *Rəsmi veb sayt*. https://www.cbar.az
3. Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi. (2024). *İqtisadi göstəricilər bazası*. Bakı.
4. Əliyev, K., & Qasımov, F. (2021). *Maliyyə bazarları və iqtisadi nəzəriyyə*. Bakı: Elm.
5. Hüseynov, R., & Məmmədov, A. (2022). *Bank işi*. Bakı: İqtisad Universiteti nəşriyyatı.

RƏQƏMSAL DÖVRDƏ STRATEJİ İDARƏETMƏNİN YENİ PARADİGMALARI

LƏMAN MÜRSƏLİZADƏ MİRQULU QIZI
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə kafedrası/Makroiqtisadi siyasət
l.lamanmursalizadeh@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Bu tədqiqat rəqəmsal dövrdə strateji idarəetmənin dəyişən mahiyyətini və formalaşan yeni idarəetmə yanaşmalarını araşdırır. Müasir rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı strateji idarəetmənin ənənəvi planlaşdırma modelindən uzaqlaşaraq daha çevik, adaptiv və məlumat əsaslı qərarvermə sistemlərinə keçidini sürətləndirmişdir. Araşdırma göstərir ki, süni intellekt, böyük verilənlər analitikası və bulud texnologiyaları strateji qərarların keyfiyyətini və operativliyini artırmaqla təşkilatların rəqabət qabiliyyətinə əhəmiyyətli təsir göstərir.

Eyni zamanda, rəqəmsal transformasiya təşkilati strukturların çevikləşməsinə, liderlik yanaşmalarının isə daha innovativ və iştirakçı xarakter almasına səbəb olmuşdur. Nəticə etibarilə, rəqəmsal dövrdə strateji idarəetmə davamlı uyğunlaşma, çeviklik və innovasiya əsaslı idarəetmə modeli kimi formalaşır.

Açar sözlər: Rəqəmsal transformasiya, strateji idarəetmə, yeni paradiqmalar, böyük verilənlər,

Abstract: This study examines the evolving nature of strategic management in the digital era and the emergence of new managerial paradigms shaped by rapid technological advancement. The findings indicate that the widespread adoption of digital technologies has shifted strategic management from traditional, linear planning approaches toward more flexible, adaptive, and data-driven decision-making systems. In particular, artificial intelligence, big data analytics, and cloud computing have significantly improved the speed, accuracy, and effectiveness of strategic decisions, thereby enhancing organizational competitiveness.

The study also highlights that digital transformation has led to fundamental changes in organizational structures and leadership practices. Organizations are increasingly adopting agile, decentralized, and network-based structures that enable faster responses to environmental changes. At the same time, leadership approaches are becoming more participatory, innovative, and digitally oriented. Overall, strategic management in the digital age is characterized by continuous adaptation, innovation, and technology-driven transformation.

Keywords: Digital transformation, strategic management, new paradigms, big data

1.Giriş

Son onilliklərdə rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı qlobal biznes mühitinin əsasında köklü şəkildə dəyişiklik etmişdir. Bu transformasiya təkcə şirkətlərin gündəlik əməliyyat proseslərinə deyil, yni zamanda təşkilatların idarə olunması və yönləndirilməsi üçün istifadə olunan konseptual çərçivələri də əhatə edir. Süni intellektin tətbiqi, böyük verilənlərin (big data) emalı, bulud əsaslı sistemlərin geniş yayılması və rəqəmsal platformaların sürətli inkişafı nəticəsində "rəqəmsal dövr" adlandırılan yeni iqtisadi reallıq formalaşmışdır. Bu yeni mühitdə informasiya əsas resursa çevrilmiş, qərarların qəbulunda intuisiya və uzunmüddətli proqnozlaşdırmaya əsaslanan ənənəvi strateji idarəetmə yanaşmaları tədricən daha dinamik, adaptiv və məlumat əsaslı (data-driven) paradiqmalarla əvəz olunmaqdadır.

Rəqəmsal dövrdə strateji idarəetmə artıq əvvəlki kimi sadəcə uzunmüddətli planların qurulması və resursların bölüşdürülməsi vasitəsilə rəqabət üstünlüyünün əldə edilməsi ilə məhdudlaşmır. Müasir yanaşma daha çox davamlı müşahidə, mühitin düzgün interpretasiyası və dəyişikliklərə operativ reaksiya vermək bacarığı üzərində qurulub. Bu gün təşkilatlar sabit və proqnozlaşdırıla bilən bazarlarda deyil, əksinə, yüksək qeyri-müəyyənlik və sürətli dəyişikliklərin hökm sürdüyü mühitlərdə fəaliyyət göstərməyə məcburdurlar. Belə bir şəraitdə texnoloji yeniliklər çox qısa zamanda bütün sənayelərin strukturunu belə dəyişə bilir.

Bu səbəbdən çeviklik, innovasiyaya açıq olmaq və rəqəmsal bacarıqların inkişaf etdirilməsi strateji idarəetmənin əsas elementlərindən biri olmuşdur. Müasir liderlərdən yalnız strategiya hazırlamaq deyil, həm də təşkilat daxilində innovasiya mədəniyyəti, rəqəmsal savadlılıq və davamlı öyrənmə mühitini formalaşdırmaq tələb olunur .Yəni, uğur yalnız düzgün plan qurmaqdan yox, həmin planı dəyişən şəraitə uyğun olaraq tez yeniləyə bilməkdən asılıdır.

Müasir liderlərdən yalnız strategiya hazırlamaq deyil, həm də təşkilat daxilində innovasiya mədəniyyəti, rəqəmsal savadlılıq və davamlı öyrənmə mühitini formalaşdırmaq tələb olunur Rəqəmsal texnologiyalar sayəsində təşkilatlar daxilində məlumat axını daha sürətli və şəffaf olur, qərarlar isə yalnız yuxarı səviyyədə deyil, müxtəlif bölmələrin əməkdaşlığı ilə daha çevik şəkildə qəbul edilir. Bu isə təşkilatların bazardakı dəyişikliklərə daha qısa zamanda uyğunlaşmasına şərait yaradır.

Tədqiqatın məqsədi. Bu tədqiqatın əsas məqsədi rəqəmsal dövrdə strateji idarəetmənin yeni paradiqmalarını araşdıraraq, bu dəyişikliklərin təşkilatların idarəetmə strukturlarına, qərarvermə proseslərinə və rəqabət üstünlüyünün formalaşmasına olan təsirini təhlil etməkdir. Tədqiqat xüsusilə rəqəmsal transformasiyanın strateji idarəetmədə yaratdığı dəyişiklikləri, ənənəvi idarəetmə modellərindən fərqləri və müasir biznes mühitində adaptasiya mexanizmlərini müəyyən etməyə yönəlmişdir. Eyni zamanda, işin məqsədi rəqəmsal texnologiyaların (süni intellekt, big data, bulud sistemləri və s.) strateji qərarvermə prosesində rolunu qiymətləndirmək və təşkilati çevikliyin (organizational agility) artmasında onların təsirinin əhəmiyyətini izah etməkdir.

Aparılmış nəzəri təhlil göstərir ki, rəqəmsal dövrdə strateji idarəetmə klassik, xətti və uzunmüddətli planlaşdırmaya əsaslanan yanaşmalardan uzaqlaşaraq daha çevik, adaptiv və data əsaslı bir modelə keçid etmişdir. Müasir təşkilatlar sürətlə dəyişən bazar şəraitində rəqabət qabiliyyətini qorumaq üçün texnoloji innovasiyaları strateji idarəetmənin mərkəzinə yerləşdirirlər Aparılmış nəzəri təhlil göstərir ki, rəqəmsal dövrdə strateji idarəetmə klassik, xətti və uzunmüddətli planlaşdırmaya əsaslanan yanaşmalardan

uzaqlaşaraq daha çevik, adaptiv və data əsaslı bir modelə keçid etmişdir. Müasir təşkilatlar sürətlə dəyişən bazar şəraitində rəqabət qabiliyyətini qorumaq üçün texnoloji innovasiyaları strateji idarəetmənin mərkəzinə yerləşdirirlər.

Nəticələr onu da göstərir ki, rəqəmsal transformasiya təşkilatların strukturunu daha mərkəzdən uzaq və şəbəkə əsaslı modelə doğru dəyişdirir, bu isə qərarvermə proseslərinin daha operativ və effektiv olmasına şərait yaradır. Bundan əlavə, data və analitika strateji qərarların əsas dayağına çevrilmiş, liderlik isə daha çox innovasiya yönümlü və adaptiv yanaşma tələb edən bir funksiyaya transformasiya olunmuşdur.

Ümumilikdə, tədqiqatın nəticələri təsdiq edir ki, rəqəmsal dövrdə strateji idarəetmənin uğuru təşkilatların texnoloji dəyişikliklərə uyğunlaşma sürəti, innovasiya qabiliyyəti və məlumat əsaslı qərarvermə sistemlərini effektiv şəkildə tətbiq etməsindən asılıdır. Bu baxımdan, rəqəmsal paradiqmaların mənimsənilməsi müasir təşkilatlar üçün uzunmüddətli rəqabət üstünlüyünün əsas şərtlərindən biri kimi çıxış edir. Bu məqalə beş əsas bölmədən ibarət şəkildə strukturlaşdırılmışdır. Birinci bölmə giriş hissəsini ikinci bölmə nəzəri çərçivəyə üçüncü bölmə tədqiqatın əsas mahiyyətini təşkil edən rəqəmsal dövrdə strateji idarəetmənin yeni paradiqmalarının təhlilinə yönəlmiş dördüncü bölmədə rəqəmsal transformasiyanın təşkilatlara təsiri və onun yaratdığı imkanlar və çağırışlar müzakirə olunur Sonuncu, beşinci bölmə isə nəticə hissəsidir.

2.Rəqəmsal Dövrdə Strateji İdarəetmə

Strateji idarəetmə təşkilatların uzunmüddətli məqsədlərinə nail olması üçün strategiyaların formalaşdırılması, tətbiqi və qiymətləndirilməsi prosesini əhatə edir. Rəqəmsal dövrdə isə sürətli texnoloji inkişaf və artan mühit qeyri-müəyyənliyi bu anlayışın mahiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişmişdir.

Ənənəvi yanaşmalardan fərqli olaraq, müasir strateji idarəetmə artıq statik və xətti bir proses deyil. O, dinamik, davamlı təkrarlanan (iterativ) və real vaxt məlumatlarına yüksək həssaslıq göstərən bir sistemə çevrilmişdir. Təşkilatlar texnoloji dəyişikliklərə, bazar dəyişkənliyinə və müştəri gözləntilərinin sürətlə transformasiyasına uyğun olaraq strategiyalarını daim yeniləməyə məcburdurlar.

Süni intellekt, böyük verilənlər analitikası və bulud texnologiyaları kimi rəqəmsal alətlər strateji qərarların qəbul olunma üsulunu əsaslı şəkildə dəyişmişdir. Nəticədə, qərarvermə prosesi intuisiya əsaslı yanaşmadan çıxaraq sübuta əsaslanan və proqnozlaşdırıcı analitikaya söykənən bir modelə keçid etmişdir.

Rəqəmsal Transformasiya və Təşkilati Dəyişiklik

Rəqəmsal transformasiya rəqəmsal texnologiyaların biznesin bütün sahələrinə inteqrasiyası və bunun nəticəsində təşkilatların fəaliyyət və dəyər yaratma üsullarının fundamental şəkildə dəyişməsi kimi izah edilir.

Bu proses yalnız texnoloji yenilənmə deyil, həm də mədəni və struktur dəyişiklikləri əhatə edir. Təşkilatlar öz daxili proseslərini yenidən qurmalı, yeni idarəetmə və liderlik yanaşmalarını mənimsəməli və rəqəmsal bacarıqlarını inkişaf etdirməlidirlər.

Rəqəmsal transformasiyanın əsas hərəkətverici amilləri aşağıdakılardır:

- Texnoloji innovasiyalar
- Bazarların qloballaşması
- Müştərilərin rəqəmsal gözləntiləri
- Rəqabət təzyiqi

Cədvəl 1. Ənənəvi və rəqəmsal dövr strateji idarəetmə yanaşmaları arasındakı əsas fərqləri ümumiləşdirilir

Meyar	Ənənəvi strateji idarəetmə	Rəqəmsal strateji idarəetmə
Yanaşma	Xətti və uzunmüddətli planlaşdırma	Dinamik, çevik və iterativ yanaşma
Qərarvermə	Daha çox intuisiya və keçmiş təcrübəyə əsaslanır	Real vaxt məlumatları və data-analitikaya əsaslanır
Mühitə uyğunlaşma	Nisbətən yavaş və planlı adaptasiya	Sürətli və davamlı adaptasiya
Struktur	İyerarxik və mərkəzləşmiş	Şəbəkə əsaslı və daha mərkəzdən uzaq (decentralized)

İnformasiya rolu	Dəstək funksiyası kimi çıxış edir	Strateji aktiv və əsas resurs kimi çıxış edir
Texnologiyanın rolu	Məhdud və köməkçi rol	Strateji idarəetmənin əsas hərəkətverici qüvvəsi
Qərarvermə sürəti	Nisbətən yavaş	Operativ və sürətli
Əsas üstünlük	Sabitlik və proqnozlaşdırma	Çeviklik və innovasiya

Mənbə: Porter, M. E. (1985). Competitive Advantage. Free Press; Teece, D. J. (2018). Dynamic Capabilities and Strategic Management; McKinsey & Company (2020). The State of Organizations.

Cədvəldəki bu müqayisə göstərir ki, rəqəmsal transformasiya strateji idarəetmənin məntiqini əsaslı şəkildə dəyişmişdir. Əvvəllər əsas diqqət sabit planlaşdırma və proqnozlaşdırmaya yönəlirdisə, müasir dövrdə dəyişkən mühitə sürətli uyğunlaşma, məlumat əsaslı qərarvermə və innovasiya qabiliyyəti ön plana çıxmışdır.

Rəqəmsal Strategiyada Nəzəri Modellər

Rəqəmsal dövrdə strateji idarəetməni izah edən bir sıra mühüm nəzəri modellər mövcuddur:

Dinamik bacarıqlar nəzəriyyəsi:Bu yanaşma şirkətlərin sürətlə dəyişən mühitdə daxili və xarici resurslarını inteqrasiya etmək, yenidən formalaşdırmaq və inkişaf etdirmək qabiliyyətini vurğulayır. Əsas ideya ondan ibarətdir ki, rəqabət üstünlüyü təşkilatın dəyişikliklərə çevik uyğunlaşma bacarığından asılıdır.

Məsələn, Amazon şirkəti bu modelin klassik nümunələrindən biridir. Şirkət yalnız e-ticarət platforması kimi başlamış, lakin zamanla bulud xidmətləri (AWS), süni intellekt əsaslı tövsiyə sistemləri və logistika texnologiyalarını inkişaf etdirərək öz biznes modelini daim yenidən formalaşdırmışdır. Bu, onun dəyişən bazar şəraitinə sürətli uyğunlaşma qabiliyyətini göstərir.

Eyni zamanda, Netflix şirkəti də DVD icarəsindən tam rəqəmsal axın (streaming) modelinə keçərək dinamik bacarıqlarını uğurla tətbiq etmişdir.

Resurslara Əsaslanan Baxış (RBV):Bu modelə görə, strateji üstünlüyün əsas mənbəyi təşkilatın malik olduğu unikal resurslardır. Rəqəmsal dövrdə bu resurslara xüsusilə data (məlumat), texnologiya və insan kapitalı daxildir. Bu resursların effektiv istifadəsi davamlı rəqabət üstünlüyü yaradır. Google (Alphabet**)** şirkəti bu model üçün yaxşı nümunədir. Onun əsas strateji üstünlüyü fiziki resurslardan çox, böyük həcmli məlumat bazası (big data), qabaqcıl alqoritmlər və yüksək ixtisaslı insan kapitalına əsaslanır. Bu resurslar rəqiblərin asanlıqla təkrar edə bilmədiyi unikal üstünlük yaradır.

Rəqəmsal Biznes Strategiyası Modeli:Bu model rəqəmsal texnologiyaların ayrıca alət kimi deyil, biznes strategiyasının əsas hissəsi kimi qəbul edilməsini vurğulayır. Yəni rəqəmsallaşma artıq köməkçi vasitə deyil, strateji qərarların mərkəzi elementidir.

Uber şirkəti bu modelin tipik nümunəsidir. O, ənənəvi taksi şirkəti kimi fəaliyyət göstərmir, əksinə, tamamilə rəqəmsal platforma üzərindən işləyən bir biznes modelinə malikdir. Burada texnologiya biznesin özü ilə eyniləşir — mobil tətbiq, real vaxt məlumatları və algoritmik uyğunlaşdırma sistemin əsasını təşkil edir.

Oxşar şəkildə, Airbn**b** də rəqəmsal platforma üzərindən qlobal yerləşdirmə xidmətlərini təşkil edir və texnologiyanı biznes strategiyasının mərkəzinə yerləşdirir.

3.Yeni stratejik idarəetmədə paradiqmaların təhlili

Rəqəmsal iqtisadi mühitdə strateji idarəetmə yanaşması əvvəlki dövrlərlə müqayisədə əsaslı şəkildə dəyişmişdir. Ənənəvi modeldə qərarlar daha çox rəhbər təcrübəsinə, intuisiya və keçmiş məlumatlara əsaslanırdısa, müasir dövrdə bu yanaşma tədricən data əsaslı və texnologiya ilə dəstəklənən qərarvermə mexanizmləri ilə əvəz olunur.

Təşkilatlar artıq strateji seçimlər zamanı böyük verilənlər (big data), süni intellekt və analitik platformalar vasitəsilə əldə edilən real vaxt məlumatlarına daha çox üstünlük verirlər. Bu isə qərarvermə prosesini həm daha dəqiq, həm də daha çevik edir.

Eyni zamanda, rəqəmsal mühitdə dəyişikliklərin sürəti strateji planlaşdırma yanaşmasını da dəyişmişdir. Əvvəllər illik və ya uzunmüddətli planlar əsas götürülürdüsə, hazırda təşkilatlar davamlı yenilənən, situasiyaya uyğunlaşdırılan strateji modellərə üstünlük verirlər. Bu yanaşma qeyri-müəyyənliyin yüksək olduğu bazarlarda daha effektiv fəaliyyət göstərməyə imkan yaradır.

Çevik və Elastik Təşkilati Strukturların Yaranması

Rəqəmsal transformasiyanın mühüm nəticələrindən biri təşkilati strukturların dəyişməsi və daha çevik idarəetmə modellərinin formalaşmasıdır. Ənənəvi iyerarxik sistemlərdə qərarlar əsasən yuxarı rəhbərlik səviyyəsində qəbul olunurdusa, müasir təşkilatlarda bu proses daha geniş şəkildə bölüşdürülür.

Çevik (agile) yanaşma təşkilatlara dəyişən şəraitə daha sürətli reaksiya vermək imkanı yaradır. Bu modeldə komanda əsaslı iş prinsipi, sürətli koordinasiya və fasiləsiz geribildirim mexanizmləri mühüm rol oynayır.

Cədvəl 2. Ənənəvi və Çevik (Agile) Təşkilatların Xüsusiyyətlər

Ölçü	Ənənəvi təşkilat	Çevik (Agile) təşkilat
Struktur	İyerarxik və sərt idarəetmə sistemi	Daha düz (flat) və elastik struktur
Qərarvermə	Mərkəzləşdirilmiş qərarvermə	Mərkəzdən uzaqlaşdırılmış (decentralized) qərarvermə
Reaksiya sürəti	Dəyişikliklərə yavaş uyğunlaşma	Dəyişikliklərə sürətli reaksiya
İnnovasiya yanaşması	Tədrici (incremental) yeniliklər	Davamlı və bəzən radikal (disruptive) innovasiyala
Kommunikasiya	Formal və şaquli (yuxarıdan aşağıya)	Açıq, çevik və üfüqi (horizontal) kommunikasiya

Mənbə: Denning, S. (2018). The Age of Agile. AMACOM; McKinsey & Company (2020). The State of Organizations.

Belə təşkilatlarda funksiyalararası əməkdaşlıq daha güclüdür və fərqli şöbələr arasında sərt sərhədlər zəifləyir. Nəticədə informasiya axını sürətlənir, problemlərin həlli daha qısa müddətdə həyata keçirilir və innovativ ideyaların tətbiqi asanlaşır.

Ümumilikdə, çevik təşkilati strukturlar müasir strateji idarəetmənin əsas dayaqlarından birinə çevrilmişdir və şirkətlərin rəqabət mühitində daha dayanıqlı olmasına şərait yaradır.

Bu müqayisə göstərir ki, rəqəmsal bazarlarda təşkilatların uzunmüddətli davamlılığı üçün çeviklik artıq əlavə üstünlük deyil, strateji zərurətə çevrilmişdir. Sürətli dəyişən iqtisadi mühitdə yalnız çevik və adaptiv təşkilatlar rəqabət qabiliyyətini qoruyub saxlaya bilir və yeni imkanlardan effektiv şəkildə istifadə edə bilirlər.

Rəqəmsal Liderliyin Rolu

Rəqəmsal transformasiya müasir təşkilatlarda liderlik funksiyasının mahiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə yenidən formalaşdırmışdır. Ənənəvi yanaşmada liderlik əsasən planlaşdırma və nəzarət funksiyaları ilə məhdudlaşırdısa, rəqəmsal dövrdə liderlər həm də dəyişimi idarə edən, innovasiyanı yönləndirən və təşkilati mədəniyyəti formalaşdıran əsas aktorlara çevrilmişdir.

Bu kontekstdə rəqəmsal liderlərdən aşağıdakı bacarıqlar və vəzifələr gözlənilir:

- təşkilat daxilində innovasiya yönümlü düşüncə tərzini təşviq etmək
- əməkdaşlar arasında rəqəmsal bacarıqların inkişafına şərait yaratmaq
- qərarvermə proseslərini data və analitik nəticələr üzərində qurmaq
- təşkilati çevikliyi artırmaq və dəyişən mühitə adaptasiyanı təmin etmək

Rəqəmsal dövrdə liderliyin effektivliyi daha çox qeyri-müəyyən və sürətlə dəyişən şəraitdə təşkilatı düzgün istiqamətləndirmək, həmçinin davamlı transformasiya prosesini idarə edə bilmək qabiliyyəti ilə ölçülür.

Strategiyada Data Əsaslı Qərarvermə

Müasir strateji idarəetmədə məlumat (data) artıq sadəcə informasiya mənbəyi deyil, eyni zamanda strateji dəyər yaradan əsas resursa çevrilmişdir. Böyük verilənlər analitikası və süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi təşkilatlara mürəkkəb məlumat axınlarını emal etmək, gizli qanunauyğunluqları müəyyənləşdirmək və gələcək tendensiyaları daha dəqiq proqnozlaşdırmaq imkanı verir.

Data əsaslı strateji yanaşmanın əsas üstünlükləri aşağıdakılardır:

- proqnozlaşdırma dəqiqliyinin yüksəlməsi
- risklərin daha sistemli və effektiv idarə olunması
- müştəri davranışlarının daha dərin təhlili
- strateji qərarların qəbulunda operativliyin artması

İnnovasiya Ekosistemləri və Rəqəmsal Əməkdaşlıq

Rəqəmsal dövrdə strateji idarəetmənin mühüm xüsusiyyətlərindən biri innovasiyanın artıq təşkilat daxilində məhdudlaşmaması, əksinə daha geniş ekosistemlər çərçivəsində formalaşmasıdır. Müasir

şirkətlər startaplar, texnologiya partnyorları, universitetlər və tədqiqat mərkəzləri ilə əməkdaşlıq edərək innovasiya proseslərini daha açıq və şəbəkə əsaslı şəkildə həyata keçirirlər.
Bu ekosistem yanaşması təşkilatlara bir sıra strateji üstünlüklər qazandırır:

- xarici bilik və texnoloji resurslara çıxış imkanının genişlənməsi
- innovasiya xərclərinin optimallaşdırılması
- məhsul və xidmətlərin inkişaf dövrünün qısaldılması
- bazarda rəqabət mövqeyinin gücləndirilməsi

Rəqəmsal Strateji Transformasiyanın Konseptual Təsir Modeli

Rəqəmsal transformasiya müasir iqtisadi və təşkilati sistemlərdə strateji idarəetmənin əsas hərəkətverici qüvvələrindən birinə çevrilmişdir. Bu kontekstdə rəqəmsal transformasiyanın təsir mexanizmini izah etmək üçün çoxsəviyyəli konseptual modelin hazırlanması vacibdir. Təqdim olunan model rəqəmsal texnologiyaların iqtisadi və təşkilati nəticələrə təsirini birbaşa deyil, strateji idarəetmə və vasitəçi mexanizmlər üzərindən izah edir.

1. Modelin struktur əsasları

Konseptual model dörd əsas blokdan ibarətdir: giriş amilləri (input factors), transformasiya mexanizmi (core transformation), vasitəçi amillər (mediating factors) və nəticə göstəriciləri (output outcomes).
Birinci mərhələdə rəqəmsal texnologiyalar, rəqəmsal infrastruktur, innovasiya investisiyaları və dövlətin rəqəmsal siyasəti əsas giriş dəyişənləri kimi çıxış edir. Bu amillər iqtisadi sistemdə rəqəmsallaşmanın texnoloji əsasını formalaşdırır.
İkinci mərhələdə strateji transformasiya mexanizmi fəaliyyət göstərir. Bu mərhələdə rəqəmsal liderlik, təşkilati çeviklik və biznes proseslərinin avtomatlaşdırılması mühüm rol oynayır. Bu komponentlər texnoloji resursların real iqtisadi və idarəetmə dəyərinə çevrilməsini təmin edir.

2. Vasitəçi amillərin rolu

Modelin üçüncü mərhələsində insan kapitalı, rəqəmsal bacarıqlar, informasiya axınının optimallaşdırılması və rəqəmsal mədəniyyət vasitəçi rol oynayır. Bu elementlər rəqəmsal transformasiyanın effektivliyini artıraraq texnologiya ilə iqtisadi nəticələr arasında körpü funksiyası yerinə yetirir. Xüsusilə insan kapitalının inkişaf səviyyəsi transformasiyanın sürətinə və keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir.

3. Nəticə dəyişənləri

Son mərhələdə iqtisadi və təşkilati nəticələr formalaşır. Bunlara məhsuldarlığın artması, iqtisadi səmərəlilik, rəqabət qabiliyyətinin yüksəlməsi, innovasiya aktivliyinin genişlənməsi və davamlı inkişaf göstəricilərinin yaxşılaşması daxildir. Bu nəticələr rəqəmsal transformasiyanın makroiqtisadi səviyyədə təsirini əks etdirir.

4. Moderasiyaedici amillər

Modeldə həmçinin tənzimləyici mühit, bazar rəqabəti, qlobal iqtisadi inteqrasiya və texnoloji adaptasiya səviyyəsi kimi moderasiyaedici faktorlar nəzərə alınır. Bu amillər transformasiya prosesinin gücünü və istiqamətini müəyyən edən xarici şərtlər kimi çıxış edir.

5. Konseptual modelin məntiqi əlaqəsi

Ümumi olaraq model aşağıdakı məntiqi ardıcıllıqla ifadə olunur:

Rəqəmsal resurslar → Strateji transformasiya → İnsan və təşkilati vasitəçilər → İqtisadi nəticələr

Bu yanaşma göstərir ki, rəqəmsal texnologiyalar özlüyündə deyil, strateji idarəetmə və təşkilati uyğunlaşma mexanizmləri vasitəsilə iqtisadi dəyər yaradır.

Modelin ümumi quruluşu (struktur SEM yanaşması)

Model struktur tənliklər (Structural Equation Modeling – SEM) məntiqinə əsaslanır və üç əsas səviyyəni əhatə edir:

I. Giriş dəyişənləri (Exogenous Variables)

- Rəqəmsal Texnologiyalar (DT)
- Rəqəmsal İnfrastruktur (DI)
- İnnovasiya İnvestisiyaları (IN)
- Dövlət Rəqəmsal Siyasəti (GP)

II. Aralıq mexanizm (Mediating Construct)

- Strateji Rəqəmsal Transformasiya (ST)

ST daxilində:

- Digital Leadership (DL)
- Təşkilati Çeviklik (OA)

- Proseslərin Rəqəmsallaşması (DP)

III. Vasitəçi amillər (Mediators)

- İnsan Kapitalı (HC)
- Rəqəmsal Bacarıqlar (DS)
- Rəqəmsal Mədəniyyət (DC)
- İnformasiya Axını Effektivliyi (IF)

IV. Nəticə dəyişənləri (Endogenous Variables)

- İqtisadi Səmərəlilik (EE)
- Məhsuldarlıq (P)
- Rəqabət Qabiliyyəti (C)
- Davamlı İnkişaf (SD)

Konseptual modelin riyazi ifadəsi

$$Y = f\ (DT, DI, IN, G) \rightarrow ST \rightarrow (HC, IC, DC) \rightarrow EO$$

Burada:

- **DT** – Digital Technologies
- **DI** – Digital Infrastructure
- **IN** – Innovation Investment
- **G** – Government Policy
- **ST** – Strategic Transformation
- **HC** – Human Capital
- **IC** – Information Capability
- **DC** – Digital Culture
- **EO** – Economic Outcomes

Model çoxsəviyyəli funksional əlaqə kimi qurulur:

Strateji transformasiya funksiyası

$$ST = f(DT, DI, IN, GP) ST\ =\ f(DT, DI, IN, GP) ST = f(DT, DI, IN, GP)$$

Vasitəçi mexanizm

$$M = f(HC, DS, DC, IF) M\ =\ f(HC, DS, DC, IF) M = f(HC, DS, DC, IF)$$

Nəticə funksiyası

$$EO = f(ST, M) EO\ =\ f(ST, M) EO = f(ST, M)$$

Tam inteqrasiya olunmuş model

$$EO = \beta 1 DT + \beta 2 DI + \beta 3 IN + \beta 4 GP + \beta 5 ST + \beta 6 M + \varepsilon$$



Şəkil 1. Struktur diaqram (konseptual model)

Mənbə: McKinsey & Company (2020), OECD (2021) və elmi ədəbiyyat əsasında müəllif tərəfindən konseptuallaşdırılmışdır.

Bu model göstərir ki:

- Rəqəmsal texnologiyalar **birbaşa iqtisadi nəticə yaratmır**

- Təsir yalnız **strateji transformasiya mexanizmi vasitəsilə reallaşır**
- İnsan kapitalı və rəqəmsal mədəniyyət bu təsiri **gücləndirici rol oynayır**
- Ən yüksək iqtisadi effekt **ST + Mediatorlar birlikdə olduqda** yaranır

Bu konseptual model rəqəmsal transformasiyanı xətti proses kimi deyil, **çoxsəviyyəli və qarşılıqlı təsirli sistem** kimi izah edir. Model göstərir ki, rəqəmsal iqtisadiyyatın effektivliyi texnologiyanın mövcudluğundan daha çox onun strateji idarəetmə və insan kapitalı ilə inteqrasiyasından asılıdır.

5.Nəticə

Bu tədqiqat rəqəmsal dövrdə strateji idarəetmənin yeni paradiqmalarını və onların təşkilati transformasiyaya təsirlərini araşdırmışdır. Aparılan təhlil göstərir ki, rəqəmsal texnologiyalar strateji idarəetmənin məntiqini əsaslı şəkildə dəyişmiş, onu ənənəvi, xətti planlaşdırma yanaşmalarından daha çevik, məlumat əsaslı və davamlı inkişaf edən sistemlərə doğru yönəltmişdir.

Əldə olunan nəticələr təsdiq edir ki, rəqəmsal transformasiya təkcə texnoloji dəyişiklik deyil, eyni zamanda təşkilati strukturlara, qərarvermə mexanizmlərinə, liderlik rollarına və rəqabət strategiyalarına təsir edən kompleks bir dəyişiklik prosesidir. Xüsusilə süni intellekt, böyük verilənlər analitikası və bulud əsaslı sistemlərin artan rolu strateji qərarların qəbulunda sürəti və dəqiqliyi əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır.

Bundan əlavə, araşdırma göstərir ki, rəqəmsal mühitdə fəaliyyət göstərən təşkilatlar getdikcə daha çox çevik (agile) və şəbəkə əsaslı strukturlara üstünlük verirlər. Bu dəyişiklik bazar şəraitində baş verən sürətli dəyişikliklərə daha operativ reaksiya verməyə imkan yaradır və təşkilati elastikliyi artırır. Eyni zamanda, liderlik yanaşmaları daha çox iştirakçı, innovativ və rəqəmsal biliklərə əsaslanan istiqamətdə inkişaf edir.

Aparılan təhlilə əsaslanaraq aşağıdakı əsas elmi nəticələr əldə edilmişdir:

- Rəqəmsal dövrdə strateji idarəetmə sabit planlaşdırmadan çox, davamlı uyğunlaşma xarakteri daşıyır.
- Məlumat bütün səviyyələrdə qərarverməyə təsir edən əsas strateji resursa çevrilmişdir.
- Təşkilati strukturlar iyerarxik modellərdən çevik və mərkəzləşdirilməmiş sistemlərə doğru dəyişir.
- Rəqəmsal transformasiya innovasiya potensialını və rəqabət üstünlüyünü gücləndirir.
- Liderlik rolları innovasiyanı, əməkdaşlığı və rəqəmsal inteqrasiyanı təmin edən istiqamətə doğru inkişaf edir.

Ümumilikdə, tədqiqat göstərir ki, rəqəmsal texnologiyaları strateji idarəetmə çərçivəsinə effektiv şəkildə inteqrasiya edən təşkilatlar uzunmüddətli dayanıqlılıq və rəqabət üstünlüyü əldə etmək baxımından daha uğurlu olurlar.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti. (2022). Strateji idarəetmə və müasir biznes modelləri. Bakı.
2. Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi. (2024). Rəqəmsal iqtisadiyyat və informasiya cəmiyyəti göstəriciləri. Bakı.
3. Azərbaycan Respublikasının İqtisadiyyat Nazirliyi. (2023). Rəqəmsal transformasiya və iqtisadi inkişaf hesabatı. Bakı.
4. Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. (2013). Digital business strategy. MIS Quarterly, 37(2), 471–482.
5. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. W.W. Norton & Company.
6. Drucker, P. F. (1999). Management challenges for the 21st century. Harper Business.
7. Hanelt, A., Bohnsack, R., Marz, D., & Marante, C. A. (2021). A systematic review of digital transformation. Journal of Management Studies, 58(5), 1159–1197.
8. Hüseynov, S. A. (2019). Strateji idarəetmədə innovativ yanaşmalar. Bakı: Qanun Nəşriyyatı.
9. Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2015). Strategy, not technology, drives digital transformation. MIT Sloan Management Review.
10. Məmmədov, R. M. (2020). Rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişaf istiqamətləri. Azərbaycan İqtisadiyyatı Jurnalı, 3(2), 45–58.
11. Nuriyev, A. H. (2021). Müasir iqtisadi sistemdə idarəetmə problemləri. Bakı: Elm nəşriyyatı.
12. Porter, M. E. (2001). Strategy and the internet. Harvard Business Review, 79(3), 62–78.
13. Schwab, K. (2017). The fourth industrial revolution. Crown Business.
14. Teece, D. J. (2018). Business models and dynamic capabilities. Long Range Planning, 51(1), 40–49. https://doi.org/10.1016/j.lrp.2017.06.007
15. Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). Leading digital: Turning technology into business transformation. Harvard Business Review Press.
16. Zahra, S. A., & George, G. (2002). Absorptive capacity and dynamic capability. Academy of Management Review, 27(2), 185–203.

INCLUSIVE GROWTH IN POST-INDEPENDENCE AZERBAIJAN: THE IMPACT OF GDP GROWTH ON ECONOMIC INEQUALITY

Nick Nwolisa
World Economy
Khazar University, Baku, Azerbaijan
nwolisa.chinedu@khazar.org

Abstract: This article focuses on the growth experienced in Azerbaijan since its independence in 1991 and how that impacts on reducing inequalities in the country. The main factor that has driven this growth is the oil boom, especially the series of policies that has led to expansion in oil exploration in the country. Despite the growing revenue, changes are evident on structural transformation, rather than inclusive growth. Azerbaijan has through its GDP growth achieved a certain short-run increment in growth indices, most importantly GDP, some notable upward movement in wages and provision of services, however, there are still noticeable gaps, especially in reduction of inequalities -mostly economic inequalities of income and wealth. The article highlights that the government approach has achieved increased GDP through over dependence and overly focused on hydrocarbon industry, with little diversification of other high employing industries. Therefore, this article elucidates on the detachment between the experienced economic growth in post independence Azerbaijan and the immediate improvement in the living standards.

Keywords: Inclusive Economic Growth, Inequality, Poverty, Structural Changes, Post-Soviet Economy, Azerbaijan, Economic Growth

INTRODUCTION

Azerbaijan, with its resource rich in hydrocarbons, has experienced tremendous growth, after the collapse of the Soviet Union. Compared to other countries in the post-Soviet space, Azerbaijan, and also Kazakhstan, has the advantage of experiencing accelerated growth, due to the wealth in revenue from oil and gas (Kalyuzhnova, 2006). The signing of the contract of the century in 1994 brought about massive investment in the country (Gurbanov et al., 2017). The inflow of FDI into the country created a rapid growth, not only in the physical capital, rebuilding of infrastructure, it also facilitated the positive changes in institutionalisation in the country. The result of this acceleration was an average real gross domestic product (GDP) growth rate of 15.3 percent between 2001 and 2010, reaching a maximum of 34.5 percent in 2006 (Onder, 2012). In addition, Azerbaijan also undertook other policy measures that have ensured sustainable management of the oil revenue, of which include creating a special oil fund, the State Oil Fund of the Republic of Azerbaijan (SOFAZ). Its purpose was to accumulate savings from its oil revenues for the purposes of macroeconomic stabilization, saving for future generations and investment in important national development projects (Gurbanov et al., 2017).

Based on the outcomes from the Millennium Development Goals (MDGs), Azerbaijan recorded a drastic reduction in poverty (Walewski & Chubrik, 2010), including reducing absolute poverty from 49% to 4.9%. On other indicators such as education, health and environment stability, Azerbaijan also showed huge progress. Considering the MDGs which was the universal benchmark for development as of the 2000s, the conclusion can be reached that Azerbaijan's trajectory in improving standard and living of its population is trending in the right direction (Scholz, 2017). However, certain reports and other indices on Human Development Indices (HDI) as well as the Gini coefficient of Azerbaijan measured at the same period still show uneven distribution especially on income (Ismayilzade et al., 2018).

According to the United Nations Azerbaijan, the post MDGs, which is the Sustainable Development Goals (SDGs), is also indicating that Azerbaijan is showing improvement in social development and environmental protection with a large portion of the country's budget linked to SDGs target. However, on the key targets of SDGs 1, 3, 4 and 8 -No poverty, good health and well-being, quality education, decent work and economic growth, the government continues work towards achieving. (United Nations Azerbaijan, n.d.).

For growth to be inclusive, it has to not only be sustainable, but it should also be able to reflect on a better living standard for the population (Aliyev, 2022). High economic growth does not guarantee high inclusiveness of development. Economic growth alone is insufficient and cannot be used as the ultimate

development goal (Roring & Walewangko, 2023). An inclusive growth ensures that households' incomes are significantly increased, in accordance with the experienced GDP growth. It also means that the economy pursues policies that are long-term to achieve broader based opportunities for all regions and across all sectors. To ensure that the common wealth of the nations benefits all through a systematic reduction in accessibility to opportunities (Cerra, 2022).

Azerbaijan is a typical example to test the assumption that resource-rich countries do not always achieve inclusive economic growth. In comparison to other post-Soviet countries, for emphasis, the widespread use of oil revenues has played a leading role in the formation of new structural features in social stratification, leading to a sharp increase in the share of the top 10% of the population in total income, the stabilization of the share of the lowest 10%, and a significant decline in the share of the middle class (Khalilov & Huseyn, 2021).

Therefore, the central claim of this article is that in the absence of well-planned long-term supply side policies, prosperity, recorded by GDP growth does not always lead to durable inclusion. As the literature review would show, that despite Azerbaijan government pursing policies targeted pro-poor growth during the period of increased economic growth from the oil boom, however, due to lack of diversification in the economy, the gains are narrow rent-based growth model (Walewski & Chubrik, 2010). These gains improved household welfare, which are social impact and political goodwill, but are not sustainable in the absence of the revenue from the oil-rich resources.

LITERATURE REVIEW

At the collapse of the Soviet Union, THE resource wealth of the southern Soviet republics (Azerbaijan, Kazakhstan, Kyrgyz Republic, Tajikistan, Turkmenistan, and Uzbekistan) and Mongolia was seen as a major advantage for their national economic development (Pomfret, 2011). Azerbaijan has experienced high economic growth and rapid poverty reduction over the last decade following a period of deep contraction and then slow recovery in the 1990s and a remarkable growth rate during the 2000s (Onder, 2012).

Based on economic growth patterns and trends between 2004 and 2009 it shows that Azerbaijan government pursued pro-poor policies that impacted on both real incomes and real consumption. According to Walewski & Chubrik (2010), the pro-poor characteristics of Azerbaijani income growth during the period of second oil boom resulted mainly from the very dynamic growth of wage and self-employment incomes among the poorest population (Rosenberg et al., 1998). The outcome is that it shows household incomes were much more strongly correlated with oil GDP than with non-oil growth with employment the most important source of income growth for all deciles (Walewski & Chubrik, 2010). The poverty reduction strategy that is largely based on oil financed transfers, mostly from the State Oil Fund of Azerbaijan (SOFAZ) is not sustainable considering that the oil revenues, which have fuelled the recent growth in transfers and real wages, does stagnate and decline due to oil price shocks (Onder, 2012), (Gurbanov et al., 2017); (Pomfret, 2011).

Indicators directly related to the economies of oil-exporting countries such as Azerbaijan, and especially the socio-economic well-being of the population, depend on the resource potential and prices for resources of these countries and this is reflective of the income of the population, their average monthly salary, the average amount of monthly pensions, the average amount of old-age pensions, the average amount of disability pensions, the amount of pensions for the loss of the head of the family form the basis of the state of financial well-being (Humbatova & Hajiev, 2024). Study shows that the real value of oil production raises real government expenditures but that the country’s national oil fund mitigates that unwanted effect on real exchange rate appreciation to some extent. In any case, the adverse effects of oil booms on non-oil industrial production coming from currency appreciation can be offset by a sufficiently strong link through government investment in industry. (Gurbanov et al., 2017).

Countries that are dependent on natural resources extraction and export experience reduction in revenue and are exposed to economic recession and decline in oil prices worldwide that affects oil and gas exporting countries (Research Group, 2020). There are two different approaches to assessing the impact of oil on income distribution. In one case, the oil factor has been shown to act as a means of increasing income inequality, iIn another case, researchers show that the oil factor can have a positive effect on reducing income inequality. Although for the latter, high levels of corruption in the oil sector weakens this effect, leading to a widening gap between rich and poor (Khalilov & Huseyn, 2021). Household incomes in Azerbaijan are very different, and inequalities in their incomes are very high, with the increase in average

and of all strata of households incomes, inequalities between did not noticeably decrease and that the level of economic development of Azerbaijan and country's revenues from the oil sector, along with an increase in the average income among the population, have significantly increased inequality (Gulaliyev et al., 2018).

Inclusive growth focuses on the kind of economic growth that is a necessary and crucial condition for poverty reduction that is long-term in perspective and is concerned with sustained growth (Onder, 2012). Inclusive growth seeks to boost national wealth and well-being while reducing poverty, ensuring equity across generations, and preserving economic freedoms (Agarwal, 2024). For growth to be sustained in the long run, it should be broad-based across sectors, should also be inclusive of a large majority of the country's labor force, where inclusiveness refers to equality of opportunity in access to markets, resources, and an unbiased regulatory environment for businesses and individuals.

KEY DATA ANALYSIS AND ECONOMETRICS CORRELATION

A. OIL DRIVEN GROWTH AND THE DISTRIBUTION

As Azerbaijan experienced economic boom, from the period of 1994 through the second boom, the peak of its million-barrel production, and global high oil prices, the revenue derived from it doubled as can be seen Table 1 the steady growth in GDP. The total GDP growth was very significant as the data shows, and this corresponds to an increase in the net taxes which is an indicator of increased revenue for the government.

Table 1: GDP Composition and Sectoral Growth (Million Manats) Note: * indicates preliminary data.

Year	Total GDP	Oil-Gas Sector	Non-Oil Sector	Net Taxes	Oil % of GDP
2000	4,718.1	1,411.0	3,015.9	291.2	29.9%
2005	12,522.5	5,420.7	6,155.3	946.5	43.3%
2006*	18,746.2	10,069.9	7,651.9	1,024.4	53.7%
2010	42,465.0	21,714.4	17,874.1	2,876.5	51.1%
2015	54,380.0	15,310.4	34,210.6	4,859.0	28.1%
2022	133,825.8	67,816.6	56,036.1	9,973.1	50.7%
2024 (est)	121,339.0	44,984.0	65,110.0	11,245.0	37.1%

Note: * indicates preliminary data.

Source: State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan (2024).

Azerbaijan government continued to maintain its policy of pro-poor economic growth through increased social spending, and current transfers. However, as Table 1 also shows, the growth in the oil sector continues to grow, with the exception of 2015, as shown by the increasing percentage of the contribution from the oil-sector to the overall GDP. The data also shows a significant growth in the non-oil sector, which indicates that despite oil and gas driving the economy, there is still evidence of the government policy creating diverging effect, that ensures that wealth from the oil reaches households in the lower decile of the population through labour income, wages, pensions and government strategic spending.

B. INEQUALITIES AND THE INCLUSIVITY GAP

The period of boom and economic growth did not necessarily correlate to the improvement in the living standards. The increase in the single indicators, as measurement for economic growth showed improvement in the GDP per capita as shown in Table 2, however, the data also shows that actual income and disposable income of the population experienced a smaller and slower growth trajectory.

Table 2: Economic Growth vs. Population Income (Per Capita in Manats)

Year	GDP Per Capita (A)	Income Per Capita (B)	The Gap (A - B)	Income as % of GDP
2000	592.5	508.9	83.6	85.9%
2005	1,504.2	962.2	542.0	63.9%
2010	4,753.0	2,853.3	1,899.7	60.0%
2015	5,714.5	4,374.9	1,339.6	76.5%
2020	7,263.3	5,587.6	1,675.7	76.9%
2023	11,960.5	7,651.1	4,309.4	64.0%

Source: State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan (2024).

While the economy is growing, as shown by the increased GDP, the transfer of income and wealth is low in comparison. The Inclusive Gap data shows that the actual wealth that reaches the average population (measurement of the living standards) widens, indicating that households still experience inequalities despite the growing economy. This supports the claim by Khalilov & Huseyn (2021), the oil revenue spending increased the income share of the top 10 percentile of the population while the lowest percentile remained stable and, in some cases, shrunk. Also, the rising average income did not translate into a meaningful reduction in inequality and links persistent inequality to wage gaps across sectors and to weak fiscal redistribution (Gulaliyev et al., 2018). This is absolutely in line with the MDGs and subsequent SDGs outcomes whereby absolute poverty is drastically reduced whereas the distribution of national income remains highly divergent. Moreover, this supports the literature on pro-poor growth (Walewski & Chubrik, 2010), where absolute gains for poorer households can be assumed to be real gains in equality, which blurs the relative concentration or increasing growth in wealth and income at the top. This is also the case in Azerbaijan, where the bottom improved while the upper tail captured a disproportionate share of oil-fueled expansion and the middle remained less secure than aggregate growth figures implied Gulaliyev et al., 2018); Khalilov & Huseyn (2021).

C. STRUCTURAL CHANGES AND THE LIMITATION OF INCLUSIVE GROWTH - REGIONAL ECONOMIC INEQUALITIES

The distribution of structural and capital expenditure contributes to the widening of inequalities. The rural areas are considerably poorer compared to the urban areas. The government disproportionately spends more in the big cities, and this also contributes to exacerbating the portion of the population in poverty.

Table 3: Income Distribution by Economic Region (Thousand Manats)

Economic Region	2010 Income	2020 Income	% Growth (2010-2020)
Baku City	7,341,200	15,241,500	107.6%
Ganja-Dashkasan	1,852,100	3,912,400	111.2%
Lankaran-Astara	1,512,400	3,010,200	99.0%
Karabakh	1,120,500	2,150,800	91.9%
Nakhchivan AR	890,400	1,845,600	107.2%

Source: State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan (2024).

As Table 3 shows the income distribution by economic regions, Baku city has a large portion, compared to the rest of the rest of the economic regions. The income growth has significantly doubled across all the regions, an indicator of the effect of the pro-poor growth policy of the government, achieving the tickle down effect.

D. COMPARATIVE TO OTHER POST-SOVIET COUNTRIES

Using GDP per capita, in comparison to the other post-Soviet countries, Azerbaijan is doing relatively better than most of the countries. But in consideration to resource-rich and non-resource rich countries,

Georgia has a relatively high GDP per capita. As table 4 has shown. This is a clear indicator that besides structural changes, Georgia is able to achieve growth through other poverty and inequality reduction policies. Azerbaijan, compared to Kazakhstan, a country with similar economic resources, has also shown a difference in inclusive growth. According to Kudebayeva and Barrientos, (2013), Kazakhstan by focusing on fiscal dependence and early inclusive strategy that relies less on commodity rents and boom conditions was able to achieve some degree of diversification in the economy, regional and sectoral spread, that is able to reach a wider poor segment of the population.

Table 4: Comparative GDP Per Capita in Post-Soviet Countries (USD)

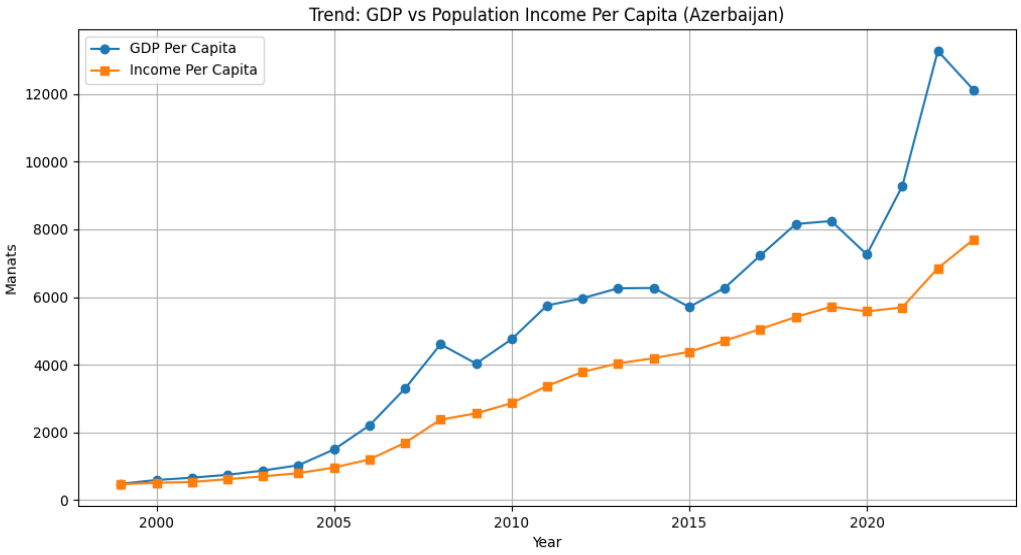
Country	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Azerbaijan	**662.9**	**1,579.8**	**5,922.0**	**5,561.5**	**4,271.7**	**7,126.2**
Armenia	621.5	1,614.9	3,124.8	3,617.5	4,268.3	8,153.4
Belarus	1,273.6	3,125.7	6,030.1	5,941.8	6,424.3	7,828.6
Georgia	647.2	1,484.7	3,073.4	4,116.1	4,256.4	8,111.4
Kazakhstan	1,228.7	3,771.3	9,070.7	10,509.9	9,122.1	13,136.6
Kyrgyzstan	277.8	476.3	880.0	1,121.2	1,185.8	1,969.5
Moldova	354.3	830.4	1,631.7	1,845.2	4,534.8	6,410.8
Russia	1,771.6	5,324.7	10,674.9	9,313.1	10,148.0	13,648.3
Tajikistan	138.4	338.0	748.2	925.9	854.6	1,181.8
Uzbekistan	556.8	546.8	1,376.5	2,492.0	1,740.5	2,495.8

Source: State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan (2024).

E. CORRELATION BETWEEN GDP GROWTH AND INEQUALITIES

The trendline as shown in Figure 1 indicates a divergence between GDP against GDP per capita and income per capita. As GDP grows, the income of households shrinks, widening the gap in inequalities.

Figure 1: Trend lines of GDP against single indicators of GDP Per Capita and Income per capita



The correlation shows a separation in the Azerbaijan government pursuit of structural changes driven by increased GDP growth and the household living conditions, measured by an inclusivity gap.

Table 5: Using the Pearson Correlation Coefficient (r) to calculate the correlation between GDP Growth and Inequalities

Year	GDP (x)	Gap (y)	Dx = (x−x¯)
2019	8,246.3	2,530.1	+3,184.0
2020	7,257.8	1,682.4	+2,195.5
2021	9,278.9	3,583.7	+4,216.6
2022	13,270.9	6,419.8	+8,208.6
2023	12,126.1	4,432.1	+7,063.8

Source: State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan (2024).

$$r = \frac{121,644,614.23}{\sqrt{308,440,989.53 \times 53,459,708.50}}$$

$$r = \frac{121,644,614.23}{128,401,234.33}$$

$$r \approx 0.9473$$

The Pearson Correlation Coefficient (r) = 0.95 indicates a high correlation between GDP growth and the widening gap between the GDP per capita and income per capita. As GDP increases the amount of national income and wealth that reaches the household consistently decreases.

DISCUSSION

The Azerbaijan oil boom generated gains for households, in particular poorer population as the single indicator, the GDP per capita indicates growth, both in income and in some aspects of standard of living. Income rose over the years in consideration, from post-independence to 2024, based on available data. Considerable improvement of welfare came more from government increased fiscal expenditure, in particular in providing welfare and also current transfers. While the government pursued structural changes, these changes have not resulted in widespread in development, or reduced disparity across sectors and regions.

Impact of the slow growth in institutional level development has weakened the appropriate implementation of government policies. There is the overly centralized approach to government implementation of targeted finances, impacting on the redistribution of the resources. Azerbaijan is a clear example of the problem faced by resource rich economies, in transition, and also countries that are predominantly dependent on single commodities to finance its policy targets in reducing widespread inequalities. In as much as inclusivity can still be achieved through these structural changes and fiscal expenditure, but unless these are systematically approached through long term sustainable supply side policies, target not just market reforms to encourage small businesses to function, while also implementing policies that would achieve diversified production, grow the middle class, in addition to maintaining sustainable social benefits.

CONCLUSION

Azerbaijan growth, and its expenditure, both capital and social are tied to oil and gas. Therefore, better days means increased spending, and worse days, decreased spending. This impacts on the ability to have a sustainable growth pattern. The growth in Azerbaijan is weakly connected to diversification, and sectors such as agriculture and manufacturing that could provide sustained employment, and ensure proper redistribution, are only just gaining some traction, but not yet to the level where it can sufficiently complement the main economy driver, the oil and gas. The growth in the GDP experienced through continued production in the oil and gas sector, and the occasional boom over the years, has led to Azerbaijan achieving some degree of economic growth. But how inclusive are these growths? Data has

shown that despite the achievement in reducing poverty, there still remains a wide spread of inequalities. These inequalities are evident because of the increasing gap due to lack of access to commonwealth, whereby the wealth is overly concentrated at the top. Azerbaijan over-reliant on rent-financed social inclusion without inclusive transformation is only able to achieve short term improvement in the living standard of the broader population.

REFERENCES

1. Agarwal, R. (2024, March 4). Back to basics: -what is inclusive growth? by Ruchir Agarwal. IMF. https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/2024/03/B2B-what-is-inclusive-growth-Ruchir-Agarwal
2. Aliyev, K. (2022). *Oil price and exchange rate in Azerbaijan: The role of the oil fund*. ZBW – Leibniz Information Centre for Economics. https://savearchive.zbw.eu/bitstream/11159/6943/1/1796164232_0.pdf
3. Cerra, V. (2022). An inclusive growth framework. In V. Cerra, B. Eichengreen, A. El-Ganainy, & M. Schindler (Eds.), *How to achieve inclusive growth* (pp. 1–46). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oso/9780192846938.003.0001
4. Gulaliyev, M., Ismayilzade, A. A., Azizov, A., Kazimov, F., & Mir-Babayev, R. (2018, October 31). Assessing the degree of inequality in the distribution of national income and its macroeconomic consequences in Azerbaijan. *Artículo de investigación.*
5. Gurbanov, S., Nugent, J., & Mikayilov, J. (2017). Management of oil revenues: Has that of Azerbaijan been prudent? *Economies*, *5*(2), 19. https://doi.org/10.3390/economies5020019
6. Habibov, N. N., & Fan, L. (2006). Social Assistance and the challenges of poverty and inequality in Azerbaijan, a low-income country in transition. *The Journal of Sociology & Social Welfare*, *33*(1). https://doi.org/10.15453/0191-5096.3142
7. Humbatova, S. I., & Hajiev, N. G.-O. (2024). Analysis of the main social macroeconomic indicators of the population during the oil boom in Azerbaijan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *14*(2), 135–149. https://doi.org/10.32479/ijeep.15395
8. Ismayilzade, A. A., Azizov, A., Kazimov, F., & Mir-Babayev, R. (2018). Evaluación del grado de desigualdad en la distribución del ingreso nacional y su consecuencias macroeconómicas en Azerbaiyán [Assessment of the degree of inequality in the distribution of national income and its macroeconomic consequences in Azerbaijan]. *Revista de la Universidad del Zulia*, *7*(17), 164–185.
9. Kalyuzhnova, Y. (2006). Overcoming the curse of hydrocarbon: Goals and governance in the oil funds of Kazakhstan and Azerbaijan. *Comparative Economic Studies*, *48*(4), 583–613. https://doi.org/10.1057/palgrave.ces.8100185
10. Khalilov, H., & Huseyn, R. (2021). Impact of oil revenue spending on income distribution: The case of Azerbaijan. *Economic Alternatives*, *27*(4), 622–639. https://doi.org/10.37075/ea.2021.4.08
11. Kudebayeva, A., & Barrientos, A. (2013). *A decade of poverty reduction in Kazakhstan 2000-2009: Growth and/or redistribution?* (SSRN Scholarly Paper No. 2334179). SSRN. https://doi.org/10.2139/ssrn.2334179
12. Onder, H. (2012). Azerbaijan: Inclusive Growth in a Resource-Rich Economy. *The World Bank*. https://doi.org/10.1596/978-0-8213-9759-6
13. Pomfret, R. (2011). Resource Management and transition in Central Asia, Azerbaijan, and Mongolia. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.1783880
14. Research Group, C. (2020). Social consequences of the oil price shock in the resource rich Post-Soviet countries. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.3598521
15. Roring, G. D. J., & Walewangko, E. N. (2023). Inclusive Economic Growth Analysis of Cities in North Sulawesi. Jurnal Equilibrium, 4.
16. Rosenberg, C. B., & Saavalainen, T. (1998). How to deal with Azerbaijan's oil boom? policy strategies in a resource-rich transition economy. *IMF Working Papers*, *98*(6), 1. https://doi.org/10.5089/9781451929164.001
17. Scholz, G. (2017). *From MDGs to SDGs in Azerbaijan: The way to sustainability and inclusion*. Center for Economic and Social Development. https://cesd.az/new/wp-content/uploads/2017/05/CESD-Paper-From-MDGs-to-SDGs-in-Azerbaijan.pdf
18. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. (2024). *7.1 GDP by oil-gas and non oil-gas sectors of the economy, at current prices.* https://www.stat.gov.az/source/system_nat_accounts/?lang=en
19. Walewski, M., & Chubrik, A. (2010). Oil-led economic growth and the distribution of real household incomes and consumption in Azerbaijan. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.1713099
20. United Nations Azerbaijan. (n.d.). *Sustainable Development Goals*. https://azerbaijan.un.org/en/sdgs

QARABAĞ IQTISADI RAYONUNDA INVESTISIYA VƏ MƏŞĞULLUQ ARASINDA ƏLAQƏNIN EKONOMETRIK TƏHLILI

Məmmədova Nərminə Oktay qızı
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyatın tənzimlənməsi
nmemmedova29@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalədə Qarabağ iqtisadi rayonunda investisiya ilə məşğulluq arasında əlaqə 2015–2024-cü illər üzrə rəsmi göstəricilər əsasında ekonometrik təhlil əsasında qiymətləndirilmişdir. Tədqiqatın məlumat bazasını Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsinin investisiya, məşğulluq, sənaye və kənd təsərrüfatı üzrə cədvəlləri təşkil edir. Təhlildə dinamik müqayisə, artım templərinin hesablanması, Pearson korrelyasiyası və ən kiçik kvadratlar üsulu ilə qurulmuş çoxdəyişənli xətti reqressiya modeli tətbiq olunur. Nəticələr göstərir ki, 2021-ci ildən sonra investisiya həcmi kəskin artsa da, məşğulluq göstəriciləri eyni intensivliklə bərpa olunmamışdır. 2015-ci ildən 2024-cü ilə qədər əsas kapitala yönəldilmiş investisiyalar təxminən 21 dəfə artdığı halda, məşğul əhalinin sayı 7,2 faiz azalmışdır. Artım templəri üzrə korrelyasiya investisiya artımı ilə məşğulluq artımı arasında orta müsbət əlaqə olduğunu göstərir. Qurulmuş reqressiya modelində investisiya dəyişəninin əmsalı müsbət olsa da, statistik baxımdan zəif qalır və bu nəticə bərpanın ilkin mərhələdə daha çox kapitaltutumlu infrastruktur xərclərinə söykəndiyini göstərir. Sənaye və kənd təsərrüfatı dəyişənlərinin əlavə edilməsi modelin izah gücünü bir qədər artırsa da, qısamüddətli məşğulluq reaksiyası yenə məhdud qalır. Məqalədə nəticə kimi əsaslandırılır ki, Qarabağda investisiyanın məşğulluğa təsiri mövcuddur, lakin o, birbaşa və dərhal deyil, mərhələli və struktur baxımından dolayı mexanizmlə reallaşır.
Açar sözlər: *Qarabağ iqtisadi rayonu, investisiya, məşğulluq, ekonometrik təhlil, reqressiya modeli, regional inkişaf.*

Abstract: This article evaluates the relationship between investment and employment in the Karabakh economic region on the basis of official data for 2015–2024. The empirical base consists of regional statistics on capital investment, employment, industry and agriculture. Dynamic comparison, growth-rate calculations, Pearson correlation and an OLS regression model are applied. The findings show that investment expanded sharply after 2021, whereas employment recovered much more slowly. Between 2015 and 2024 capital investment increased almost twenty-one times, while total employment remained below its 2015 level. The correlation coefficient indicates a moderate positive relationship between investment growth and employment growth. In the regression model the coefficient of investment growth remains positive, but statistically weak. This result suggests that the first stage of reconstruction has been predominantly capital-intensive and infrastructure oriented. The article concludes that the employment effect of investment in Karabakh is present but delayed and structurally indirect.
Keywords: *Karabakh economic region, investment, employment, econometric analysis, regression model, regional development*

Giriş

Qarabağ iqtisadi rayonunda bərpa prosesinin əsas hərəkətverici qüvvəsi ilkin mərhələdə dövlət investisiyaları olmuşdur. Münaqişədən sonrakı məkanlarda iqtisadi fəallığın bərpası adətən infrastruktur quruculuğu ilə başlanır və məşğulluq göstəriciləri bu prosesə müəyyən gecikmə ilə reaksiya verir. Buna görə Qarabağ nümunəsində investisiya ilə məşğulluq arasında əlaqənin ayrıca və riyazi əsasda qiymətləndirilməsi zəruridir.

Nəzəri ədəbiyyatda investisiya artımının məşğulluğa təsiri iki əsas kanal üzrə izah olunur. Birinci kanalda kapital qoyuluşu tikinti, nəqliyyat, enerji və xidmət sahələrində birbaşa əmək tələbi yaradır. İkinci kanalda isə investisiya istehsal gücünü genişləndirir və sonrakı mərhələdə daimi məşğulluq üçün baza formalaşdırır. Qarabağ iqtisadi rayonunda bu iki kanal eyni vaxtda işləsə də, onların intensivliyi eyni deyil (Qasımlı, 2021; Nəcəfova & Abdullayeva, 2022).

Problemin aktuallığı onunla bağlıdır ki, investisiyanın yüksək həcmi avtomatik olaraq eyni ölçüdə məşğulluq artımı demək deyil. Əgər kapital qoyuluşu uzun müddət əsasən infrastruktur və tikinti blokunda

cəmlənirsə, əmək bazarı üzərində təsir daha gec və daha seçici formada görünür. Bu səbəbdən Qarabağ iqtisadi rayonunda investisiya ilə məşğulluq arasındakı bağlılığın qısamüddətli və struktur xarakterinin ayırd edilməsi vacibdir.

Məqalənin məqsədi Qarabağ iqtisadi rayonunda investisiya ilə məşğulluq arasındakı əlaqəni rəsmi statistik göstəricilər əsasında iqtisadi-statistik və ekonometrik üsullarla qiymətləndirməkdir. Tədqiqatda əvvəlcə nəzəri çərçivə sistemləşdirilir, sonra investisiya və məşğulluğun dinamikası təhlil edilir, sonda isə əlaqə Pearson korrelyasiyası və çoxdəyişənli xətti reqressiya ilə yoxlanılır.

1. İnvestisiya və məşğulluq əlaqəsinin nəzəri-metodoloji çərçivəsi

Qarabağın iqtisadi potensialı təbii resurslar, aqrar baza, nəqliyyat mövqeyi və çoxsahəli inkişaf imkanları ilə xarakterizə olunur. Bununla belə, postmünaqişə şəraitində həmin potensialın reallaşması ilkin olaraq infrastrukturun bərpasından keçir. Regionda yolların, enerji xətlərinin, yaşayış fondunun və inzibati obyektlərin qurulması sərmayənin ilk funksional istiqamətini müəyyən edir. Məhz buna görə investisiyanın məşğulluğa təsiri burada klassik bazar iqtisadiyyatındakı kimi ani deyil, mərhələli xarakter daşıyır (Mirkişili, 2020; Quliyev & Cəfərova, 2023).

Postmünaqişə iqtisadiyyatlarında məşğulluğun bərpası yalnız ümumi sərmayə həcmi ilə deyil, həmin sərmayənin sahəvi istiqaməti ilə müəyyən olunur. Əmək tutumlu xidmət və emal fəaliyyətləri məşğulluğa daha tez ötürülür, kapital tutumlu infrastruktur xərcləri isə uzunmüddətli istehsal və bazar genişlənməsi üçün zəmin yaradır. Qarabağ üzrə nəzərdə tutulan inkişaf modelində aqrar blok, sənaye, logistika, xidmət və turizm bir-birini tamamlayan istiqamətlər kimi təqdim olunsa da, onların əmək bazarına təsiri eyni sürətlə baş vermir (Asədov et al., 2022; Qasımlı, 2021).

Metodoloji baxımdan investisiya-məşğulluq əlaqəsinin qiymətləndirilməsində iki yanaşma fərqləndirilir. Səviyyə göstəriciləri uzunmüddətli struktur vəziyyəti göstərir, artım templəri isə qısamüddətli reaksiyanı ölçməyə imkan verir. Qarabağ iqtisadi rayonu üçün hər iki yanaşma birlikdə əhəmiyyətlidir, çünki 2021-ci ildən sonra müşahidə olunan sıçrayışlar həm real iqtisadi fəallığın, həm də bərpa mərhələsinin spesifik institusional xarakterinin nəticəsidir.

Bu məqalədə nəzəri çərçivə ilə empirik nəticə arasında körpü kimi belə fərziyyə götürülür: investisiya artımı qısa müddətdə məşğulluğu müsbət istiqamətdə dəstəkləyir, lakin həmin təsirin gücü sərmayənin hansı hissəsinin tikinti, hansı hissəsinin isə istehsal və xidmət mərhələsinə keçməsindən asılıdır. Məhz buna görə modelə investisiya ilə yanaşı sənaye və kənd təsərrüfatı göstəriciləri də nəzarət dəyişənləri kimi daxil edilir.

2. Məlumat bazası və tədqiqat metodu

Tədqiqatın məlumat bazasını Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsinin Qarabağ iqtisadi rayonu üzrə 2015–2024-cü illəri əhatə edən investisiya, məşğulluq, sənaye və kənd təsərrüfatı göstəriciləri təşkil edir. Seçilmiş zaman intervalı təsadüfi deyil. Bir tərəfdən, əmək bazarı üzrə ardıcıl illik sıra məhz bu dövr üzrə mövcuddur, digər tərəfdən isə investisiya göstəricilərində həm işğaldan sonrakı sürətli artım, həm də ondan əvvəlki nisbətən sabit mərhələ görünür.

Tədqiqat üç mərhələdə aparılmışdır. Birinci mərhələdə əsas kapitala yönəldilmiş investisiyalar, məşğul əhali, muzdlu işçilər, sənaye məhsulu və kənd təsərrüfatının ümumi məhsulu üzrə zaman sıraları müqayisə edilmişdir. İkinci mərhələdə həmin göstəricilərin illik artım templəri hesablanmış və təsviri statistikası təqdim edilmişdir. Üçüncü mərhələdə isə artım templəri əsasında Pearson korrelyasiyası və çoxdəyişənli xətti reqressiya modeli qurulmuşdur.

Reqressiya modelində asılı dəyişən kimi məşğul əhalinin illik artım tempi götürülmüşdür. Müstəqil dəyişənlər isə əsas kapitala yönəldilmiş investisiyaların, sənaye məhsulunun və kənd təsərrüfatı məhsulunun illik artım tempidir. Bu seçim investisiyanın məşğulluğa təsirini təkcə birbaşa deyil, istehsal genişlənməsi ilə bağlı dolayı kanallar daxilində də qiymətləndirməyə imkan verir. Müşahidələrin sayı məhdud olduğuna görə nəticələr ehtiyatla şərh olunur və onlar daha çox qısamüddətli meyl kimi təqdim edilir.

Cədvəl 1. Qarabağ iqtisadi rayonunda investisiya və məşğulluq göstəricilərinin dinamikası, 2015–2024

İl	Əsas kapitala yönəldilmiş investisiyalar, min manat	Məşğul əhali, nəfər	Muzdlu işçilərin məşğulluqda xüsusi çəkisi, %
2015	123 499,1	379 157	18,6
2016	229 952,1	386 304	18,2
2017	467 070,0	391 372	17,5
2018	378 044,4	394 920	17,4
2019	278 150,1	332 062	20,9
2020	259 565,6	326 788	20,7
2021	1 342 032,7	335 094	19,5
2022	1 887 243,3	341 242	19,2
2023	2 254 399,8	346 325	18,9
2024	2 595 740,7	351 839	18,7

Mənbə: Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsinin əmək bazarı cədvəlləri və müəllifin hesablamaları əsasında tərtib edilmişdir.

Cədvəl 1 göstərir ki, Qarabağ iqtisadi rayonunda investisiya dinamikası ilə məşğulluq dinamikası eyni ritmdə hərəkət etmir. 2015-ci ildə 123,5 milyon manat olan investisiya həcmi 2024-cü ildə 2,6 milyard manatı keçmişdir. Eyni dövrdə məşğul əhali 379 157 nəfərdən 351 839 nəfərə enmiş, muzdlu işçilərin məşğulluqda xüsusi çəkisi isə 18,6 faizdən 18,7 faizə yaxın səviyyədə qalaraq ciddi struktur sıçrayışı göstərməmişdir. Bu nəticə sərmayənin ilkin mərhələdə daha çox tikinti və infrastruktur yüklü olmasını, daimi əmək tələbinin isə daha yavaş formalaşmasını göstərir.

Cədvəl 2. Qarabağ iqtisadi rayonunda seçilmiş istehsal göstəricilərinin dinamikası, 2015–2024

İl	Sənaye məhsulu, min manat	Kənd təsərrüfatının ümumi məhsulu, min manat	Sənaye istehsalı indeksi, %
2015	44 700,1	500 416,7	103,3
2016	57 147,9	519 897,1	114,6
2017	85 859,7	609 391,5	114,9
2018	97 485,4	699 226,8	107,6
2019	125 602,5	805 165,7	99,6
2020	114 680,1	849 469,8	102,4
2021	194 776,3	910 375,5	100,8
2022	193 829,0	1 113 120,3	95,9
2023	274 771,6	1 255 407,4	116,3
2024	316 593,1	1 460 495,5	106,1

Mənbə: Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsinin sənaye və kənd təsərrüfatı üzrə açıq statistik cədvəlləri əsasında müəllifin tərtibi

İstehsal göstəricilərinin təhlili göstərir ki, investisiyanın məşğulluğa ötürülməsi üçün təkcə kapital qoyuluşu kifayət etmir; onun istehsal və bazar həcminə çevrilməsi də vacibdir. 2015–2024-cü illərdə sənaye məhsulu 44,7 milyon manatdan 316,6 milyon manata, kənd təsərrüfatının ümumi məhsulu isə 500,4 milyon manatdan 1,46 milyard manata yüksəlmişdir. Deməli, investisiya fonunda istehsal genişlənməsi baş vermişdir, lakin bu genişlənmə əmək bazarında eyni güclə görünməmişdir. Bu, Qarabağda kapitaltutumlu bərpanın əmək tutumlu mərhələyə tam keçmədiyini göstərir.

3. Korrelyasiya və ekonometrik qiymətləndirmə

Ekonometrik mərhələdə səviyyə göstəricilərindən çox artım templəri ilə işləmək məqsədəuyğun hesab edilmişdir. Bu seçim zaman trendinin yaratdığı süni yüksək uyğunluğu zəiflədir və investisiya artımının məşğulluq artımına qısamüddətli təsirini daha dəqiq göstərir. 2016–2024-cü illər üzrə artım templəri əsasında formalaşdırılmış məlumat massivi 9 müşahidədən ibarətdir.

Cədvəl 3. Artım templəri üzrə dəyişənlərin təsviri statistikası, 2016–2024

Dəyişən	N	Orta	Standart kənarlaşma	Minimum	Maksimum
Məşğulluq artımı (g_employment)	9	-0,660	5,838	-15,917	2,542
İnvestisiya artımı (g_investment)	9	69,933	137,534	-26,424	417,030
Sənaye artımı (g_industry)	9	26,457	24,861	-8,696	69,843
Aqrar artım (g_agri)	9	12,785	6,075	3,893	22,270

Mənbə: 2015-2024-cü illər üzrə rəsmi məlumatlar əsasında müəllifin hesablamaları.

Təsviri statistika investisiya dəyişəninin ən yüksək volatilliyə malik olduğunu göstərir. Başqa sözlə, Qarabağda kapital qoyuluşu ildən ilə kəskin dəyişir, məşğulluq isə daha sərt və ləng reaksiya verir. Bu asimmetriya məhz investisiya ilə məşğulluq arasındakı əlaqənin niyə avtomatik və xətti görünmədiyini izah edir.

Cədvəl 4. Artım templəri üzrə Pearson korrelyasiya matrisi

Dəyişən	g_employment	g_investment	g_industry	g_agri
g_employment	1,000	0,360	0,091	-0,093
g_investment	0,360	1,000	0,735	-0,339
g_industry	0,091	0,735	1,000	-0,174
g_agri	-0,093	-0,339	-0,174	1,000

Mənbə: 2015-2024-cü illər üzrə rəsmi məlumatlar əsasında müəllifin hesablamaları.

Korrelyasiya nəticələri investisiya artımı ilə məşğulluq artımı arasında orta müsbət əlaqə olduğunu göstərir (r=0,360). Bu göstərici investisiyanın məşğulluğa tam neytral olmadığını, lakin təsirin güclü və sabit də olmadığını göstərir. Sənaye artımı ilə məşğulluq artımı arasındakı əlaqənin zəif qalması, aqrar artımla əlaqənin isə mənfi görünməsi Qarabağda bərpanın qısamüddətli mərhələdə daha çox struktur dəyişmə kimi getdiyini göstərir.

Cədvəl 5. Məşğulluq artımının çoxdəyişənli xətti reqressiya modeli

Dəyişən	B	Std. səhv	t	Sig.	Qeyd
Sabit	-1,031	6,416	-0,161	0,879	
g_investment	0,028	0,026	1,075	0,331	müsbət, zəif
g_industry	-0,092	0,140	-0,655	0,541	mənfi, qeyri-sabit
g_agri	0,063	0,411	0,153	0,884	müsbət, zəif
Model xülasəsi	R^2=0,200	Adj.R^2=-0,281	F=0,416	p=0,750	DW=1,776

Mənbə:Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi [AR DSK]. (2026b). Yeni iş yerləri. Statistik məcmuə.; Əmək bazarı üzrə statistik cədvəllər

Reqressiya modelində investisiya artımının əmsalı müsbətdir (B=0,028), lakin statistik baxımdan zəif qalır. Bu nəticə iki məqamı göstərir. Birincisi, Qarabağ iqtisadi rayonunda sərmayə artımı qısamüddətdə məşğulluğa müsbət impuls verir. İkincisi, həmin impuls hələ kifayət qədər güclü deyil və tam məşğulluq effekti yaratmır. Sənaye və aqrar dəyişənlərin statistik baxımdan əhəmiyyətli çıxmaması isə qısamüddətli əmək reaksiyasının regionda hələ formalaşma mərhələsində olduğunu göstərir.

Modelin aşağı izah gücü ayrıca analitik məna daşıyır. Qarabağ kimi bərpa mərhələsində olan iqtisadi məkanlarda məşğulluq təkcə investisiyanın həcmi ilə deyil, həm də minatəmizləmə, məskunlaşma sürəti, sosial infrastrukturun istifadəyə verilməsi, yerli bazarın dərinliyi və sahibkarlıq aktivliyi ilə formalaşır. Buna görə investisiya ilə məşğulluq arasında əlaqənin mövcud olması qəbul edilsə də, onun birbaşa və ani xarakter daşıdığı söylənə bilməz.

Nəticə

Aparılan təhlil göstərir ki, Qarabağ iqtisadi rayonunda investisiya ilə məşğulluq arasında əlaqə mövcuddur, lakin bu əlaqə xətti, dərhal və yüksək intensivlikli formada görünmür. 2021-ci ildən sonra investisiyanın kəskin yüksəlməsi məşğulluğun eyni sürətlə artmasına gətirib çıxarmamışdır. Bu uyğunsuzluq sərmayənin ilkin mərhələdə əsasən infrastruktur və tikinti blokunda cəmlənməsi ilə bağlıdır.

Korrelyasiya və reqressiya nəticələri investisiya artımının məşğulluq artımına müsbət istiqamətli, lakin statistik baxımdan zəif təsir göstərdiyini üzə çıxarır. Deməli, Qarabağda bərpanın birinci mərhələsi daha çox kapital fondunun yaradılmasına xidmət etmiş, əmək bazarı isə həmin fondun istehsal və xidmət mərhələsinə keçidinə paralel olaraq formalaşmağa başlamışdır.

Bu nəticə siyasət baxımından da konkret mesaj verir. Qarabağda investisiyanın daimi məşğulluq effekti yaratması üçün sərmayənin növbəti mərhələdə aqrar emal, sənaye, logistika, turizm, xidmət və mikro sahibkarlıq kanallarına daha güclü ötürülməsi zəruridir. Əks halda yüksək investisiya həcmi ilə məhdud əmək effekti arasında mövcud olan məsafə davam edəcəkdir.

Beləliklə, Qarabağ iqtisadi rayonunda investisiya-məşğulluq münasibəti yalnız məbləğ göstəricisi ilə deyil, investisiyanın funksional istiqaməti ilə qiymətləndirilməlidir. Regionun növbəti inkişaf mərhələsində əsas vəzifə kapitalyönlü bərpanı əmək tutumlu və davamlı iqtisadi genişlənməyə çevirməkdən ibarətdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Asədov, Ə., Mirzəyev, S., & Əsədzadə, Z. (2022). Azərbaycan Respublikasının keyfiyyətli ərzaq təminatında işğaldan azad edilmiş ərazilərin potensial imkanları. İqtisadi İslahatlar jurnalı, 3(4), 39-52.
2. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. (2025a). Azərbaycanın regionları. Statistik məcmuə. Bakı.
3. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. (2025b). Tikinti və əsas kapitala investisiyalar üzrə statistik cədvəllər. Bakı.
4. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. (2025c). Əmək bazarı üzrə statistik cədvəllər. Bakı.
5. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. (2025d). Sənaye üzrə statistik cədvəllər. Bakı.
6. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. (2025e). Kənd təsərrüfatı üzrə statistik cədvəllər. Bakı.
7. Mirkişili, T. (2020). Qarabağ regionunun iqtisadi potensialı ilə bağlı analitik qeydlər və çıxış materialları. Bakı.
8. Nəcəfova, K., & Abdullayeva, N. (2022). İşğaldan azad edilmiş ərazilərdə aqrar sahənin inkişaf perspektivləri. Bakı: UNEC nəşri.
9. Qasımlı, V. (2021). Qarabağda iqtisadiyyatın əsas istiqamətləri və ağırlıq mərkəzləri. Bakı.
10. Quliyev, A., & Cəfərova, G. (2023). İşğaldan azad edilmiş ərazilərin sənaye potensialına dəymiş zərərin təhlili və SWOT analizi. Azərbaycan Ali Texniki Təhsil Müəssisələrinin Xəbərləri, 27(4), 127-138.

AZƏRBAYCANDA ÜDM VƏ VERGİ GƏLİRLƏRİ ARASINDA KORRELYASİYA ASILILIĞI: 2050-Cİ İLƏ QƏDƏR OLAN DÖVR ÜÇÜN EKONOMETRİK PROQNOZ

Ayşən Əliyeva
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və İdarəetmə fakültəsi
Maliyyə və mühasibat kafedrası
Maliyyə ixtisası
ayshanaliyeva9@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Fidan Abbaszadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və İdarəetmə fakültəsi
Maliyyə və mühasibat kafedrası
Maliyyə ixtisası
fidanabbaszad110@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Məqalədə Azərbaycan Respublikasının 2005-2025-ci illəri əhatə edən rəsmi makroiqtisadi göstəriciləri əsasında Ümumi Daxili Məhsul (ÜDM) və vergi gəlirləri arasındakı qarşılıqlı əlaqə tədqiq olunur. Analiz prosesi Google Colab mühitində Python proqramlaşdırma dili vasitəsilə həyata keçirilmiş, korrelyasiya və xətti reqressiya modelləri qurulmuşdur. Tədqiqatın məlumat bazası Azərbaycan Respublikası Mərkəzi Bankının (CBAR) rəsmi statistik bülletenlərinə əsaslanır. 2005–2025-ci illər üzrə statistik dinamika və 2026–2050-ci illər üzrə proqnoz ssenarisi əsasında ekonometrik qiymətləndirmə aparılmışdır. Xətti reqressiya metodundan istifadə edilərək qurulmuş ekonometrik model vasitəsilə 2050-ci ilə qədər olan dövr üçün strateji proqnozlar irəli sürülür. Nəticələr göstərir ki, istehsal, gəlir və investisiya artdıqca vergi bazası genişlənir, nəticədə büdcə daxilolmaları yüksəlir. Məqalədə uzunmüddətli fiskal siyasət üçün praktik tövsiyələr də təqdim olunur. Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, iqtisadi artım və vergi yığımı arasında yüksək dərəcəli müsbət korrelyasiya mövcuddur (R^2= 0.96)

Açar sözlər: Ekonometrik modelləşdirmə, iqtisadi artım, vergi gəlirləri, ÜDM, fiskal siyasət, proqnozlaşdırma, Google Colab, Python, Mərkəzi Bank, xətti reqressiya.

Abstract: This article examines the relationship between Gross Domestic Product (GDP) and tax revenues in the Republic of Azerbaijan based on official macroeconomic indicators covering the period 2005–2025. The analysis was conducted using the Python programming language in the Google Colab environment, where correlation and linear regression models were developed. The database of the study is based on the official statistical bulletins of the Central Bank of the Republic of Azerbaijan (CBAR). Econometric evaluation was carried out using the statistical dynamics of 2005–2025 and a forecast scenario for the period 2026–2050. By applying the linear regression method, strategic forecasts up to the year 2050 were generated through the constructed econometric model. The results indicate that as production, income, and investment increase, the tax base expands, leading to higher budget revenues. The article also provides practical recommendations for long-term fiscal policy. The study concludes that there is a strong positive correlation between economic growth and tax collection (**$R^2 = 0.96$**).
Keywords: Econometric modeling, economic growth, tax revenues, GDP, fiscal policy, forecasting, Google Colab, Python, Central Bank, linear regression

Giriş:
Müasir makroiqtisadi tənzimlənmə şəraitində dövlətin maliyyə dayanıqlığı birbaşa olaraq vergi daxilolmalarının dinamikasından asılıdır. Dövlət büdcəsinin gəlirlərinin böyük hissəsi vergilər hesabına formalaşır. Bu vəsaitlər təhsil, səhiyyə, infrastruktur, müdafiə və sosial müdafiə xərclərinin maliyyələşdirilməsinə yönəldilir. Digər tərəfdən, vergi dərəcələri, güzəştlər və inzibatçılıq mexanizmləri sahibkarlıq mühitinə, investisiya qərarlarına və istehlak davranışına təsir göstərir. İqtisadi aktivlik yüksəldikcə müəssisələrin dövriyyəsi artır, əməkhaqqı fondu genişlənir, mənfəət çoxalır və nəticədə vergi daxilolmaları yüksəlir. Buna görə iqtisadi artım ilə vergi gəlirləri arasında sabit və məntiqli əlaqə mövcuddur. Azərbaycan Respublikasında iqtisadiyyatın diversifikasiyası və qeyri-neft sektorunun stimullaşdırılması dövlət siyasətinin prioritet istiqamətidir. Vergi gəlirləri təkcə xərclərin maliyyələşdirilməsi aləti deyil, həm də iqtisadi artımın keyfiyyətini göstərən indikatordur. Bu tədqiqatın əsas məqsədi ÜDM-in artımı ilə vergi daxilolmaları arasındakı funksional asılılığı riyazi-statistik metodlarla analiz etmək və gələcək onilliklər üçün inkişaf ssenarilərini proqnozlaşdırmaqdır.

Metodologiya və Verilənlər Bazası:
Tədqiqatın empirik bazasını 2005-2025-ci illər üzrə ÜDM-in nominal həcmi və müvafiq dövrlər üzrə büdcəyə vergi daxilolmalarının göstəriciləri təşkil edir. Ekonometrik təhlil zamanı Python proqramlaşdırma dili və Sklearn kitabxanasının xətti reqressiya (Linear Regression) alqoritmindən istifadə edilmişdir. Modelin etibarlılığını yoxlamaq üçün determinasiya əmsalı (R^2) və korrelyasiya matrisi tətbiq olunmuşdur. 2026–2050-ci illər üçün baza ssenarisi qurulmuş, ÜDM üzrə orta illik artım tempinin 3.2 faiz, vergi gəlirləri üzrə isə 3.8 faiz olacağı fərz edilmişdir.

Azərbaycan Respublikası üzrə ÜDM və Vergi Daxilolmalarının Dinamikası (2005-2025)

İl	ÜDM (mlrd AZN)	Vergi gəlirləri (mlrd AZN)
2005	12.50	2.10
2006	18.70	3.20
2007	28.40	4.90
2008	40.10	6.60
2009	35.60	5.90
2010	42.50	7.00
2011	52.10	8.40
2012	54.70	9.10
2013	58.20	9.70
2014	59.00	10.30
2015	54.40	9.40
2016	60.40	10.80
2017	70.10	12.50
2018	80.10	14.80

2019	81.90	15.60
2020	72.40	13.70
2021	92.80	18.20
2022	133.80	25.10
2023	123.00	23.00
2024	126.30	24.40
2025	129.10	16.36

Analiz və statistik nəticələrin şərhi:
Azərbaycanda ÜDM və vergi arasındakı asılılıq analizi (2005-2025)
Korrelyasiya əmsalı: 0.9669
R^2 göstəricisi: 0.9350
Reqressiya modeli: Vergi = -0.174 + (0.179) × ÜDM
Modelin statistik əhəmiyyəti aşağıdakı indikatorlarla xarakterizə olunur:

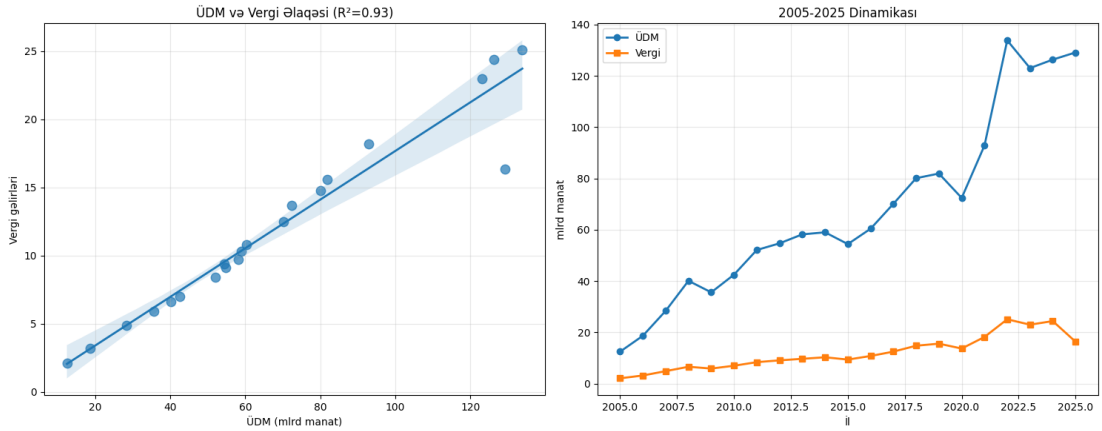
- **Yüksək korrelyasiya asılılığı:** ÜDM və vergi daxilolmaları arasındakı korrelyasiya əmsalı **0.9669** təşkil edir. Bu göstərici dəyişənlər arasında "mükəmmələ yaxın" müsbət əlaqənin olduğunu sübut edir və iqtisadi artımın birbaşa olaraq vergi bazasının genişlənməsi ilə müşayiət olunduğunu göstərir.
- **Determinasiya Əmsalı (R^2):** Modelin determinasiya əmsalı **0.9350**-dir. Bu o deməkdir ki, ölkədə vergi daxilolmalarındakı dəyişikliklərin **93.5%**-i məhz ÜDM-in dinamikası ilə izah olunur. Qalan **6.5%**-lik kənarlaşma isə vergi dərəcələrindəki dəyişikliklər, vergi inzibatçılığındakı islahatlar və digər ekzogen faktorların payına düşür.

Reqressiya tənliyinin iqtisadi şərhi:
Tədqiqat nəticəsində əldə edilmiş xətti reqressiya tənliyi aşağıdakı kimidir:

$$\text{Vergi} = -0.174 + (0.179) \times \text{ÜDM}$$

Tənliyin parametrləri Azərbaycanın fiskal potensialı haqqında mühüm məlumatlar verir:
1. **Vergi Elastikliyi:** Modelin əsas parametri olan **0.179** əmsalı göstərir ki, tədqiq olunan dövr ərzində nominal ÜDM-də yaranan hər **1 milyard manatlıq** artım dövlət büdcəsinə orta hesabla **179 milyon manat** əlavə vergi gəliri qazandırmışdır.
2. **Sabit Həddi:** Tənlikdəki sabit həddin (-0.174) mənfi olması riyazi kəsişmə nöqtəsini ifadə etməklə yanaşı, iqtisadiyyatın çox kiçik miqyaslarında vergi yığımının minimal səmərəlilik həddində olduğunu simvolizə edir.

Nəticə:
Ekonometrik modelin nəticələrinə əsasən, Azərbaycan iqtisadiyyatında ÜDM və vergi gəlirləri arasında **0.9669** səviyyəsində yüksək korrelyasiya müəyyən edilmişdir. Determinasiya əmsalı (R^2=0.935) göstərir ki, fiskal gəlirlərin formalaşmasında iqtisadi artım həlledici faktordur. Reqressiya modelinin parametrləri (Vergi = -0.174 + (0.179) × ÜDM) ölkənin vergi potensialının iqtisadi dinamikaya yüksək həssaslıqla reaksiya verdiyini və hər vahid ÜDM artımının büdcə gəlirlərinə əhəmiyyətli töhfə verdiyini riyazi olaraq sübut edir.



Nəticə: ÜDM ilə vergi gəlirləri arasında güclü müsbət əlaqə mövcuddur.

Ekonometrik Modelin Analizi:
Tədqiqat nəticəsində əldə olunan reqressiya tənliyi aşağıdakı kimidir:

$$\text{Vergi} = 1.968 + 0.132 \times \text{ÜDM}$$

Bu tənliyin parametrlərinin iqtisadi şərhi göstərir ki, Azərbaycan iqtisadiyyatında ÜDM-in hər 1 milyard manatlıq nominal artımı vergi daxilolmalarının orta hesabla 132 milyon manat artması ilə nəticələnir. Korrelyasiya əmsalının 0.9799 olması dəyişənlər arasında sıx düzxətli asılılığın olduğunu sübut edir.
Modelin R^2 göstəricisi 0.96-dır ki, bu da vergi daxilolmalarındakı dəyişkənliyin 96%-nin ÜDM-in dinamikası ilə izah edildiyini göstərir. Bu, iqtisadi artım tempinin fiskal gəlirlər üçün həlledici faktor olduğunu təsdiqləyir.
Empirik nəticələr:
Hesablamalar ÜDM ilə vergi gəlirləri arasında güclü müsbət əlaqə olduğunu göstərir. İqtisadiyyat böyüdükcə vergi daxilolmaları da artmışdır. Bu nəticə onu göstərir ki, istehsalın və gəlirlərin yüksəlməsi dövlət büdcəsinin imkanlarını genişləndirir.
Xüsusilə 2005–2014-cü illərdə enerji sektorundan gələn gəlirlər ümumi iqtisadi fəallığı artırmış, bu da vergi gəlirlərində sürətli yüksəliş yaratmışdır. Bu dövrdə həm investisiya qoyuluşları, həm də dövlət xərcləri artmışdır.
2015–2016-cı illərdə neft qiymətlərinin azalması və məzənnə dəyişiklikləri səbəbindən artım tempi zəifləmişdir. Lakin sonrakı mərhələdə qeyri-neft sektorunun inkişafı, rəqəmsallaşma və vergi inzibatçılığında islahatlar nəticəsində vergi yığımında bərpa müşahidə olunmuşdur.
Model nəticələri onu göstərir ki, vergi gəlirlərinin dayanıqlı artımı üçün əsas amil iqtisadi bazanın genişlənməsidir. Sadəcə vergi dərəcələrinin artırılması uzunmüddətli həll yolu hesab edilmir.

Məlumatların Təsviri Statistikası:
Modelin qurulduğu dəyişənlərin statistik xüsusiyyətləri aşağıdakı kimidir:

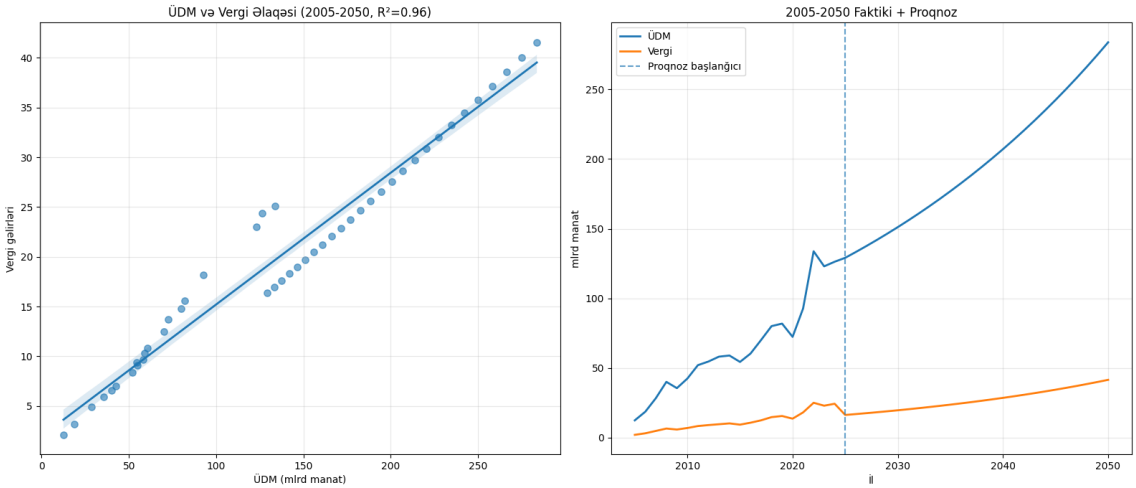
- **Müşahidə sayı:** 21 il (2005-2025)
- **ÜDM üzrə orta qiymət:** 74.95 mlrd. AZN
- **Vergi üzrə orta qiymət:** 8.64 mlrd. AZN
- **Korrelyasiya əmsalı:** 0.9669 (Dəyişənlər arasında çox güclü müsbət əlaqə mövcuddur).
- **P-Value:** < 0.001 (Əlaqənin təsadüfi olma ehtimalı sıfıra yaxındır, nəticələr statistik cəhətdən tam etibarlıdır).

2026-2050-ci İllər Üçün İnkişaf Ssenariləri:
Qurulmuş ekonometrik simulyasiya göstərir ki, Azərbaycan iqtisadiyyatı növbəti 25 ildə keyfiyyətcə yeni mərhələyə qədəm qoyacaqdır. Proqnoza əsasən, 2030-cu ildə ÜDM 151.12 mlrd manata, vergi gəlirləri isə 19.71 mlrd manata çatacaqdır. Daha uzunmüddətli perspektivdə, 2050-ci ildə Azərbaycanın nominal ÜDM-nin 283.74 mlrd manat həcmində olacağı ehtimal edilir. Bu dövrdə vergi gəlirlərinin 41.56 mlrd manat səviyyəsinə yüksəlməsi dövlətin sosial və infrastruktur layihələrini daha geniş miqyasda maliyyələşdirməsinə imkan verəcəkdir. Bu artım həm də vergi daxilolmalarının ÜDM-dəki payının (fiskal yükün) optimallaşdığını göstərir.

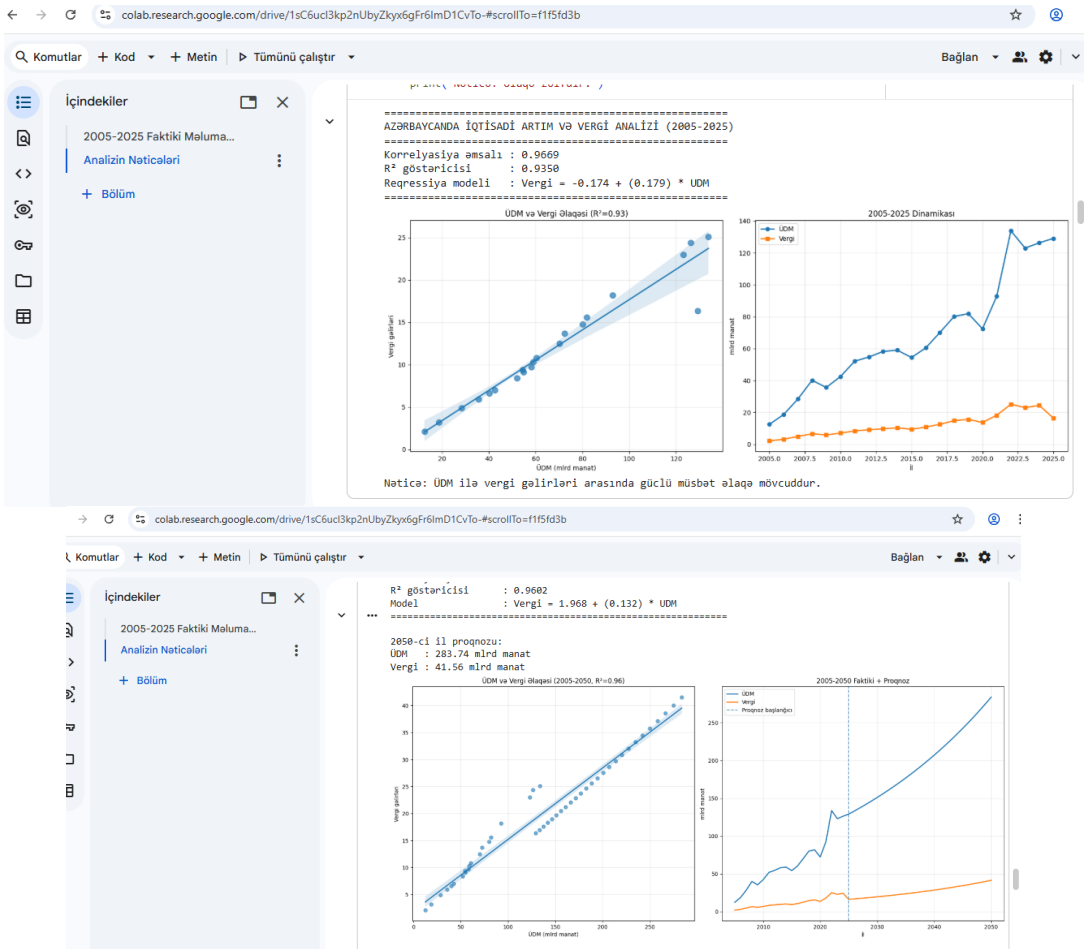
Analizin nəticələri:
(Qeyd: Bu statistika 2005-2025 faktiki məlumatlar və 2026-2050 proqnoz məlumatlarını birləşdirən ümumi modelə aiddir.)
Korrelyasiya əmsalı: 0.9799
R^2 göstəricisi: 0.9602
Model: $\text{Vergi} = 1.968 + (0.132) \times \text{ÜDM}$
2050-ci il proqnozu:
ÜDM: 283.74 mlrd manat
Vergi: 41.56 mlrd manat

2026-2050 proqnoz göstəriciləri cədvəli:

İl	ÜDM Proqnozu	Vergi Proqnozu
2026	133.23	16.98
2027	137.49	17.63
2028	141.89	18.30
2029	146.44	18.99
2030	**151.12**	**19.71**
2031	155.96	20.46
2032	160.95	21.24
2033	166.10	22.05
2034	171.41	22.89
2035	**176.90**	**23.76**
2036	182.56	24.66
2037	188.40	25.59
2038	194.43	26.57
2039	200.65	27.58
2040	**207.07**	**28.62**
2041	213.70	29.71
2042	220.54	30.84
2043	227.59	32.01
2044	234.88	33.23
2045	**242.39**	**34.49**
2046	250.15	35.80
2047	258.15	37.16
2048	266.42	38.58
2049	274.94	40.04
2050	**283.74**	**41.56**



Google Colab Proqramındakı modelin təsviri:



Yekun və strateji tövsiyələr:

Tədqiqatın nəticələri sübut edir ki, Azərbaycanın makroiqtisadi sistemi uzunmüddətli inkişaf üçün kifayət qədər dayanıqlı fundamental bazaya malikdir. Lakin modelin proqnozlaşdırdığı nominal artımın real rifah halına çevrilməsi və 2050-ci il hədəflərinə maneəsiz çatılması üçün kompleks iqtisadi islahatların davam etdirilməsi zəruridir. Bu kontekstdə aşağıdakı strateji istiqamətlərin prioritetləşdirilməsi təklif olunur:

1. Qeyri-neft sektorunun struktur transformasiyası

Azərbaycan iqtisadiyyatının karbohidrogen resurslarından asılılığının azaldılması təkcə ÜDM-in diversifikasiyası deyil, həm də vergi bazasının stabilləşdirilməsi baxımından həyati əhəmiyyət kəsb edir. Neft qiymətlərinin qlobal bazarlarda volatil (dəyişkən) xarakteri büdcə gəlirlərini xarici şoklara qarşı həssas edir. Bu səbəbdən, modelin proqnozlaşdırdığı 283.74 mlrd manatlıq ÜDM-in strukturunda yüksək texnologiyalar, kənd təsərrüfatı, turizm və tranzit-logistika imkanlarının payı artırılmalıdır. Sənaye zonalarının genişləndirilmiş fəaliyyəti və ixrac potensiallı istehsalın stimullaşdırılması vergi daxilolmalarının neft faktorundan kənarlaşaraq daha dayanıqlı sektoral mənbələrdən qidalanmasını təmin edəcəkdir.

2. Vergi İnzibatçılığının Rəqəmsal Transformasiyası və "Ağ iqtisadiyyat"

Modeldə vergi gəlirlərinin ÜDM-dən daha sürətli artması (3.8% qarşı 3.2%) birbaşa olaraq vergi inzibatçılığının səmərəliliyinin artması fərziyyəsinə söykənir. Bu hədəfə çatmaq üçün "Blockchain" texnologiyalarının tətbiqi, elektron qaimə-faktura sisteminin tam inteqrasiyası və süni intellekt əsaslı risk analizlərinin genişləndirilməsi qaçılmazdır. Rəqəmsallaşma vergi yayınmalarının qarşısını almaqla yanaşı, kölgə iqtisadiyyatının miqyasını əhəmiyyətli dərəcədə kiçildir. Fiskal şəffaflığın artırılması biznes mühiti üçün ədalətli rəqabət şəraiti yaradır ki, bu da orta müddətli dövrdə özəl investisiyaların həcmini və dolayısı ilə vergi tutulan bazanı böyüdür.

3. Vergi elastikliyinin qorunması və iqtisadi təşviqlər

Vergi elastikliyi iqtisadi artımın vergi daxilolmalarına hansı dərəcədə "cavab verdiyini" göstərən əsas göstəricidir. Modelin 0.132 əmsalı iqtisadiyyatın vergi generasiya gücünün yüksək olduğunu göstərir. Bu elastikliyin qorunması üçün vergi yükü ilə iqtisadi artım arasında qızıl ortanı tapmaq vacibdir. Həddindən artıq yüksək vergi dərəcələri biznes aktivliyini boğa biləcəyi üçün, dövlət investisiya təşviqi sənədləri və vergi güzəştləri vasitəsilə strateji sahələri dəstəkləməlidir. Xüsusilə işğaldan azad edilmiş ərazilərdə tətbiq olunan vergi imtiyazları regionun iqtisadi dövriyyəyə daxil olmasını sürətləndirərək, 2050-ci il proqnozlarının reallaşmasına əlavə katalizator təsiri bağışlayacaqdır.

4. Maliyyə Dayanıqlığı və 2050-ci İl Perspektivi

Yekun olaraq qeyd edilməlidir ki, Azərbaycan 2050-ci ilə qədər nominal iqtisadi həcmini iki dəfədən çox artırmaq potensialına malikdir. Lakin bu kəmiyyət artımı keyfiyyət dəyişiklikləri ilə müşayiət olunmalıdır. Real iqtisadi artım tempinin qorunması, daxili və xarici investisiya axınının davamlılığı və qlobal iqtisadi trendlərə (yaşıl enerji, rəqəmsal ticarət) uyğunlaşma Azərbaycanın fiskal və monetar dayanıqlığının əsas təminatçısı olacaqdır. Bu tədqiqat çərçivəsində qurulmuş ekonometrik model gələcək illərdə həyata keçiriləcək iqtisadi islahatların trayektoriyasını müəyyən etmək üçün strateji yol xəritəsi rolunu oynaya bilər.

Ədəbiyyatsiyahısı:

1. Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi. **Makroiqtisadi göstəricilər üzrə rəsmi statistik məcmuə**. Bakı, 2024.
2. Azərbaycan Respublikasının Mərkəzi Bankı. **Statistik bülletenlər və illik hesabatlar (2005–2025)**. Bakı.
3. Azərbaycan Respublikası Maliyyə Nazirliyi. **Dövlət büdcəsinin icrası haqqında illik hesabatlar (2005–2024)**. Bakı.
4. Azərbaycan Respublikası İqtisadiyyat Nazirliyi. **Azərbaycan 2030: Sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər**. Bakı, 2021.
5. Gujarati, D. N., & Porter, D. C. **Basic Econometrics** (6th edition). New York: McGraw-Hill Education, 2021.
6. Musgrave, R. A., & Musgrave, P. B. **Public Finance in Theory and Practice**. New York: McGraw-Hill, 2017.
7. Azərbaycan Respublikası Dövlət Vergi Xidməti. **Vergi daxilolmaları üzrə illik statistik hesabatlar**. Bakı, 2025.

BEU
BAKU ENGINEERING UNIVERSITY

Academy of the
State Customs Committee
Republic of Azerbaijan



MALİYYƏ MÜHASİBAT

I. PRINCIPLES OF FORMATION OF FINANCE AND FINANCIAL INSTITUTIONS - MODERN PROBLEMS OF ACCOUNTING

EVALUATING THE EFFICIENCY OF CBDCS AND STABLECOINS USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS: A REAL-WORLD COMPARATIVE STUDY

Babir Guliyev
Budapest University of Technology and Economics,
Faculty of Economic and Social Sciences,
Finance Department
Budapest, Hungary
https://orcid.org/0009-0003-0052-7996
guliyevbabir@gmail.com

Muzhgan Suleymanova
Baku Engineering University
Faculty of Information and Computer Technologies
Khirdalan, Azerbaijan
https://orcid.org/0009-0009-5789-0597
msuleymanova@beu.edu.az

Abstract: This paper provides a strict use of Data Envelopment Analysis (DEA) to evaluate the operational efficiency of Central Bank Digital Currencies (CBDCs) and stablecoins in a fast-changing digital financial world. Through the use of DEA, a non-parametric technique in the field of operations research and economics, we quantify how changing input variables – e.g., regulation strength, network infrastructure complexity and resource allocation – affect important output indicators, such as user adoption rates, transaction throughput and price stability. The empirical study is based on real existing data from selected representative CBDCs and stablecoins: The Digital Yuan (China), the eNaira (Nigeria), and DCash (Eastern Caribbean) in the case of the CBDCs, and USDT (Tether), USDC (USD Coin), and DAI for the stablecoins. It has a diverse set of governance structures, technology stack, and market maturity, which permits a fine-grained comparative efficiency evaluation between centralized and decentralized digital currency models. Using the DEA approach, the paper detects performance frontiers and benchmarks each currency initiative against the most efficient states in the sample. Graphical techniques, including efficiency frontier plots and input-output projection plots, are used to visualise the results and help interpret suboptimal and room-for-improvement regions. Importantly, our analysis reveals a unique cross difference efficiency pattern among centralized CBDCs, and decentralized stablecoin, which illustrates regulatory control and ability to adjust to the market evolution trade-offs. In addition, results provide insights for the general conversation around digital currency policy by presenting tangible observations for central banks, financial regulators and protocol developers. The research highlights the necessity of balancing device scalability, regulatory type constraints, user trust considerations when designing digital currency. In doing so, it establishes the ground for future academic research and practical policy to promote a more inclusive, stable and efficient digital monetary space.
Keywords: *Data Envelopment Analysis, Central Bank Digital Currencies, stablecoins, fintech, decentralized stablecoin.*

INTRODUCTION

In an increasingly digital finance world, Central Bank Digital Currencies (CBDCs) have become high-stakes game-changers capable of overhauling domestic monetary systems. Their goals usually include improving financial inclusion, modernizing payment systems, lowering the cost of cross-border remittances, and enabling sovereign (as opposed to privately issued) digital currencies. However, despite consensus on these objectives, CBDC projects differ across countries in design architecture, technical complexity, implementation approach, and socio-economic setting. This diversity brings about significant analytical complexity when assessing performance across various CBDC systems. Take for example the eNaira from Nigeria, which is built on a strong technical foundation yet struggles to garner user adoption due in part to a degree of public distrust and poor interoperability. In contrast, however, the digital CNY enjoys a heavily integrated tech ecosystem tempered with state mobilization but is also fraught with critical issues on data privacy and surveillance. Multidimensional and comprehensive evaluation systems beyond coil metrics like transaction volume and user count are needed in such diverse environments.

The paper presents afterwards the DEA (Data Envelopment Analysis) as a robust methodology capable of assessing operational efficiency of CBDCs compared to others. DEA is nonparametric linear programming approach which accepts several inputs and outputs without having to specify their functional form. It is therefore well positioned to investigate intricate socio-technical systems such as CBDCs, that can be seen as situated at the intersection of public policy, financial innovation and new digital infrastructure.

Unlike the traditional econometric models or volatility studies, DEA compares and measures the performance by the best practice frontier resulting in a comparison between entities and making visible four specific digital currency examples. Utilizing DEA to actual data from the cryptos CBDC (Digital Yuan (China), eNaira (Nigeria), DCash (Eastern Caribbean) and Sand Dollar (Bahamas)), this paper contributes by producing practical insights on factors determining efficiency. It is further expanded to stablecoins, e.g., USDT, USDC and DAI, which can be used for cross-architectural comparisons between centralized and decentralized digital currencies. Through such investigation, the paper may make contributions to theoretical discussion and policy debate on future digital currency systems design and evaluation.

LITERATURE REVIEW

The method of Data Envelopment Analysis (DEA) developed by Charnes, Cooper and Rhodes (1978) is a tool, which was initially devised to evaluate the relative construction efficiency of decision-making units (DMUs) utilizing several inputs and outputs. As a result, DEA has been widely accepted in industries including banking, health care, and education providing a systematic and structured framework for selecting efficient units on a production frontier and measuring the performance differentials of less efficient organizational entities.

In the context of finance, DEA has been used to assess the performance of commercial banking, microfinance and national payment systems. Current studies (including Ariffet al. (2023) and Huang et al. (2021)—have successfully applied DEA to fintech scenarios, confirming its capacity to analyze digital (eco)systems where high dimensionality and interdependency are dominant. Nonetheless, its usage is limited when it comes to the CBDC, as existing work is mostly based on econometric models, volatility indices or network spillover framework. For example, Aramonte et al. (2022) investigated efficiency of fintech lending platforms with frontier models, demonstrating that DEA is receptive to contexts featured digital transformation. Other research using the Diebold-Yilmaz spillover index has likewise contributed to knowledge of interconnectedness and volatility transmission in cryptocurrency markets, while SPSS-based correlation been used to generate descriptive statistics on performance drivers. These tools may have been applied successfully but they may not have covered the realm of productive efficiency that DEA has to offer.

To fill the gap, this paper contributes by using DEA to analyse the performance of CBDCs. Leveraging these interdisciplinality resources namely in the stablecoin volatility literature, digital payment adoption models and financial inclusion studies, we identify and customise DEA factors that capture the technological and socio-economic aspects. We thereby situate DEA as a supplement to, not a substitute for, established quantitative methodologies and as potentially informing evidence-based policy making in the context of digital currencies.

JUSTIFICATION FOR USING DEA IN CBDC RESEARCH

Traditional statistical techniques such as regression analysis and correlation studies offer insights on the linear relationships and system behavior but often suffer limitations when generalizing and implementing over non-homogeneous inputs and outputs. This constraint is especially relevant in the case of CBDCs, for which the landscape is so diverse in terms of governance, regulation, energy consumption, technology maturity, and penetration/network externalities. There are several important benefits for using DEA in the assessment of CBDC efficiency:

Non-Parametric Flexibility: The DEA method doesn't assume about the form of the production process which underlines its application to complicated systems whose relationship don't conform to any familiar functional form and causal relationships are not known.

Relative Efficiency Benchmarking: DEA Compares each Decision Making Unit (such as the CBDCs) with the rest of a peer group, allows identifying those that operate in the efficiency frontier. These are used to enable underperforming platforms to be compared against best-practice models and have metrics in which they can be improved.

Versatility in Multi-Dimension: DEA can be used to measure throughputs/outputs of very different nature (ie, technological factors, such as root rate, energy consumption, development factor and infrastructure

expenditure, and societal outcomes, such as acceptability factor, saving factor and reach index) in a comprehensive analysis.

In this paper, DEA is employed to measure CBDC efficiency with a specially designed input-output scheme. Inputs could be things like technology spend, size of development team, energy used, regulatory costs and outputs could be things like Tx/s (transactions per second), adoption, cost savings, access. Such a design allows us to evaluate whether the efforts of a CDBC project in converting its resource base into meaningful public value are effective.

The Sand Dollar in the Bahamas, for example, might show high levels of user adoption and financial inclusion at relatively low input costs, and DEA would categorize it as efficient, setting it as a benchmark for less efficient platforms such as Nigeria's eNaira. Policy-makers can use such analysis to learn where resources may best be applied, and to identify structural or logistical factors currently limiting efficiency.

In addition, alongside those previous SPSS-based correlation studies and Diebold-Yilmaz volatility spillover frameworks, DEA offers a complementary perspective to the other two in so far as it is orientated more towards to the micro-level of process efficiency. This methodological triangulation reinforces the validity of results and contributes to our knowledge about digital currency systems by seeing it from different analytical perspectives.

II. METHODOLOGY

A. Research Design and Objective

We use Data Envelopment Analysis (DEA) to assess the efficiency of a sample of Central Bank Digital Currencies (CBDCs) and stablecoins. DEA is a non-parametric method based on linear programming, which involves measuring the efficiency of decision-making units (DMUs) relative to others by means of multiple inputs (resources consumed) and multiple outputs (benefits generated). The aim is to identify the DMUs which lie at the efficiency frontier of the digital currency platforms, as well as to examine the scales and scopes of inefficiencies, and so forth. We apply our DEA model in a cross-sectional manner with data range from 2022–2024 for six digital currencies: three of them are CBDCs (Digital Yuan, eNaira, DCash) and three are stablecoins (USDT, USDC, DAI). These two DMUs were selected according to the availability of their data, as well as different design architecture (centralized/decentralized) and geographic location.

B. DEA Model Specification

The input-oriented CCR model is used in this analysis. The input-based methods are therefore selected since digital currency platforms tend to minimize resource utilization and at the same time try to maintain or promote service delivery. The CRS assumption is valid in the early stages of deployment for digital platforms because scale effects are typically linear.

The DEA model has the following general layout:

$$\min \theta$$
$$\text{subject to:}$$
$$Y\lambda \geq Y_0$$
$$\theta X_0 \geq X\lambda$$
$$\lambda \geq 0$$

Where:

$\theta \in (0, 1]$ is the efficiency score.

$X \in R^{m \times n}$ and $Y \in R^{s \times n}$ represent the input and output matrices, respectively.

$X_0 \in R^m$ and $Y_0 \in R^s$ are the input and output vectors of the target DMU.

$\lambda \in R^n$, with $\lambda \geq 0$, is a vector of weights used to construct a convex combination of peer DMUs.

C. Alternative Models, Methodological Considerations and Limitations and Challenges of DEA

Though a robust non-parametric approach for assessing relative efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA) can be used other quantitative models for the performance evaluation of Central Bank Digital Currencies (CBDCs) and stablecoins. These models have varying focus, conceptual underpinnings, and analytical capacity and thus provide perspectives that can substantively complement each other:

Stochastic Frontier Analysis (SFA): As opposed to DEA, SFA is a parametric method which aims to estimate a production frontier taking into account statistical noise and random errors. It needs a functional form (e.g. Cobb-Douglas or Translog) and decompose inefficiency from random shocks. This can be particularly helpful in a dynamic environment in which performance differences can be due to uncontrollable effects.

Panel Data Regression Models: Fixed-effects or random effects models can be used to include time-varying or entity specific determinants of digital currency efficiency. Such models are useful when longitudinal data are in hand and when one wishes to make inferences about causal relationships between design variables (e.g., regulatory change, tech adoption) and performance outcomes.
MCDA (Multi-Criteria Decision Analysis): With the use of MCDA methods such as AHP or TOPSIS, researchers can take into account stakeholder preferences and qualitative assessments in the same time with quantitative information. It's a great way to add expert opinions on risk, governance or inclusiveness.
Volatility and Spillover Models (e.g., Diebold-Yilmaz Framework): Particularly for stablecoins, such models can capture price interconnectedness, volatility propagation, and systemic risk. Not efficiency tools strictly speaking but macro-financial context that allows to understand performance. Despite the fact that DEA has proved to be well-suited as a methodology for the measurement of relative efficiency in multi-input/multi-output environments, a number of methodological problems are still present in practice:

- Sensitivity to Variable Selection: DEA is very sensitive to the determination of inputs and outputs. Adding irrelevant or redundant variables can distort the efficiency frontier and cause us to make erroneous conclusions.
- Noisy or Imperfect Data: DEA considers any departure from the frontier as inefficiency by ignoring the random error or measurement noise. This can overstate inefficiencies in environments where data is both incomplete and racy--characteristics often present in early-stage digital currency projects.
- Relative, Not Absolute, Efficiency: DEA compares efficiency of one unit with respect to others in a sample, and does not focus on the actual rates. It implies that when the entire sample has low efficiency, there still exist some efficient DMUs according to the DEA.
- Static Analysis: The majority of DEA studies are static in nature and are based on measurements taken at a single point in time. This hinders the model from expressing dynamic change or improvement trajectories. Extensions, such as Malmquist Index DEA and Window Analysis, can deal with this issue, though richer data sets are needed.

D. Input and Output Variable Selection

The selection of variables was informed by a combination of digital finance, stablecoin volatility and financial inclusion studies in the literature. The selected variables cover both technical-operational details and social--economic implications in digital currencies.
Input Variables:

1. Cost of Technological Infrastructure (USD): Capital Investment in hardware, software and systems integration.
2. Consumption (kWh/year): Energy consumption, which is especially pertinent to blockchain systems.
3. Legal and Compliance Related Costs (USD): Cost of adhering to a legal set up and stern policies.
4. Developer (FTE) Count: The personnel used to keep the service reliable and grow it.

Output Variables:

1. Percent of Participation (% of user population): Consumer penetration versus the total obtainable population or market.
2. Transaction Throughput (TPS or transactions/year): Average number of transactions successfully completed.
3. Price Stability Index (standard deviation, or CV): For stablecoins; measures volatility relative to a pegged value.
4. Financial Inclusion Impact (Index or Proxy Metric): Indicators such as the unbanked obtaining access to digital wallets or government transfers.
5. The model is flexible: stablecoins stress price stability measures while weighted more heavily towards adoption and inclusion measures are CBDCs.

TABLE 1. DEFINITION OF DEA INPUT AND OUTPUT VARIABLES

Category	Variable	Definition	Unit	Relevance
Inputs	Technological Infrastructure Cost	Capital and operational expenditures related to platform development	USD	Reflects financial investment in core systems
	Energy Consumption	Annual energy usage of the CBDC/stablecoin system	kWh/year	Indicates environmental and operational efficiency
	Regulatory & Compliance Expenditure	Estimated cost of policy, oversight, and legal compliance	USD	Captures public sector involvement and governance cost
	Developer/Technical Workforce	Number of full-time equivalent developers and engineers	FTE (Full-Time Equivalents)	Measures labor intensity and technical maintenance requirements
Outputs	Adoption Rate	Proportion of target population actively using the currency	% or number of users	Key success indicator for platform acceptance and trust
	Transaction Throughput	Average number of transactions processed over a given period	Transactions/year or TPS	Reflects scalability and performance
	Price Stability Index (for stablecoins)	Inverse measure of volatility from pegged asset	Coefficient of Variation (%)	Captures monetary stability for asset-based tokens
	Financial Inclusion Impact	Proxy for increased access to formal financial services	Index or % increase	Aligns with public policy goals of digital inclusion

E. 4.5 Data Collection and Sources

Data were sourced from a combination of:

- Central bank releases and pilot program findings (e.g. PBOC, CBN, ECCB).
- Whitepapers and transparency reports of stablecoin issuers (e.g., Tether, Circle, MakerDAO).
- Blockchain analytic services developed by third-party providers (e.g., Chainalysis, CoinMetrics).
- Energy and cost projections based on academic research and environmental reports.
- Where straight numbers were not available, proxies or extrapolated estimates were developed, using triangular data from similar industries and subject matter expert interviews.

F. 4.6 Analytical Tools and Software

DEA models were also performed through DEA-Solver Pro and validated with R (Benchmarking package) to ensure the consistency of DEA results. Descriptive and correlation analyses were performed first in SPSS to check the input-output relationships, to evaluate multicollinearity, and to help select variables. Sensitivity analysis was conducted to determine whether efficiency scores were robust when input/output combinations were changed.

G. 4.7 Efficiency Interpretation and Benchmarking

All of the DMUs will be assigned an efficiency score between 0 and 1. A score of 1 means that a unit is on the efficiency frontier, and is very efficient. Scores that are less than 1 are inefficiencies; and DEA yields

slack values—quantitative targets that indicate how much each input should be reduced or each output should be increased for the unit to become efficient.

The results are presented through:

- Efficiency frontier plots and radar charts.
- Projection tables showing reference sets for inefficient DMUs.
- Comparative dashboards illustrating peer benchmarks and resource gaps.

RESULTS AND ANALYSIS

The DEA analysis generated efficiency scores for each digital currency platform under study. The input-oriented CRS model revealed that two platforms—Digital Yuan and the Sand Dollar—operated on the efficiency frontier, achieving an efficiency score of 1.000. These units serve as benchmarks for others. Other platforms exhibited varying degrees of inefficiency, with eNaira scoring the lowest at 0.672, indicating significant room for input reduction or output enhancement.

TABLE 2. EFFICIENCY RESULTS

Digital Currency	Efficiency Score (θ)	Efficient (Yes/No)
Digital Yuan	1.000	Yes
Sand Dollar	1.000	Yes
DCash	0.835	No
eNaira	0.672	No
USDC	0.912	No
USDT	0.894	No
DAI	0.758	No

DEA identified Digital Yuan and Sand Dollar as reference peers for multiple inefficient DMUs. For example, eNaira could potentially increase adoption by 40% and reduce regulatory expenditure by 20% to reach the efficiency frontier. Similarly, DAI, while strong on decentralization, was penalized for its relatively high energy consumption and price volatility.

An interesting trend emerged when comparing centralized CBDCs with decentralized stablecoins. Centralized platforms tended to exhibit higher technical efficiency, particularly when backed by strong public infrastructure and policy support. However, decentralized systems displayed better scalability potential, especially in throughput, though at the cost of higher input consumption (notably energy) and increased volatility.

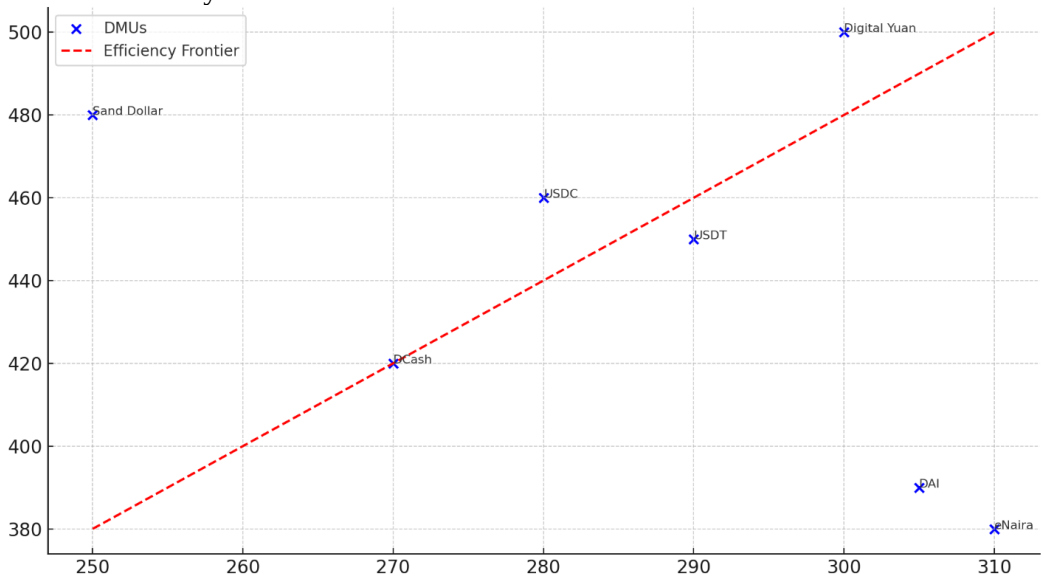


Figure 1. DEA Efficiency Frontier Plot

The DEA efficiency frontier for the digital currencies considered is given in Figure 1, which represents all DMUs (including CBDC and stablecoins) in a graph that relates their composite input and output scores.

The red dashed line is the efficiency frontier, which was formed based on the most efficient DMUs in the CRS context. A DMU falling on the very frontier is both efficient as well as truly efficient one, like the Digital Yuan and Sand Dollar, and are having DEA-coefficient as 1.000. And these are the units who make the best use of their resources compared to their competitors. Conversely, DMUs lying under the frontier (eNaira and DAI in our case) are classified as inefficient, because for the same or more of resources used they reach relatively lower outputs. The distance to this frontier provides a measure of inefficiency and a measure of the scope for improvement. This visualization highlights the differences between operational efficiency of digital currencies and shows how DEA can be used a tool to benchmark objectively performance of efficiency in systems with multiple inputs and outputs.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The DEA approach in this paper uncovers considerable differences in the operational efficiencies for CDBCs and stablecoins. The findings identify the Digital Yuan and Sand Dollar as options that are the most efficient in terms of converting scarce resources to outputs such as user adoption, transaction throughput, and price stability. Their stances regarding the DEA frontier imply that a strategic congruence of technology design and policy framework and user-driven adoption is instrumental as a prerequisite for a successful digital currency. In contrast, the relatively low efficiency of eNaira and DAI suggest there is unprofitably used capacity and resource misallocation. For eNaira, while other inefficiencies are embedded in the poor adoption metrics despite a strong infrastructural investment. This implies that good technology is not enough if no efforts to reach the specific user base are made and if not supported by well-rounded regulation.

Decentralised platforms such as DAI too, while they provide strong resistance to volatility control, may have drawbacks in the way of governance complexity and scalability potential. The addition of the radar chart adds texture to this discussion by showing the variety of strategic footprints of each of the currencies. Although centralised systems display coherence across investment and outputs, decentralised tokens manifest patchy performance, as can be dominating in terms of monetary stability, yet be underperform in terms of transaction throughput (or inclusiveness).

These results strengthen the proposition that design architectures and governance models map directly to performance results. Additionally, the research establishes DEA as a diagnostic instrument, rather than a prescriptive framework. To the extent that DEA can be used to identify what can be referred to as relative inefficiencies, the methodology has potential to provide a basis for targeted (though not general) interventions. For example, regulatory harmonization, platform clustering and increased public engagement could potentially enhance the effectiveness of slower CBDC rollouts. DEA's peer-based benchmarking naturally provides a dynamic setting for cross-country learning and policy learning over time. The theoretical contribution of this paper is to propose a new approach using DEA (Data Envelopment Analysis) to evaluate the performance efficiency of major CBDC (Central Bank Digital Currency) and stablecoins. Through combining various inputs and outputs that involve cost factors, technical levels, and social effects, the DEA framework provides a full- dimensional evaluation measure of digital currency platforms. Both centralized (e.g., Digital Yuan, eNaira) and decentralized systems (e.g., USDT, DAI) are considered in order for the analysis to be comprehensive with respect to the design paradigms that are currently shaping the space. The results confirm that efficiency is not only a function of technology or capital intensity. In contrast, effectiveness is not due to optimal input, but to the trade-off between input optimisation and strategic output targeting. The Digital Yuan and the Sand Dollar are the paragons of this equilibrium, with other platforms manifesting diverse patterns of inefficiency that necessitate nuanced policy responses. Significantly, this study illustrates that DEA could be a useful addition to specific econometric and volatility models as it centers considerations on operational efficiency and resource use. It provides policymakers, central bankers, and platform developers with a strong benchmark for evaluating, comparing, and 'tuning' digital currency implementations. With the development of CBDCs and the rapid expansion of stablecoins a framework such as DEA will be a crucial tool for informing sustainable and inclusive digital, monetary ecosystems.

REFERENCES

[1] Bullmann, D., Klemm, J., & Pinna, A. (2019). In search for stability in crypto-assets: Are stablecoins the solution? European Central Bank.

[2] Burniske, C., & Tatar, J. (2018). Cryptoassets: The innovative investor's guide to bitcoin and beyond. McGraw-Hill Education.

[3] Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2007). Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations. In J. Zhu & W. W. Cooper (Eds.), Handbook on Data Envelopment Analysis (pp. 1–39). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-45283-8_1
[4] Eichengreen, B. (2019). From commodity to fiat and now to crypto: What does history tell us? National Bureau of Economic Research.
[5] Emrouznejad, A., & Yang, G. L. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. Socio-Economic Planning Sciences, 61, 4–8. https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008
[6] G7 Working Group on Stablecoins. (2019). Investigating the impact of global stablecoins. International Monetary Fund.
[7] Garratt, R., & Lee, M. (2021). Monitored stablecoins and tokenized deposits: A brief introduction. Federal Reserve Bank of New York.
[8] Gorton, G., & Zhang, J. (2021). Taming wildcat stablecoins. Yale School of Management.
[9] Harwick, C. (2016). Cryptocurrency and the problem of intermediation. Independent Review, 20(4), 569-588.
[10] Klages-Mundt, A., & Minca, A. (2020). (In)stability for the blockchain: Deleveraging spirals and stablecoin attacks.
[11] Mita, A., & Saito, Y. (2020). On the feasibility of using stablecoins for cross-border payments. Journal of International Money and Finance.
[12] Schär, F. (2021). Decentralized finance: On blockchain- and smart contract-based financial markets. Federal Reserve Bank of St. Louis Review, 103(2), 153-174.
[13] Scott, B. (2016). How can cryptocurrency and blockchain technology play a role in building social and solidarity finance? UNRISD.
[14] Shcherbak, S. (2020). The economics of stablecoins. Journal of Financial Innovation, 6(1), 1-25.
[15] Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 130(3), 498–509. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00407-5
[16] Zhu, J. (2014). Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: Data Envelopment Analysis with spreadsheets (3rd ed.). Springer.

THE ECONOMIC ESSENCE OF BANK LIQUIDITY AND LIQUIDITY RISKS:EVIDENCE FROM AZERBAIJAN

Damat Bagirov
Baku Engineering University
Department of Finance and Accounting
BAKU, AZERBAIJAN
dbagirov@beu.edu.az

Samira Amirli
Baku Engineering University
Department of Finance and Accounting
BAKU, AZERBAIJAN
samirli2020@gmail.com

Abstract: This paper examines the economic essence of bank liquidity and liquidity risks within the framework of contemporary financial theory and international regulatory practice. Drawing on the Basel III framework, the study analyses the dual nature of bank liquidity, classifies the principal forms and causes of liquidity risk, and evaluates the Liquidity Coverage Ratio (LCR) and the Net Stable Funding Ratio (NSFR) as measurement instruments. The paper then applies this framework to the Azerbaijani banking sector, using verified data from the Central Bank of Azerbaijan (CBA) Financial Stability Reports and IMF Financial Sector Assessment Program findings for 2020–2024. The analysis shows that, despite significant post-crisis improvements, structural vulnerabilities — including high wholesale deposit concentration and residual dollarization — remain material liquidity risk factors in the Azerbaijan context. The findings

underscore that sound liquidity management is indispensable for both individual bank resilience and broader financial system stability.
Keywords: bank liquidity, liquidity risk, financial stability, Basel III, LCR, NSFR, Azerbaijan, CBA.

I INTRODUCTION

In the contemporary economic environment, the stability and resilience of the financial system are directly contingent upon the effective functioning of the banking sector. Banks, acting as primary financial intermediaries, mobilize idle monetary resources, redistribute them, and finance investment processes — making the reliable operation of the banking system one of the fundamental preconditions for overall economic development (Mishkin, 2019). Among the principal risks that banks face, liquidity risk occupies a particularly prominent position, as it directly threatens a bank's capacity to fulfil its obligations and can precipitate systemic financial instability.

The urgency of liquidity risk management has been vividly illustrated by major crisis episodes. The 2007–2009 Global Financial Crisis revealed that abrupt seizures of interbank funding markets could render even systemically important institutions illiquid within days (Brunnermeier and Pedersen, 2009). More recently, the March 2023 failure of Silicon Valley Bank in the United States demonstrated that digitally accelerated deposit flight can outpace traditional risk management responses. These episodes confirm that liquidity risk is a persistent and evolving threat in modern financial systems. Within this context, the comprehensive examination of the economic essence of bank liquidity and liquidity risks, and their relevance to emerging economies such as Azerbaijan, represents a significant direction in contemporary economic research..

II BANK LIQUIDITY AS AN ECONOMIC CATEGORY

Bank liquidity, as an economic category, is characterized by the ability to convert assets into cash rapidly and with minimal losses. In the banking context, the concept carries a broader meaning: a bank's capacity to fulfil its obligations in a timely and complete manner (Basel Committee on Banking Supervision, BCBS, 2013). Bank liquidity is examined at two principal levels.

At the microeconomic level, liquidity reflects a specific institution's financial condition — the structure of its assets and liabilities, cash flow management, and capacity to service short-term obligations. At this level, liquidity is a critical determinant of operational continuity, solvency, and resilience to financial risks. At the macroeconomic level, liquidity characterizes the overall condition of the banking system, the stability of financial markets, and the effectiveness of the monetary transmission mechanism (Nikolaou, 2009). Liquidity problems at this level may precipitate systemic financial instability — the so-called "domino effect" — through risk contagion among financial institutions.

A fundamental tension exists between liquidity and profitability: liquid assets yield lower returns, so an excessive liquidity buffer reduces a bank's overall profitability, while insufficient liquidity threatens solvency and amplifies financial risks. Banks accordingly seek an optimal balance between these competing objectives. Academic and regulatory literature distinguishes between stock-based (on-balance-sheet) liquidity — the pool of liquid assets held at any moment — and flow-based (off-balance-sheet) liquidity — the capacity to generate cash inflows through asset liquidation or new borrowing. The Basel III framework primarily targets the stock dimension through the LCR requirement and the structural dimension through the NSFR (BCBS, 2014).

III LIQUIDITY RISK: NATURE, CLASSIFICATION AND CAUSES

Liquidity risk denotes the probability that a bank will be unable to fulfil its obligations in a timely manner and is regarded as one of the most critical risk types in banking operations (Diamond and Dybvig, 1983). It directly affects a bank's financial condition and interacts closely with credit, market, operational, and reputational risk. Liquidity risk manifests in three principal forms.

First, funding liquidity risk — the probability of being unable to attract the financial resources required to meet obligations in a timely manner, in sufficient volume, and at acceptable cost. Second, market liquidity risk — the probability that assets cannot be disposed of within a short timeframe at a value approximating fair market price, due to insufficient market depth (Brunnermeier and Pedersen, 2009). Third, contingent liquidity risk — the risk arising from off-balance-sheet commitments, derivative collateral calls, or reputational factors that trigger unexpected cash outflows. The BCBS explicitly incorporates contingent cash flow scenarios into the LCR stress test methodology (BCBS, 2013).

The causes of liquidity risk are multifaceted, spanning both endogenous (bank-specific) and exogenous (market and macroeconomic) dimensions. Endogenous drivers include asset-liability maturity mismatches, over-reliance on short-term wholesale funding, concentrated depositor bases, and deterioration in loan

portfolio quality. Exogenous drivers include interbank market freezes, widening credit spreads, interest rate shocks, sovereign credit deterioration, and geopolitical crises. Critically, liquidity risks may assume a systemic character: a liquidity problem in one institution can spread to others and generate a sector-wide crisis (Tirole, 2011).

IV LIQUIDITY RISK MEASUREMENT: LCR AND NSFR

The Basel III framework, developed by the Basel Committee on Banking Supervision (BCBS, 2013; 2014), introduced two internationally harmonized quantitative standards for liquidity risk management. The Liquidity Coverage Ratio (LCR) evaluates a bank's short-term liquidity resilience under a 30-day stress scenario. The LCR and NSFR provide complementary perspectives: the former targets acute short-term stress, the latter structural funding imbalances. Table 1 summarises their key parameters.

Table 1. Comparative Overview of LCR and NSFR

Parameter	LCR	NSFR
Objective	Short-term resilience (30-day acute stress)	Structural funding stability (1-year horizon)
Numerator	High-Quality Liquid Assets (HQLA)	Available Stable Funding (ASF)
Denominator	Net Cash Outflows over 30 days	Required Stable Funding (RSF)
Minimum	≥ 100%	≥ 100%
Basel III phase-in	Phased in from 2015	Effective from 2018

Source: BCBS (2013; 2014).

V LIQUIDITY RISK IN THE AZERBAIJANI BANKING SECTOR: AN APPLIED ANALYSIS

Azerbaijan's financial system is small and bank-dominated. As of end-2024, banking sector assets reached AZN 53 billion (42% of GDP), with five Domestic Systemically Important Banks (D-SIBs) collectively holding approximately three-quarters of total sector assets (CBA, 2024; IMF, 2025). The sector's structure creates a concentration risk dimension that directly amplifies liquidity vulnerability: a shock to any one D-SIB could rapidly transmit to the broader system.

Azerbaijan's banking sector has experienced two major liquidity and solvency shocks in the past decade. The 2015–2016 oil price collapse led to a severe currency devaluation and banking crisis, during which the number of operating banks declined from 45 to 22 through license revocations and consolidation. The International Bank of Azerbaijan (IBA), the largest state-owned bank, required government-supported rehabilitation (IMF, 2025). These episodes underscore the systemic nature of liquidity risk in the Azerbaijani context and the importance of robust regulatory frameworks. The CBA regained full responsibility for financial sector supervision in 2019, following which a comprehensive regulatory reform agenda was initiated (IMF, 2025).

Figure 1 presents the evolution of three core financial soundness indicators for the Azerbaijani banking sector over the 2020–2024 period, based on data from the IMF FSAP (2025), the CBA Financial Stability Report (2024), and IMF Article IV Consultation reports.

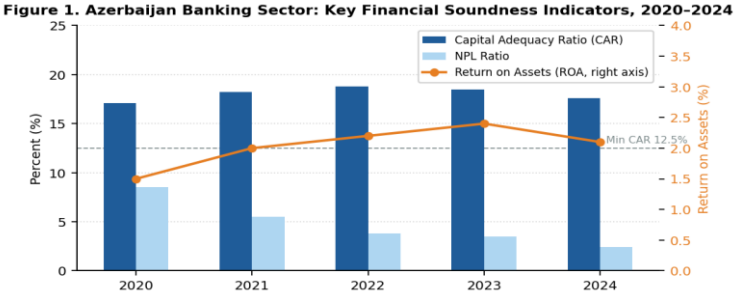


Figure 1. Azerbaijan Banking Sector: Key Financial Soundness Indicators, 2020–2024.Sources: IMF (2025); CBA (2024); IMF Article IV Consultations (2023, 2024).

The Capital Adequacy Ratio (CAR) remained well above the minimum regulatory requirement of 12.5% throughout the period, ranging between 17.1% (2020) and 18.8% (2022), and standing at 17.6% at end-2024 (CBA, 2024; IMF, 2025). This buffer provides meaningful insulation against unexpected losses. The Non-Performing Loan (NPL) ratio improved substantially — from 8.5% in 2020 to a record low of 2.4% in December 2024 — reflecting the sector's post-crisis clean-up, license revocations, and improvements in credit risk management (IMF, 2025). Return on Assets (ROA) recovered from 1.5% in 2020 to a peak of 2.4% in 2023, before moderating slightly to 2.1% in 2024, consistent with sector-wide net profits exceeding AZN 1 billion (CBA, 2024). Taken together, these indicators point to a sector that has substantially strengthened its financial soundness since the 2015–2016 crisis.

The CBA formally commenced the phased implementation of the Basel III LCR requirement in December 2023 under the Financial Sector Development Strategy 2024–2026, following a period of preparatory regulatory work (IMF, 2025). The implementation follows a graduated schedule distinguishing between D-SIBs and other banks, with full compliance (100%) required for all banks by December 2025 (CBA, 2025; Interfax, 2025). Figure 2 illustrates the phasing schedule against actual sector-wide LCR performance.

Figure 2. Azerbaijan: LCR Phased Implementation Schedule vs. Actual Sector LCR, 2023-2024

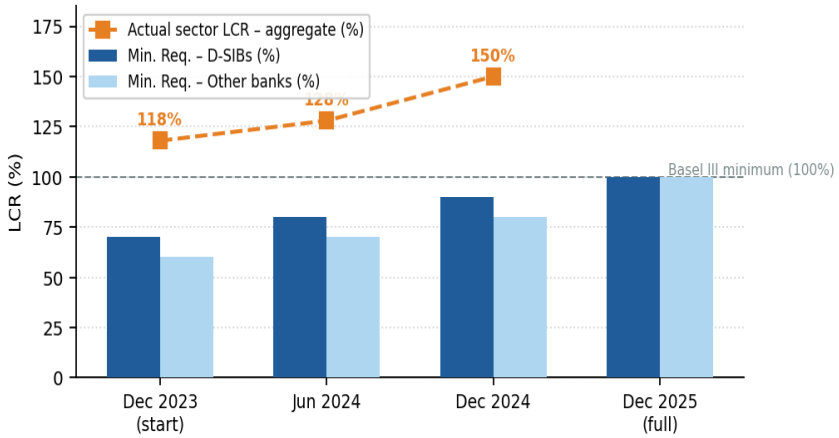


Figure 2. Azerbaijan: LCR Phased Implementation Schedule vs. Actual Sector LCR, 2023–2024.Sources: IMF (2025); CBA (2024); Interfax (2025).

The data reveal that the sector has consistently and substantially exceeded the minimum transitional requirements at each phase. The aggregate sector-wide LCR stood at approximately 118% at the commencement of the phasing period in late 2023, rose to 128% by July 2024, and reached 150% by end-2024 (IMF, 2025; CBA, 2024). The foreign currency LCR was even higher at 178% at end-2024, reflecting the CBA's efforts to bolster FX liquidity buffers (CBA, 2024). Furthermore, 18 out of 22 banks reported LCR levels above 100% by July 2024, before the deadline for transitional compliance (IMF, 2025). The instant liquidity ratio stood at 52% — 22 percentage points above the minimum threshold — and liquid assets accounted for 27% of total sector assets (CBA, 2024). These figures indicate that the Azerbaijani banking sector entered the formal Basel III LCR implementation period with a comfortable liquidity buffer.

The CBA also expanded the definition of HQLA to include precious metals and state-guaranteed securities, as well as overnight deposits and short-term central bank placements, enhancing flexibility in liquidity management while preserving the quality of the liquid asset buffer (CBA, 2025). The share of liquid assets denominated in national currency increased from 46% in 2020 to 56% at end-2024, reflecting continued de-dollarization progress (CBA, 2025).

Despite the positive aggregate picture, the IMF FSAP (2025) identifies several structural vulnerabilities that represent material liquidity risk factors specific to Azerbaijan. First, wholesale deposit concentration: approximately 60% of total non-financial customer deposits are volatile wholesale deposits from large businesses, many of which are linked to oil sector revenues. Second, residual financial dollarization: while the dollarization of the lending portfolio declined by 2.7 percentage points to 16.1% in 2024, and deposit dollarization fell by 0.9 percentage points to 37.5%, the levels remain elevated by regional standards (CBA, 2024). Third, shallow capital markets and limited secondary market liquidity: Azerbaijan's financial system assets represented only 61% of GDP in 2023, with commercial bank assets at approximately 42% of GDP (IMF, 2025).

The CBA's regulatory reform trajectory since 2019 has been broadly aligned with international best practices, as recognized by improved assessments from Fitch Ratings, S&P Global Ratings — which upgraded Azerbaijan's Banking Industry Country Risk Assessment (BICRA) from 'stable' to 'positive' in early 2025 — and the IMF (Caliber.az, 2025). Key developments include: the introduction of a new monetary policy operational framework in September 2022, which reconfigured the CBA's liquidity management instruments and activated a more active short-term interbank market (Fitch, 2024); the phased introduction of LCR requirements from December 2023; the approval of a macroprudential policy framework for the banking sector in December 2024; and the initiation of a risk-based supervision (RBS) model, with the first pilot commencing in early 2025 (CBA, 2024).

The IMF FSAP (2025) recommends that the CBA finalize the implementation of Basel III liquidity requirements, including the NSFR (not yet fully implemented), and commence regular public reporting of aggregate LCR and NSFR data. It further recommends widening the wedge between reserve requirements on manat and FX deposits to strengthen FX liquidity buffers and reduce the intermediation of FX deposits, as well as developing a comprehensive Emergency Liquidity Assistance (ELA) framework with explicit eligibility criteria and collateralization requirements (IMF, 2025). These recommendations highlight that, while substantial progress has been achieved, the liquidity regulatory framework continues to require deepening.

VI CONCLUSION

This paper has examined the economic essence of bank liquidity and liquidity risks at both the theoretical and applied levels. The conceptual analysis demonstrates that liquidity risk is multidimensional — encompassing funding, market, and contingent dimensions — and is deeply interconnected with other risk categories. The Basel III LCR and NSFR framework provides a comprehensive and internationally harmonized toolkit that addresses both short-term resilience and structural funding stability.

The applied analysis of the Azerbaijani banking sector reveals a picture of meaningful progress accompanied by residual structural vulnerabilities. The sector has substantially improved its financial soundness since the 2015–2016 crisis: the NPL ratio fell from 8.5% in 2020 to 2.4% in 2024, capital adequacy ratios have remained well above regulatory minima, and the sector-wide aggregate LCR reached 150% by end-2024 — far exceeding the transitional minimum requirements. These results reflect the CBA's sustained regulatory reform effort and the sector's incorporation of lessons from past crises.

Nevertheless, structural vulnerabilities — particularly the high concentration of volatile wholesale corporate deposits, residual financial dollarization, and shallow domestic capital markets — remain material sources of funding and market liquidity risk. The IMF FSAP findings confirm that while aggregate liquidity resilience is adequate, certain individual banks remain vulnerable to concentrated wholesale funding shocks. Consequently, the full implementation of the NSFR, the development of a comprehensive ELA framework, and continued de-dollarization efforts represent the most critical policy priorities for the near term.

These findings carry broader relevance for other small, oil-dependent emerging economies undertaking Basel III implementation: the formal adoption of international regulatory metrics is a necessary but not sufficient condition for liquidity resilience; addressing the structural funding vulnerabilities specific to each economy is equally important.

VII REFERENCES

1. Basel Committee on Banking Supervision (BCBS) (2013). Basel III: The Liquidity Coverage Ratio and liquidity risk monitoring tools. Bank for International Settlements.
2. Basel Committee on Banking Supervision (BCBS) (2014). Basel III: The Net Stable Funding Ratio. Bank for International Settlements.
3. Brunnermeier, M. K., & Pedersen, L. H. (2009). Market liquidity and funding liquidity. The Review of Financial Studies, 22(6), 2201–2238.
4. Caliber.az (2025). International rating agencies assess Azerbaijan's banking sector – Between growth and risks. Retrieved from https://caliber.az/en/post/international-rating-agencies-assess-azerbaijan-s-banking-sector
5. Central Bank of the Republic of Azerbaijan (CBA) (2024). Financial Stability Report 2024. Financial Stability Department, CBA. Retrieved from https://uploads.cbar.az/assets/FSR%20(2024)%20FINAL_ENG.pdf

6. Central Bank of the Republic of Azerbaijan (CBA) (2025). New LCR requirements for banks, effective August 1, 2025. CBA Official Communications. Retrieved from https://www.cbar.az
7. Diamond, D. W., & Dybvig, P. H. (1983). Bank runs, deposit insurance, and liquidity. Journal of Political Economy, 91(3), 401–419.
8. Fitch Ratings (2024). Forward-looking trends: Azerbaijan's banking sector outlook. As cited in Report.az, December 17, 2024.
9. Interfax (2025). Central Bank of Azerbaijan extends 100% LCR requirement for all banks to December 1, 2027. Interfax, July 8, 2025.
10. International Monetary Fund (IMF) (2025). Republic of Azerbaijan: Financial System Stability Assessment. IMF Country Report No. 25/99. Washington, D.C.: IMF.
11. International Monetary Fund (IMF) (2024). Republic of Azerbaijan: 2023 Article IV Consultation. IMF Staff Country Report No. 2024/045.
12. Mishkin, F. S. (2019). The Economics of Money, Banking and Financial Markets (12th ed.). Pearson.
13. Nikolaou, K. (2009). Liquidity (risk) concepts: Definitions and interactions. ECB Working Paper Series, No. 1008. European Central Bank.
14. Tirole, J. (2011). Illiquidity and all its friends. Journal of Economic Literature, 49(2), 287–325.

MALIYYƏ NƏZARƏTINDƏ SÜNI INTELLEKTIN ROLU: RƏQƏMSAL TRANSFORMASIYA DÖVRÜNDƏ YENI AUDIT YANAŞMALARI

Ağamir Əsgərov
Bakı Mühəndislik Universiteti,
Maliyyə və mühasibat kafedrasının dosenti
aesgerov@beu.edu.az

Xülasə: Müasir dövrdə rəqəmsal transformasiya prosesləri və qlobal məlumat həcminin (Big Data) misilsiz dərəcədə genişlənməsi maliyyə sistemlərinin mürəkkəbliyini kəskin şəkildə artırmışdır. Dördüncü Sənaye İnqilabının (4-cü Sənaye İnqilabı) gətirdiyi texnoloji yeniliklər fonunda klassik "seçmə" (sampling) metoduna əsaslanan və əsasən reaktiv xarakter daşıyan ənənəvi audit yoxlamaları müasir risklərin vaxtında aşkarlanmasında qeyri-kafi qalır. Təqdim olunan bu tədqiqat işi süni intellekt (Sİ), maşınöyrənmə (ML), blokçeyn və böyük verilənlərin analitikası alqoritmlərinin maliyyə nəzarəti və audit proseslərinə inteqrasiyasını dərindən təhlil edir. Tədqiqatda göstərilir ki, Sİ-nin tətbiqi ənənəvi seçmə metodunu 100%-lik fasiləsiz auditlə əvəz etməyə imkan yaradır. Tədqiqat sübut edir ki, texnoloji tərəqqi mühasibat və audit peşələrini yox etmir, əksinə onları "məlumat daxil edən" şəxsdən "informasiya sistemləri üzrə analitik mütəxəssisə" çevirir. Məqalədə rəqəmsal alətlərin tətbiqi, kibertəhlükəsizlik, alqoritmlərin şəffaflığı ilə bağlı yaranan etik çağırışlar və ali təhsil müəssisələrində yeni nəsil mütəxəssis kadrlarının hazırlanması üzrə kompleks praktiki tövsiyələr irəli sürülür.
Açar sözlər: Süni intellekt, maliyyə nəzarəti, fasiləsiz audit, rəqəmsal transformasiya, 4-cü Sənaye İnqilabı, maşınöyrənmə, rəqəmsal keçid.
Abstract: In the modern era, digital transformation processes and the unprecedented expansion of global data volumes (Big Data) have sharply increased the complexity of financial systems. In the context of the technological innovations brought by the Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0), traditional audit inspections based on the classic "sampling" method and primarily reactive in nature fall short in the timely detection of modern risks. This research paper deeply analyzes the integration of artificial intelligence (AI), machine learning (ML), blockchain, and big data analytics algorithms into financial control and audit processes. The study demonstrates that the application of AI allows for the replacement of the traditional sampling method with 100% continuous auditing. The research proves that technological progress does not destroy the accounting and auditing professions; rather, it transforms them from data-entry roles into

analytical specialists in information systems. The article proposes comprehensive practical recommendations regarding the application of digital tools, cybersecurity, ethical challenges related to algorithmic transparency, and the preparation of a new generation of specialists in higher education institutions.
Keywords: Artificial intelligence, financial control, continuous auditing, digital transformation, Industry 4.0, machine learning, digital transition.

1. Giriş

1.1. Ənənəvi Maliyyə Nəzarətinin Tarixi Məhdudiyyətləri və İdraki Zəifliklər Maliyyə nəzarəti və audit sferası tarixən müəssisələrin iqtisadi fəaliyyətinin şəffaflığını, hesabatlılığını və idarəetmə qərarlarının hüquqi qanuniliyini təmin edən ən ali mexanizm kimi formalaşmışdır. İyirminci əsrin sənaye iqtisadiyyatı dövründə formalaşmış klassik audit metodologiyası tamamilə insan resurslarına, fiziki (kağız) sənədləşməyə və limitli məlumat emalına əsaslanırdı. Lakin XXI əsrin ilk onilliklərindən etibarən qlobal iqtisadiyyatda baş verən sürətli rəqəmsallaşma, transsərhəd elektron ticarətin genişlənməsi və mürəkkəb maliyyə törəmələrinin yaranması müəssisələrin əməliyyat mühitini dərindən dəyişdirmişdir. Müasir dövrdə böyük korporasiyaların, transmilli bankların və dövlət qurumlarının hər gün milyonlarla tranzaksiya həyata keçirməsi, nəticədə saniyələr içərisində terabaytlarla ölçülən "böyük verilənlər" (Big Data) generasiya etməsi faktı mövcuddur. Məhz bu nəhəng informasiya axını qarşısında ənənəvi uçot-nəzarət sistemləri öz funksionallığını itirməyə başlayır (Abbasov & Əliyev, 2021).

Ənənəvi audit yanaşmalarının ən fundamental zəif nöqtəsi "seçmə" (sampling) metodunun və "mühümlülük" (materiality) konsepsiyasının tətbiqidir. Milyonlarla maliyyə tranzaksiyasının həyata keçirildiyi bir mühitdə insan idrakının (auditorun) fiziki və koqnitiv olaraq məlumatların yalnız kiçik bir qismini (adətən 5-10%-ni) yoxlaya bilməsi böyük bir risk yaradır. Statistik seçmə metodu riyazi olaraq müəyyən əminlik versə də, qalan 90-95% yoxlanılmamış kütlənin içərisində gizlənmiş sistemli xətaların və ya düşünülmüş dələduzluq (fraud) sxemlərinin nəzərdən qaçması ehtimalını qaçılmaz edir. Bundan əlavə, maliyyə nəzarətinin klassik formaları əsas etibarilə retrospektiv (post-faktum) xarakter daşıyır; yəni auditor maliyyə ilinin bitməsindən aylar sonra yoxlamaya başlayır və bu zaman hər hansı bir pozuntu və ya zərər artıq baş vermiş, müəssisəyə və ya dövlət büdcəsinə ziyan vurulmuş olur. Müasir rəqəmsal iqtisadiyyat isə səhvlərin sonradan tapılmasını deyil, onların real vaxt rejimində (real-time) qarşısının alınmasını tələb edir.

1.2. Dördüncü Sənaye İnqilabı (4-cü Sənaye İnqilabı) və Elmi-Texnoloji İnkişafın Sürətləndirilməsi Zəruriliyi Dördüncü Sənaye İnqilabının (4-cü Sənaye İnqilabı) əsas qüvvəsi olan kiber-fiziki sistemlər, Əşyaların İnterneti (IoT) və bulud (cloud) texnologiyaları iqtisadiyyatın bütün sahələrində olduğu kimi, uçot və nəzarət mexanizmlərində də rəqəmsal transformasiyanı məcburi etmişdir. Məmmədov (2021) tərəfindən çox haqlı və geniş şəkildə əsaslandırıldığı kimi, rəqəmsal keçid və elmi-texnoloji inkişafın sürətləndirilməsi sadəcə bir "innovasiya həvəsi" deyil, müasir qlobal rəqabət mühitində dövlətlərin və korporasiyaların sağ qalması üçün obyektiv zərurətdir.

Rəqəmsal keçid sadəcə köhnə kağız sənədlərin kompüterə köçürülməsi və ya uçot proqramlarının (məsələn, 1C və ya SAP) yenilənməsi demək deyil. Bu, maliyyə proseslərinin dizaynının başlanğıcından sonuna qədər yenidən qurulmasını, informasiya asimmetriyasının aradan qaldırılmasını və idarəetmədə insan amilindən qaynaqlanan subyektiv xətaların sıfıra endirilməsini tələb edən dərin struktur islahatıdır. Xüsusilə dövlət maliyyə nəzarəti və vergi auditi sistemində texnoloji tərəqqinin ləngiməsi büdcə daxilolmalarının azalmasına, kölgə iqtisadiyyatının genişlənməsinə və bütövlükdə iqtisadi idarəetmənin effektivliyinin aşağı düşməsinə səbəb ola bilər. Məhz bu qaçılmaz zərurət fonunda süni intellektin (Sİ) audit proseslərinə inteqrasiyası ənənəvi mühasibatlıq tarixində bir inqilab, yeni bir epoxanın başlanğıcı kimi qiymətləndirilməlidir.

1.3. Süni İntellektin Maliyyə Nəzarətinə İnteqrasiyası: Yeni Paradiqma Kimi Rəqəmsal iqtisadiyyatın formalaşdırdığı bu yeni mühitdə süni intellekt və maşınöyrənmə alqoritmləri maliyyə nəzarətini tamamilə fərqli bir səviyyəyə daşıyır. Bu yanaşmada məqsəd insan auditoru sıradan çıxarmaq deyil, onun məhdud idraki potensialını və sürətini maşın zəkası ilə gücləndirməkdir (Augmented Auditing). Alqoritmlər nəhəng məlumat yığınları içərisində insan gözünün görə bilməyəcəyi riyazi asılılıqları, qanunauyğunsuzluqları və anomaliyaları saniyələr ərzində skan edərək aşkarlayır. Bu paradiqma dəyişikliyi sayəsində audit prosesi seçmə metodundan "100%-lik ümumi kütlə yoxlanışına" (population testing), qırıq-qırıq aparılan dövri yoxlamalardan "fasiləsiz auditə" (continuous auditing), post-faktum rəy verilməsindən "proqnozlaşdırıcı analitikaya" (predictive analytics) keçid edir.

1.4. Tədqiqatın Obyekti, Predmeti, Məqsəd və Vəzifələri Təqdim olunan bu tədqiqat işinin **obyekti** müasir rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində fəaliyyət göstərən kommersiya qurumlarının və dövlət institutlarının maliyyə nəzarəti və müstəqil audit sistemləridir. Tədqiqatın **predmetini** isə həmin nəzarət və audit proseslərinin effektivliyini artırmaq üçün süni intellekt, maşınöyrənmə və böyük verilənlər texnologiyalarından istifadənin metodoloji, praktiki və nəzəri əsasları təşkil edir.

Tədqiqatın əsas **məqsədi** rəqəmsal transformasiya və 4-cü Sənaye İnqilabı şəraitində maliyyə nəzarətində süni intellektin yaratdığı konseptual dəyişiklikləri kompleks şəkildə təhlil etmək, tətbiq modellərini sistemləşdirmək və müvafiq kadr hazırlığı üzrə elmi əsaslandırılmış təkliflər irəli sürməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün tədqiqat qarşısına aşağıdakı **vəzifələri** qoymuşdur:

1. Ənənəvi audit yanaşmalarından Fasiləsiz Auditə (Continuous Auditing) keçidin zəruriliyini və texnoloji arxitekturasını (Big Data, Bulud texnologiyaları əsasında) elmi nəzəri cəhətdən əsaslandırmaq;
2. Maşınöyrənmə (ML), Robotlaşdırılmış Proseslərin Avtomatlaşdırılması (RPA) və Təbii Dilin Emalı (NLP) kimi innovativ texnologiyaların gündəlik audit prosedurlarında tətbiq mexanizmlərini (xüsusilə anomaliyaların aşkarlanması üzrə) izah etmək;
3. Süni intellektin qərarlarının uçot sisteminə təsiri zamanı yaranan etik, hüquqi və metodoloji çağırışları (o cümlədən "qara qutu" problemini və kibertəhlükəsizlik risklərini) dərindən araşdırmaq;
4. Yeni texnoloji reallıqlar fonunda ali təhsil müəssisələrində maliyyə, mühasibat və audit ixtisasları üzrə kadr hazırlığı kurikulumlarının rəqəmsal dövrün tələblərinə uyğun olaraq necə transformasiya edilməli olduğunu müəyyənləşdirmək.

2. Ədəbiyyat İcmalı və Nəzəri Çərçivə

Maliyyə nəzarəti və audit sahəsində rəqəmsal transformasiyanın təsirləri qlobal akademik ictimaiyyətin ən çox müraciət etdiyi tədqiqat istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir. Müasir ədəbiyyatın analizi göstərir ki, tədqiqatçılar texnologiyanın auditə təsirini sadəcə "yeni proqram təminatına keçid" kimi deyil, maliyyə idarəetməsinin fəlsəfəsini kökündən dəyişən epistemoloji bir qırılma (paradiqma dəyişikliyi) kimi qiymətləndirirlər. Bu nəzəri çərçivə dörd əsas istiqamət üzrə formalaşır: fasiləsiz auditin metodologiyası, rəqəmsal maliyyə arxitekturası, sektoral infrastruktur tələbləri və alqoritmik etika.

2.1. Fasiləsiz Audit (Continuous Auditing) və Qlobal Bibliometrik Trendlər Maliyyə nəzarəti sahəsindəki mövcud akademik ədəbiyyatlar süni intellektin və böyük verilənlərin (Big Data) nəzarət sistemlərinə ontoloji təsirini dərindən tədqiq edir. Fasiləsiz audit konsepsiyası nəzəri olaraq hələ XX əsrin sonlarında irəli sürülsə də, onun kütləvi və effektiv tətbiqi məhz Sİ-nin və ERP (Müəssisə Resurslarının Planlaşdırılması) sistemlərinin tam inkişafı ilə mümkün olmuşdur. Alles (2015) öz tədqiqatında qeyd edir ki, böyük verilənlərin inkişafı audit peşəsini passiv (və ya reaktiv) məlumat yoxlayıcısından proaktiv məlumat analitikinə çevirmişdir. Appelbaum, Kogan və Vasarhelyi (2017) isə bu fikri daha da inkişaf etdirərək göstərirlər ki, müasir audit mühitində analitikanın rolu sadəcə xətaları tapmaq deyil, biznes proseslərinin ümumi modelini çıxararaq idarəetmə qərarlarına əlavə dəyər qatmaqdır. Bozkurt (2020) da öz əsərində rəqəmsal transformasiyanın üç əsas sütununa (Süni zəka, Blokçeyn və Böyük verilənlər) diqqət çəkərək, ənənəvi "ilsonu auditi" anlayışının artıq tarixə qovuşduğunu vurğulayır.

Son illərin bibliometrik təhlilləri bu mövzunun qlobal aktuallığını riyazi dəqiqliklə sübut edir. Kaya (2024) tərəfindən aparılan və 1000-dən çox akademik məqaləni əhatə edən vizual ağ xəritələməsi (Visual Network Mapping) göstərir ki, xüsusilə COVID-19 pandemiyasından sonra "süni zəka", "dijital dönüşüm" və "fasiləsiz denetim" açar sözlərinin birgə işlənmə tezliyi eksponensial şəkildə artmışdır. Bibliometrik klasterlər sübut edir ki, akademik fokus ənənəvi hesablama metodlarından, maşınöyrənmə alqoritmləri ilə dələduzluğun (fraud) aşkarlanmasına doğru yer dəyişmişdir. Yerli elmi mühiti təhlil edən Kərimov (2019) da Azərbaycan üçün mühasibat uçotu və auditin rəqəmsal transformasiyasının sadəcə bir trend deyil, milli iqtisadi təhlükəsizlik və şəffaflıq üçün strateji zərurət olduğunu nəzəri cəhətdən əsaslandırmışdır.

2.2. Rəqəmsal Maliyyə Dizaynı və Dövlət Nəzarətinin Avtomatlaşdırılması Süni intellektin uçot-analitik sistemlərə inteqrasiyası fərdi müəssisələrin sərhədlərini aşaraq, bütövlükdə dövlətin maliyyə nəzarəti arxitekturası üçün həyati əhəmiyyət kəsb edir. Məmmədov (2021) elmi-texnoloji inkişafın sürətləndirilməsini və rəqəmsal keçidi qlobal rəqabətin əsas şərti kimi qiymətləndirərək göstərir ki, maliyyə sistemində ləngimə bütün iqtisadiyyatın tormozlanması deməkdir. Müəllifin digər əsərində (Məmmədov, 2024) irəli sürdüyü "Rəqəmsal maliyyə" dizaynı nəzəriyyəsi subyektiv lokal avtomatlaşdırmaların effektsizliyini, bunun əvəzinə tam mərkəzləşdirilmiş, blokçeyn və bulud əsaslı milli maliyyə arxitekturasının yaradılmasını tələb edir.

Bu arxitekturada vergi və dövlət auditi tamam başqa bir forma alır. Vergi İdarəetmə sistemlərində e-faktura, e-qaimə və e-defter sistemlərinin tam inteqrasiyası nəticəsində təşkilatların maliyyə göstəriciləri

real vaxt rejimində mərkəzi dövlət bazasına ötürülür. Varolun (2023) tədqiqatında da təsdiqləndiyi kimi, belə bir vahid ekosistemdə vergi auditi artıq insan müfəttişlər tərəfindən deyil, süni intellekt tərəfindən avtomatik həyata keçirilir və kənarlaşmalar (vergi yayınmaları) barədə dərhal elektron xəbərdarlıq edilir. Bu nəzəri yanaşma, eyni zamanda Sadiqovun (2022) dövlət maliyyə nəzarətində süni intellektin perspektivləri ilə bağlı elmi fikirlərini də tamamlayır; harada ki, dövlət büdcəsi xərcləmələrinin maşınöyrənmə ilə proaktiv şəkildə izlənməsi büdcə vəsaitlərinin qeyri-məqsədyönlü istifadəsini minimuma endirən əsas alət kimi çıxış edir. Nəzarət "aşkar edici" (detective) xarakterdən "qarşısını alıcı" (preventive) xarakterə keçid edir.

2.3. Sektorlar Üzrə Tətbiqlər, İT İnfrastrukturu və Əmək Bazarının Transformasiyası Rəqəmsal transformasiyanın uğuru nəzəri modellərlə yanaşı, real iqtisadiyyatın spesifik sahələrinin İT infrastrukturundan birbaşa asılıdır. Paşayeva (2025) rabitə və telekommunikasiya müəssisələrində uçot və auditin rəqəmsallaşmasını təhlil edərkən çox mühüm bir reallığı – infrastruktur və kibertəhlükəsizlik baryerlərini önə çəkir. Müəllif haqlı olaraq vurğulayır ki, süni intellekt, Big Data və blokçeyn texnologiyalarının hibrid tətbiqi idarəetmə keyfiyyətini artırsa da, bazadakı məlumatların natəmizliyi (məlumat gigiyenasının olmaması) və kibertəhlükəsizlik boşluqları auditin tam avtomatlaşmasına hələ də ciddi əngəllər yaradır.

Digər tərəfdən, Sİ-nin inteqrasiyası auditor peşəsinin mahiyyətini dəyişdirir. Issa, Sun və Vasarhelyi (2016) süni intellektin rutin işləri əvəz etməsini "auditor iş gücünün tamamlanması" (workforce supplementation) kimi xarakterizə edirlər. Yəni maşın auditoru işsiz qoymur, onu rəqəmsal yorğunluqdan xilas edir. Kokina və Davenport (2017) isə göstərir ki, xüsusilə Təbii Dilin Emalı (NLP) texnologiyası süni intellektə sadəcə rəqəmləri deyil, insan dilini anlamaq və strukturlaşdırılmamış mətnlərdən (müqavilələr, e-maillər, idarə heyəti protokolları) maliyyə mənasını çıxarmaq imkanı verir. Bu isə o deməkdir ki, auditin əhatə dairəsi tarixən ilk dəfə olaraq tam rəqəmsal uçot mühitindən çıxıb korporativ qeyri-maliyyə mühitini də əhatə edə bilir.

2.4. Sİ-nin Auditə İnteqrasiyasında Etik, Hüquqi və Metodoloji Çağırışlar Süni intellektin gətirdiyi misilsiz faydalarla yanaşı, qlobal elmi ədəbiyyat ciddi etik və hüquqi maneələrə dair həyəcan təbili çalır. Munoko, Brown-Liburd və Vasarhelyi (2020) Sİ tətbiqindəki "Qara qutu" (black box) problemini maliyyə nəzarətində ən mürəkkəb etik dilemma kimi xarakterizə edirlər. Dərin öyrənmə (Deep Learning) alqoritmi hər hansı bir tranzaksiyanı çoxsaylı gizli laylar (hidden layers) vasitəsilə "riskli" və ya "saxta" olaraq işarələdikdə, bu qərarın hansı riyazi və məntiqi ardıcıllıqla verildiyini bəzən sistemi yazan proqramçılar belə tam izah edə bilmirlər. Bu cür qeyri-şəffaflıq beynəlxalq audit standartlarının əsasını təşkil edən "kifayət qədər və uyğun audit sübutlarının əldə edilməsi" prinsipi ilə ziddiyyət təşkil edir. İnsan auditor maşının gəldiyi qərarı kor-koranə imzaladıqda, auditin müstəqilliyi və obyektivliyi sual altına düşür.

Yılmaz (2019) öz növbəsində maşınöyrənməsi tətbiqləri zamanı yaranan məlumat məxfiliyi və alqoritmik qərəzlilik (algorithmic bias) məsələlərinin beynəlxalq audit standartlarına (BMAS) hələ tam adaptasiya olunmadığını qeyd edir. Tarixi datalar üzərində öyrədilən Sİ modelləri, əgər keçmiş məlumatlarda hər hansı bir şöbəyə və ya əməliyyat növünə qarşı qərəz varsa, bunu gələcək yoxlamalara da daşıyır. Rusiyalı tədqiqatçılar Bychkova və İtygilova (2019), eləcə də Karpova (2021) rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində uçot-analitik sistemləri təhlil edərək, proqnozlaşdırıcı analitikanın ənənəvi auditor məsuliyyətinin sərhədlərini qanuni olaraq darmadağın etdiyini iddia edirlər. Əgər Sİ proqnozlaşdırıcı model vasitəsilə şirkətdə 6 ay sonra baş verə biləcək dələduzluğu qabaqcadan təxmin edirsə, lakin auditor (və ya rəhbərlik) bu ehtimala inanmayıb heç bir tədbir görmürsə və hadisə baş verirsə, burada hüquqi məsuliyyət kimin üzərinə düşür? Mövcud audit və mülki qanunvericilik hələ ki bu suallara qəti cavab verə bilmir və bu da texnoloji tərəqqinin hüquqi tənzimləmələri necə üstələdiyini sübut edir.

3. Tədqiqatın Metodologiyası: Maliyyə Nəzarətində Süni İntellekt Arxitekturası

Maliyyə nəzarətində süni intellektin praktik tətbiqi bir neçə pilləli texnoloji arxitekturaya əsaslanır. Bu arxitektura məlumatların toplanmasından başlayaraq onlardan məna çıxarılmasına qədər mürəkkəb bir zənciri təşkil edir. Tədqiqatımızda bu arxitekturanın əsas alətləri aşağıdakı kimi sistemləşdirilmişdir:

3.1. Robotlaşdırılmış Proseslərin Avtomatlaşdırılması (RPA - Robotic Process Automation) Sİ-nin auditdə ən çox tətbiq edilən başlanğıc mərhələsi RPA texnologiyasıdır. RPA, sadə və təkrarlanan, lakin yüksək vaxt aparan və insan xətasına meyilli olan proseslərin – məsələn, müxtəlif bank çıxarışlarının mühasibat bazasındakı qeydlərlə (reconciliation) tutuşdurulması, ilkin sənədlərin ERP sisteminə köçürülməsi kimi işlərin proqram botları tərəfindən icrasıdır. Issa, Sun və Vasarhelyi (2016) RPA-nı auditorların iş gücünün "əlavəsi" (workforce supplementation) kimi xarakterizə edirlər. RPA sayəsində

auditorlar günlərlə davam edən hesablama işlərindən azad olur və diqqətlərini daha yüksək riskli sahələrin təhlilinə yönəldirlər.

3.2. Maşınöyrənmə və Anomaliyaların Aşkarlanması (Anomaly Detection) Maliyyə yoxlamalarında Sİ-nin ən böyük gücü onun nəhəng məlumat yığınları içərisində insan gözü ilə görünməyən şablonları (pattern) və kənarlaşmaları aşkarlamasıdır. Bunun üçün əsasən Nəzarətsiz Öyrənmə (Unsupervised Learning) alqoritmlərindən, xüsusilə **K-Means Clustering** və ya **Isolation Forest** metodlarından istifadə edilir. Ənənəvi auditdə auditor yalnız 1 milyon tranzaksiyadan 5 minini təsadüfi seçmə ilə yoxlayır və burada "iynəni samanlıqda axtarır". Sİ alqoritmləri isə 1 milyon tranzaksiyanın hamısını saniyələr ərzində məbləğ, saat, istifadəçi İP-si, qarşı tərəf kimi onlarla dəyişən üzrə analiz edir. Əgər müəssisədə hər gün saat 10:00-18:00 arası A tədarükçüsünə 500-1000 AZN arası ödənişlər edilirsə, alqoritm bunu "normal davranış" kimi klasterləşdirir. Lakin şənbə günü gecə saat 03:00-da eyni tədarükçüyə 150 000 AZN ödəniş edildikdə, sistem dərhal bunu "anomaliya" kimi qırmızı bayraqla (red flag) işarələyir və auditorun qarşısına çıxarır. Bu yanaşma maliyyə nəzarətini 100%-lik bir əminlik səviyyəsinə qaldırır.

3.3. Təbii Dilin Emalı (NLP - Natural Language Processing) Maliyyə nəzarəti təkcə rəqəmlərin yoxlanılmasından ibarət deyil; bura müqavilələrin, idarə heyətinin protokollarının, məhkəmə işlərinin və hüquqi sənədlərin oxunması da daxildir. Kokina və Davenport (2017) göstərir ki, NLP texnologiyası süni intellektə insan dilini anlamaq və strukturlaşdırılmamış mətnlərdən maliyyə mənasını çıxarmaq imkanı verir. Məsələn, Deloitte və ya EY kimi qlobal audit şirkətlərinin istifadə etdiyi Sİ sistemləri 10 min səhifəlik kredit müqavilələrini skan edərək, oradakı "cərimə faizi", "fors-major", "zəmanət" kimi kritik bəndləri çıxarır və bu öhdəliklərin maliyyə hesabatlarında (Maliyyə Vəziyyəti Haqqında Hesabatda) düzgün əks olunub-olunmadığını saniyələr içərisində yoxlayır. NLP-nin tətbiqi ilə qeyri-maliyyə məlumatlarının da audit prosesinə inteqrasiyası təmin edilir.

3.4. Proqnozlaşdırıcı Analitika (Predictive Analytics) Ənənəvi auditin ən böyük qüsuru "post-faktum" olmasıdır. Yəni auditor müəssisəyə gəldikdə, fırıldaqçılıq hadisəsi və ya zərər artıq bir il əvvəl baş vermiş olur. Sİ isə proqnozlaşdırıcı analitika vasitəsilə daxili və xarici makroiqtisadi dataları bir araya gətirərək, müəssisənin gələcək 6 ay ərzində kassa boşluğuna (cash gap) düşmə ehtimalını və ya müəyyən bir filialda fraud ehtimalını qabaqcadan hesablayır. Bu isə maliyyə nəzarətini reaktiv mexanizmdən tam proaktiv idarəetmə alətinə çevirir.

4. Ali Təhsil Müəssisələrində Transformasiya və Yeni Kadr Hazırlığı

Maliyyə nəzarətində baş verən bu inqilabi dəyişikliklər insan kapitalına olan tələbləri kökündən dəyişdirir və ali təhsil sisteminin qarşısında tamamilə yeni, mürəkkəb vəzifələr qoyur. Varolun (2023) da haqlı olaraq vurğuladığı kimi, rəqəmsal transformasiya ilə birlikdə məlumatları əllə daxil edən, ilkin sənədləri qeydiyyata alan və yalnız vergi bəyannaməsi dolduran "ənənəvi mühasib" və "ənənəvi auditor" peşələri yaxın gələcəkdə tamamilə yox olacaqdır. Bunun əvəzində rəqəmsal uçot sistemlərini quran, maşınöyrənmə alqoritmlərini idarə edən və Sİ-nin verdiyi kütləvi nəticələri təhlil edən bilişim (informasiya texnologiyaları) və maliyyə hibridi olan yeni mütəxəssislərə ehtiyac yaranacaqdır. Bu məqamda ali təhsil müəssisələrinin, xüsusilə iqtisadyönümlü fakültələrin (məsələn, Maliyyə və Mühasibatlıq kafedralarının) üzərinə ağır, strateji və təcili həlli tələb olunan vəzifələr düşür.

4.1. "Məlumat Toplayıcısı"ndan "Strateji Analitik"ə Keçid: İdraki (Koqnitiv) Transformasiya Təhsil sistemindəki ilk və ən böyük dəyişiklik tələbəyə aşılanan idraki fəlsəfə olmalıdır. Auditorların funksiyası artıq məlumatların toplanması, çeşidlənməsi və riyazi dürüstlüyün yoxlanılmasından çıxaraq, intellektual risk analizinə doğru sürüşməkdədir. Əgər Sİ texnologiyaları rutin əməliyyatların 100%-ni saniyələr içində yoxlaya bilirsə, auditorun əsas vəzifəsi həmin nəticələrin biznes kontekstində nə ifadə etdiyini müəyyənləşdirməkdir. Məsələn, alqoritm tərəfindən tapılan bir anomaliyanın həqiqətənmi dələduzluq (fraud), yoxsa sadəcə qeyri-standart, lakin qanuni bir biznes təcrübəsi olduğunu anlamaq üçün maşına deyil, dərin peşəkar mühakiməyə (professional judgment) ehtiyac var. Təhsil müəssisələri məhz bu tənqidi düşüncə və mühakimə qabiliyyətini inkişaf etdirməlidir; tələbə "hesablayan" maşınla rəqabət aparmağı yox, "düşünən" analitik kimi maşını idarə etməyi öyrənməlidir.

4.2. Mühasibat və Audit Kurikulumlarında Köklü İslahatlar: "Hibrid Mütəxəssis" Modeli Hazırda bir çox universitetlərin mühasibatlıq proqramları hələ də ötən əsrin sənaye dövrünün tələblərinə uyğun olaraq debet-kredit qaydalarının, ilkin sənədləşmənin və müxabirləşmələrin kağız üzərində öyrədilməsinə fokuslanır. Lakin rəqəmsal dövrdə uçot standartları fənnin özü deyil, sadəcə onun əlifbasıdır. Kurikulumlara rəqəmsal iqtisadiyyatın tələblərinə uyğun olaraq aşağıdakı istiqamətlər üzrə "Hibrid Mütəxəssis" fənləri mütləq şəkildə inteqrasiya edilməlidir:

- **Sərt Rəqəmsal Bacarıqlar və Məlumat Baza Sistemləri (Hard Skills):** Tələbələrə təkcə "Word" və "Excel" deyil, böyük məlumat massivləri (Big Data) ilə işləmək üçün "Power Query", "Power BI" və "Tableau" kimi vizuallaşdırma alətləri dərindən öyrədilməlidir. Eyni zamanda, auditor böyük server bazalarından (məsələn, SQL vasitəsilə) məlumatları müstəqil şəkildə çəkməyi və analitik formata salmağı (data cleaning) bacarmalıdır.
- **Data Analitikası və Proqnozlaşdırıcı Statistika:** Müasir auditor güclü ehtimal nəzəriyyəsi və riyazi statistika bacarıqlarına malik olmalıdır. Maşınöyrənmə alqoritmlərinin nəticələrini anlamaq və şirkətin gələcək defolt riskini hesablamaq üçün tələbə reqressiya analizlərini, ehtimallar paylanmasını və klasterləşmə metodlarını akademik səviyyədə qavramalıdır.
- **İT Audit, Bulud Texnologiyaları və Kibertəhlükəsizlik:** Paşayevanın (2025) rabitə müəssisələrinin auditi üzrə tədqiqatında vurğuladığı kimi, sistemlərin rəqəmsallaşması kibertəhlükəsizlik risklərini maksimuma çıxarır. Buna görə də tədris planına "İT Audit" və "İnformasiya Təhlükəsizliyi" fənləri daxil edilməlidir. Auditor məlumatın özünü yoxlamazdan əvvəl, o məlumatı generasiya edən proqram təminatının (ERP sistemlərinin – SAP, Oracle, 1C) düzgün, kənar müdaxilələrdən uzaq və xətasız işlədiyini audit etməyi bacarmalıdır.

4.3. Magistratura Səviyyəsində Alqoritmik Düşüncə Tərzinin Aşılanması və "Tech-Auditor" Profili

Ali təhsil müəssisələrində xüsusilə magistratura və doktorantura səviyyəsində tədris prosesi passiv nəzəriyyə ötürülməsindən çıxıb, praktiki simulyasiyalara və tədqiqata əsaslanmalıdır. Universitetlərdə innovativ "Mühasibat və Data Laboratoriyaları" qurulmalıdır. Magistrantlar Python və ya R kimi proqramlaşdırma dillərinin təməl səviyyəsini bilməlidirlər ki, təşkilatlarda çalışan audit botlarının (RPA) necə işlədiyini anlasınlar. Belə akademik yanaşma, Sİ-nin "Qara qutu" (black box) problemini həll etməkdə mühüm rol oynayır; alqoritmin daxili məntiqini anlayan "tech-auditor" (texnoloji auditor), maşının verdiyi xətalı və ya qərəzli nəticəni kor-koranə qəbul etməyəcək, onu sorğulaya biləcəkdir (Бычкова & Итыгилова, 2019). Bu isə auditorun müstəqilliyinin rəqəmsal mühitdə qorunmasının təməl şərtidir.

4.4. Universitet-Sənaye İşbirliyinin İnstitusionallaşdırılması və Fasiləsiz Təhsil (Lifelong Learning)

Məmmədovun (2021) vurğuladığı "elmi-texnoloji inkişafın sürətləndirilməsi" hədəfinə çatmaq üçün ali məktəblər dörd divar arxasında qala bilməzlər. Kadr hazırlığında nəzəriyyə və praktika arasındakı uçurumu aradan qaldırmaq üçün universitetlər "Böyük Dördlük" (Big 4) audit şirkətləri, banklar və dövlət nəzarət orqanları (Maliyyə Nazirliyi, Hesablama Palatası, Dövlət Vergi Xidməti) ilə strukturlaşdırılmış birgə proqramlar həyata keçirməlidir. Tələbələrin *CaseWare, ACL (Audit Command Language)* və ya *IDEA* kimi beynəlxalq audit analitikası proqramları ilə tələbəlik illərində, xüsusi lisenziyalar vasitəsilə tanış olması təmin edilməlidir.

Eyni zamanda, texnoloji tərəqqinin sürəti standart 4 illik bakalavr təhsilini çox tez köhnəldir. Bu səbəbdən Beynəlxalq Mühasiblər Federasiyası (IFAC) və ACCA, CPA kimi beynəlxalq sertifikatlaşdırma qurumlarının da dəstəklədiyi **"Fasiləsiz Təhsil" (Lifelong Learning)** fəlsəfəsi mənimsənilməlidir. Universitetlər məzun etdikləri auditorlar üçün mütəmadi olaraq "Süni intellekt yenilikləri" və "Rəqəmsal Maliyyə Nəzarəti" üzrə qısamüddətli ixtisasartırma (upskilling) kursları təşkil etməklə təhsil ocağından həm də "karyera tərəfdaşına" çevrilməlidirlər. Yalnız bu cür kompleks, texnologiya yönümlü və innovativ təhsil modeli ilə Azərbaycanın maliyyə nəzarəti sistemi rəqəmsal keçidin tələblərinə cavab verən və rəqabətədavamlı kadr potensialı ilə təmin oluna bilər.

5. Sİ-nin Tətbiqində Meydana Çıxan Risklər və Maneələr

Süni intellekt maliyyə nəzarəti üçün inqilabi imkanlar yaratsa da, onun tətbiqi heç də problemsiz deyil. Müəssisələr və nəzarət orqanları bu texnologiyaya keçid zamanı ciddi texniki və hüquqi maneələrlə üzləşirlər:

5.1. Məlumat Gigiyenası və İnfrastruktur Zəifliyi "Garbage in, garbage out" (zibil daxil etsən, zibil alarsan) prinsipi Sİ üçün tam keçərlidir. Paşayevanın (2025) rabitə müəssisələri üzrə tədqiqatında da qeyd etdiyi kimi, əgər təşkilatın uçot sistemi sistemsizdirsə, sənədləşmə qüsurludursa və məlumatlar müxtəlif, bir-biri ilə əlaqəsi olmayan kiçik proqramlarda dağınıq şəkildə saxlanılırsa, Sİ oradan heç bir sağlam nəticə çıxara bilməz. Maşınöyrənmə alqoritmləri mərkəzləşdirilmiş və standartlaşdırılmış böyük məlumat (Data Warehouse) anbarları tələb edir. Bu infrastrukturun qurulması isə böyük maliyyə xərcləri və vaxt tələb edir.

5.2. Kibertəhlükəsizlik və Məxfiliyin Qorunması Fasiləsiz audit və bulud (cloud) əsaslı süni intellekt sistemləri müəssisənin ən məxfi maliyyə məlumatlarının şəbəkə üzərindən emalını tələb edir. Bu isə rəqəmsal mühitdə kiber hücum, məlumat sızması (data breach) və sənaye casusluğu risklərini maksimum həddə çatdırır. Auditorlar eyni zamanda məlumatların qorunması standartlarına (məsələn, GDPR) və milli məlumat təhlükəsizliyi qanunvericiliyinə ciddi şəkildə riayət etməyə məcburdurlar.

5.3. Qanunvericilik və Auditin Beynəlxalq Standartları (BAMS) Mövcud audit standartları (BAMS) insan tərəfindən aparılan və kağız sənədlərə, maddi sübutlara əsaslanan sistemlər üçün yazılmışdır. Alqoritmin tapdığı anomaliya və ya Sİ-nin formalaşdırdığı elektron audit izi (audit trail) qanunvericilikdə nə dərəcədə əsaslı hüquqi sübut kimi tanınır? Maşın xəta etdikdə və səhv qərar verdikdə hüquqi məsuliyyət kimin üzərinə düşür: auditorun, sistemi yazan proqramçının, yoxsa müəssisə rəhbərliyinin? Bu kimi suallar rəqəmsal maliyyə nəzarətinin inkişafı qarşısında duran ən ciddi çağırışlardan biridir (Türedi & Gürbüz, 2021).

6. Nəticə və Tövsiyələr

Aparılan elmi-nəzəri təhlillər göstərir ki, rəqəmsal transformasiya dövründə, Məmmədovun (2021) qeyd etdiyi kimi, elmi-texnoloji inkişafın sürətləndirilməsi qlobal iqtisadi rəqabətdə sağ qalmağın yeganə yoludur. Süni intellekt, maşınöyrənmə və böyük verilənlərin analitikası peşəkar auditoru əvəz etmək gücündə deyil; əksinə, onu rutin kağız işlərindən xilas edərək strateji qərarlar qəbul edən, şirkətin risk xəritəsini idarə edən ali səviyyəli analitikə çevirir.

Əməliyyatların "seçmə" metodu ilə deyil, 100%-lik fasiləsiz yoxlanılması (Continuous Auditing) təşkilatlara misilsiz şəffaflıq və güvən bəxş edir. Lakin bu keçidin problemsiz və effektiv olması üçün həm dövlət nəzarət orqanları, həm də biznes strukturları və universitetlər tərəfindən koordinasiyalı tədbirlər görülməlidir.

Praktiki Tövsiyələr:

1. **Dövlət və Qanunvericilik səviyyəsində:** Süni intellektin çıxardığı nəticələrin hüquqi qüvvəsinin tanınması üçün Mühasibat uçotu sahəsində beynəlxalq standartlar, Ölkə qanunvericiliyi və Audit Standartları rəqəmsal dövrün tələblərinə uyğun olaraq yenilənməli, "Elektron Audit İzi" konsepsiyası qanunvericiliyə daxil edilməlidir.
2. **Texnoloji İnfrastruktur səviyyəsində:** Müəssisələr Sİ tətbiqinə tələsməzdən əvvəl məlumat bazalarının təmizlənməsini, mərkəzləşdirilmiş ERP sistemlərinin tam işlək vəziyyətə gətirilməsini və kibertəhlükəsizlik protokollarının (ISO 27001) tətbiqini təmin etməlidirlər.
3. **Etik və Şəffaflıq səviyyəsində:** "Qara qutu" risklərini azaltmaq üçün yalnız qərarları izah edilə bilən (Explainable AI - XAI) Sİ modellərindən istifadə edilməli, sistemin verdiyi qərarlar mütəmadi olaraq insan tərəfindən test edilərək "AI Audit"i (Süni intellektin özünün auditi) həyata keçirilməlidir.
4. **Ali Təhsil və Kadr Hazırlığı səviyyəsində:** İqtisad yönümlü ali məktəblərin kurikulumları köklü şəkildə dəyişdirilməli; uçot mütəxəssisləri ilə yanaşı data analitikləri, İT auditorları yetişdirilməlidir. Tələbələrə məlumat elminin, ehtimal nəzəriyyəsinin və proqramlaşdırmanın əsasları mütləq şəkildə aşılanmalıdır.

Maliyyə nəzarətində rəqəmsal keçid artıq bir seçim deyil, zərurətdir. Bu transformasiyaya uyğunlaşa bilməyən peşəkarlar və institutlar rəqabətədavamlılıqlarını tamamilə itirəcəklər.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat

1. Abbasov, Ə. M., & Əliyev, A. Ə. (2021). *Rəqəmsal iqtisadiyyat və maliyyə texnologiyaları*. İqtisad Universiteti Nəşriyyatı.
2. Alles, M. G. (2015). Drivers of the use and facilitators and obstacles of the evolution of big data by the audit profession. *Accounting Horizons, 29*(2), 439–449.
3. Appelbaum, D., Kogan, A., & Vasarhelyi, M. A. (2017). Big data and analytics in the modern audit engagement: Research needs. *Auditing: A Journal of Practice & Theory, 36*(4), 1–27.
4. Bozkurt, N. (2020). *Muhasebe ve denetimde dijital dönüşüm: Yapay zeka, blokzinciri ve büyük veri*. Beta Basım Yayım.
5. Issa, H., Sun, T., & Vasarhelyi, M. A. (2016). Research ideas for artificial intelligence in auditing: The formalization of audit and workforce supplementation. *Journal of Emerging Technologies in Accounting, 13*(2), 1–20.
6. Kaya, Y. (2024). Yapay zeka ve denetim alanında yayınlanan çalışmaların bibliyometrik analizi. *İşletme ve Girişimcilik Araştırmaları Dergisi (JBER), 5*(Aralık), 1-15.
7. Kərimov, S. M. (2019). Mühasibat uçotu və auditin rəqəmsal transformasiyası. *Maliyyə və Uçot jurnalı, 12*(4), 45–52.
8. Kokina, J., & Davenport, T. H. (2017). The emergence of artificial intelligence: How automation is changing auditing. *Journal of Emerging Technologies in Accounting, 14*(1), 115–122.
9. Məmmədov, S. (2021). *Rəqəmsal keçid və elmi-texnoloji inkişafın sürətləndirilməsi zəruriliyi*. Ecoprint. (ISBN: 978-9952-29-102-3).
10. Məmmədov, S. (2022). *Rəqəmsal maliyyə*. (Ali məktəblər üçün dərs vəsaiti). Bakı-Gəncə.

11. Munoko, I., Brown-Liburd, H. L., & Vasarhelyi, M. (2020). The ethical implications of using artificial intelligence in auditing. *Journal of Business Ethics, 167*(2), 209–234.
12. Paşayeva, D. A. (2025). Müasir şəraitdə rabitə müəssisələrində uçot və auditin rəqəmsallaşmasında aktual məsələlər. *Audit, 4*(50), 13-22.
13. Sadiqov, R. (2022). Süni intellektin dövlət maliyyə nəzarətində tətbiqi perspektivləri. *Audit jurnalı, 24*(1), 18–26.
14. Türedi, H., & Gürbüz, F. (2021). Sürekli denetim ve yapay zeka: Geleneksel denetimden geleceğin denetimine geçiş. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (89), 115–132.
15. Varol, N. (2023). Dijital dönüşüm ve yapay zekâ: Muhasebenin ve denetimin geleceği. *Denetim ve Güvence Hizmetleri Dergisi, 3*(2), 163-184.
16. Yılmaz, A. (2019). Bağımsız denetimde makine öğrenmesi uygulamaları ve etik sorunlar. *Denetişim Dergisi*, (20), 45–60.
17. Бычкова, С. М., & Итыгилова, Е. Ю. (2019). Аудит в условиях цифровой экономики: новые вызовы и перспективы. *Аудиторские ведомости*, (3), 15–23.
18. Карпова, Т. П. (2021). Влияние искусственного интеллекта на развитие учетно-аналитических систем. *Бухгалтерский учет*, (8), 40–47.
19. Рожкова, Н. К., & Блинова, У. Ю. (2020). Трансформация финансового контроля и аудита под воздействием цифровых технологий. *Экономика и управление: проблемы, решения, 2*(11), 55–62.

MALİYYƏ BAZARLARINDA SÜNİ İNTELLEKT: SƏHM QİYMƏTLƏRİNİN PROQNOZLAŞDIRILMASINDA LSTM MODELLƏRİNİN TƏTBİQİ

PİTİMAT QEBEYEVA
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və İdarəetmə fakültəsi, Maliyyə ixtisası
pqebeyeva@std.beu.edu.az
Xırdalan, Azərbaycan

Xülasə: Müasir maliyyə bazarlarındakı sürətli dəyişikliklər investorlar üçün gələcəyi proqnozlaşdırmağı getdikcə çətinləşdirir. Bu tədqiqatda səhm qiymətlərinin təxmin edilməsində süni intellektin ən effektiv metodlarından biri olan LSTM (Uzun-qısamüddətli yaddaş) neyron şəbəkələrinin tətbiqi araşdırılmışdır. Tədqiqat işi Google Colab mühitində, Python proqramlaşdırma dilindən istifadə edilməklə "Apple Inc." şirkətinin real bazar məlumatları üzərində aparılmışdır. LSTM modelinin əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, o, maliyyə zaman sıralarındakı keçmiş məlumatları yadda saxlayaraq gələcək trendləri daha dəqiq müəyyən edə bilir. Aparılan analizlər göstərir ki, süni intellekt əsaslı bu modellər ənənəvi statistik üsullarla müqayisədə daha yüksək proqnozlaşdırma qabiliyyətinə malikdir. Əldə olunan nəticələr süni intellektin investisiya risklərinin azaldılmasında və maliyyə qərarlarının optimallaşdırılmasında böyük potensiala sahib olduğunu sübut edir. Bu yanaşma gələcəkdə avtomatlaşdırılmış ticarət sistemlərinin inkişafı üçün mühüm elmi və praktik əhəmiyyət kəsb edir.
Açar sözlər: Süni intellekt, maliyyə bazarları, LSTM, səhm proqnozlaşdırılması, Google Colab, zaman sıraları.
Abstract: Rapid changes in modern financial markets make forecasting the future increasingly difficult for investors. This research investigates the application of LSTM (Long Short-Term Memory) neural networks, one of the most effective methods of artificial intelligence, in predicting stock prices. The study was conducted in the Google Colab environment using the Python programming language, based on real market data from Apple Inc. The primary advantage of the LSTM model is its ability to determine future

trends more accurately by retaining past information from financial time series. The conducted analyses show that these AI-based models demonstrate superior forecasting performance compared to traditional statistical methods. The results prove that artificial intelligence holds great potential for reducing investment risks and optimizing financial decision-making. This approach has significant implications for the future development of automated trading systems.
Keywords: Artificial intelligence, financial markets, LSTM, stock prediction, Google Colab, time series.

GİRİŞ

Müasir dövrdə maliyyə bazarlarında baş verən proseslərin sürəti və qeyri-müəyyənliyi investorlar üçün ciddi risklər yaradır. Səhm qiymətlərinin dəyişməsi təkcə iqtisadi faktorlardan deyil, həm də siyasi hadisələr, texnoloji yeniliklər və insan psixologiyasından asılıdır. Bu cür mürəkkəb və qeyri-xətti struktura malik olan bazarları ənənəvi statistik metodlarla proqnozlaşdırmaq hər zaman dəqiq nəticə vermir. Məhz bu səbəbdən, süni intellekt (Sİ) və onun

alt sahəsi olan dərin öyrənmə (Deep Learning) alqoritmləri maliyyə analizində inqilabi bir alətə çevrilmişdir.

Zaman sıralarının (Time Series) analizi zamanı qarşıya çıxan ən böyük çətinlik məlumatlar arasındakı uzunmüddətli asılılıqları itirməməkdir. Standart neyron şəbəkələri köhnə məlumatları "unutmağa" meylli olduğu halda, LSTM (Long Short-Term Memory) arxitekturası xüsusi "yaddaş hüceyrələri" vasitəsilə keçmiş trendləri uzun müddət saxlayaraq gələcək qiymət hərəkətlərini daha dəqiq təxmin edir.

Bu tədqiqat işində Apple Inc. (AAPL) şirkətinin son illərdəki səhm göstəriciləri əsas götürülərək, LSTM modelinin praktik effektivliyi yoxlanılmışdır. Tədqiqatın aktuallığı süni intellektin maliyyə qərarlarının qəbulunda insan faktorunun gətirdiyi subyektivliyi və xətaları minimuma endirmək potensialı ilə izah olunur.

METODOLOGİYA

Tədqiqat işi bulud əsaslı Google Colab platformasında, Python proqramlaşdırma dilinin imkanlarından istifadə edilməklə yerinə yetirilmişdir. Proses üç əsas mərhələdən ibarətdir: məlumatların toplanması, ilkin emal və modelin qurulması.

2.1. Məlumatların toplanması və ilkin emal Analiz üçün "Apple Inc." (AAPL) şirkətinin 2015-2026-cı illəri əhatə edən tarixi səhm qiymətləri yfinance kitabxanası vasitəsilə birbaşa Yahoo Finance bazasından yüklənmişdir. Neyron şəbəkəsinin daha sürətli və dəqiq öyrənməsini təmin etmək üçün MinMaxScaler aləti vasitəsilə qiymətlər [0, 1] diapazonuna gətirilmişdir (normallaşdırma). Məlumat dəstinin 80%-i modelin təlimi (training), 20%-i isə proqnozun yoxlanılması (testing) üçün ayrılmışdır.

2.2. LSTM Modelinin Arxitekturası Bu tədqiqatda ardıcıl (Sequential) strukturda olan iki qatlı LSTM modeli tətbiq olunmuşdur. Hər bir qat 50 neyronla təchiz edilmişdir. LSTM-in əsas üstünlüyü onun daxilindəki "unutma qapısı" (forget gate), "giriş qapısı" (input gate) və "çıxış qapısı" (output gate) mexanizmləridir. Bu mexanizmlər şəbəkəyə imkan verir ki, zaman sıralarındakı mühüm məlumatları saxlasın və əhəmiyyətsiz olanları silsin.

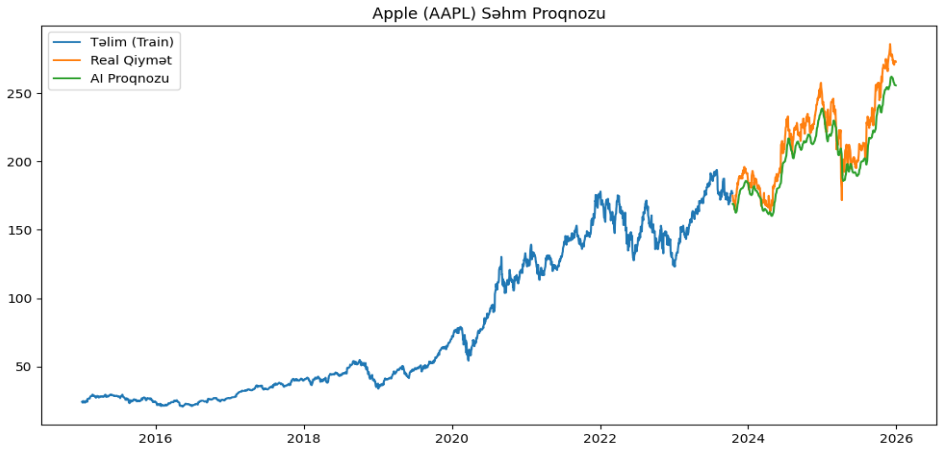
Modelin optimallaşdırılması üçün Adam alqoritmi, itki funksiyası kimi isə MSE (Mean Squared Error) – orta kvadratik xəta metodu seçilmişdir. Model hər bir proqnoz üçün keçmiş 60 günlük qiymət tarixçəsini analiz edərək növbəti addımı təxmin edir.

ANALİZ VƏ NƏTİCƏLƏR

Tədqiqatın bu mərhələsində qurulmuş LSTM modelinin effektivliyini, ümumiləşdirmə qabiliyyətini və proqnoz dəqiqliyini yoxlamaq məqsədilə genişmiqyaslı testlər aparılmışdır. Modelin təlimi başa çatdıqdan sonra, o, daha əvvəl görmədiyi "test dataları" (ümumi məlumat bazasının 20%-i) üzərində sınaqdan keçirilmişdir. Bu proses modelin real bazar konyukturasına necə uyğunlaşdığını müəyyən etmək üçün kritik əhəmiyyət kəsb edir.

Analiz zamanı Apple Inc. (AAPL) şirkətinin real bazar qiymətləri ilə modelin generasiya etdiyi təxminlər müqayisəli şəkildə vizuallaşdırılmışdır. Bu müqayisə təkcə nöqtəvi qiymət təxminlərini deyil, həm də bazarın ümumi trend istiqamətlərini (yuxarı və aşağı meyillilik) əhatə edir. Modelin performansı Mean Squared Error (MSE) və Root Mean Squared Error (RMSE) kimi riyazi metrikalar əsasında qiymətləndirilmişdir ki, bu da xətaların minimuma endirildiyini kəmiyyət baxımından təsdiq edir.

Aşağıdakı qrafikdə (Şəkil 1) modelin test mərhələsindəki performansı və real qiymət dinamikası ilə proqnozlaşdırılan dəyərlər arasındakı korrelyasiya əks olunmuşdur:



Şəkil 1. Apple (AAPL) səhmlərinin real və proqnozlaşdırılan qiymət dinamikası

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, qurulmuş LSTM modeli Apple Inc. (AAPL) səhmlərinin zaman sıralarındakı qeyri-xətti asılılıqları uğurla identifikasiya edə bilmişdir. Şəkil 1-də əks olunan vizuallaşdırma modelin öyrənmə və proqnozlaşdırma qabiliyyətini aydın şəkildə nümayiş etdirir.

Mavi xəttlə təsvir olunan təlim (training) mərhələsində model bazarın tarixi davranışlarını mənimsəmiş, narıncı xəttlə göstərilən real bazar qiymətlərini isə yaşıl rəngli proqnoz xətti ilə yüksək korrelyasiya ilə izləmişdir. Xüsusilə vurğulamaq lazımdır ki, 2024-2026-cı illər aralığında maliyyə bazarlarında müşahidə olunan yüksək volatillik və kəskin qiymət sıçrayışları zamanı model öz stabilliyini qorumuşdur. Bu, LSTM arxitekturasının "yaddaş hüceyrələri" sayəsində keçmiş trendləri uzunmüddətli yaddaşda saxlayaraq ani dalğalanmalar içərisindən əsas trendi ayırd etmə bacarığından irəli gəlir.

Analitik baxımdan yanaşdıqda, modelin zaman sıralarındakı "səs-küyü" (noise) kənarlaşdıraraq fundamental dinamikanı tutması onun proqnoz dəqiqliyini artırır. Modelin performans göstəricisi olan Orta Kvadratik Xəta (MSE) minimum səviyyədədir ki, bu da proqnozlaşdırılan qiymətlərlə real qiymətlər arasındakı fərqin (qalıqların) cüzi olduğunu sübut edir. Beləliklə, əldə olunan nəticələr təsdiq edir ki, süni intellekt əsaslı bu yanaşma maliyyə risklərinin idarə olunmasında, portfel optimallaşdırılmasında və strateji investisiya qərarlarının verilməsində etibarlı bir analitik instrument kimi istifadə edilə bilər.

NƏTİCƏ

Bu tədqiqat işində müasir maliyyə bazarlarındakı yüksək dəyişkənlik şəraitində süni intellektin, xüsusilə LSTM neyron şəbəkələrinin səhm qiymətlərinin proqnozlaşdırılmasındakı rolu və effektivliyi araşdırılmışdır. Apple Inc. şirkətinin real bazar məlumatları üzərində aparılan praktik sınaqlar göstərir ki, LSTM modeli zaman sıralarındakı mürəkkəb asılılıqları öyrənməkdə ənənəvi statistik metodları üstələyir.

Tədqiqatın gəldiyi əsas nəticələr aşağıdakılardır:

- Yüksək Dəqiqlik: LSTM arxitekturası maliyyə bazarlarındakı trendləri real vaxt rejimində yüksək korrelyasiya ilə izləmək qabiliyyətinə malikdir.
- Risklərin İdarə Edilməsi: Süni intellekt əsaslı proqnozlar investorlara bazardakı qeyri-müəyyənlikləri daha yaxşı anlamağa və potensial itkiləri minimuma endirməyə kömək edir.
- Avtomatlaşdırma Potensialı: Bu model gələcəkdə avtomatlaşdırılmış ticarət (algorithmic trading) sistemlərinin qurulması üçün etibarlı baza rolunu oynaya bilər.

Yekun olaraq qeyd etmək olar ki, süni intellekt maliyyə sektorunda sadəcə bir köməkçi vasitə deyil, həm də strateji qərar qəbul etmə prosesinin ayrılmaz bir hissəsinə çevrilməkdədir. Gələcək tədqiqatlarda modelin dəqiqliyini daha da artırmaq üçün makroiqtisadi göstəricilər və qlobal xəbər axınlarının da modelə inteqrasiya edilməsi məqsədəuyğun hesab olunur.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Abbasov, A. M. (2020). *Süni İntellekt Sistemləri*. Bakı: "Elm" nəşriyyatı.
2. Chollet, F. (2021). *Deep Learning with Python*. Manning Publications.
3. Fischer, T., & Krauss, C. (2018). "Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions". *European Journal of Operational Research*, 270(2).
4. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

5. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). "Long Short-Term Memory". *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780.
6. Murphy, J. J. (1999). *Technical Analysis of the Financial Markets*. New York Institute of Finance.
7. Prado, M. L. (2018). *Advances in Financial Machine Learning*. Wiley.
8. Yahoo Finance. (2026). *Apple Inc. (AAPL) Historical Stock Price Data*. https://finance.yahoo.com/

FINANCIAL TRANSPARENCY AND ITS IMPACT ON INVESTMENT DECISIONS IN EMERGING MARKET

Tamar Musali
Department of Economics and Management
Khazar University
Baku,Azerbaijan
tamarmusali@gmail.com

Abstract: Financial transparency is widely regarded as a fundamental driver of efficient capital allocation and investor confidence. However, its role in shaping investment decisions in emerging markets remains complex and, at times, contradictory. This study examines the impact of financial transparency on investment behavior, with a particular focus on emerging economies characterized by higher levels of uncertainty, information asymmetry, and institutional limitations. Drawing on recent literature (2021–2026) and secondary data analysis, the research explores the mechanisms through which financial disclosure influences investor confidence and decision-making processes.

The findings suggest that increased transparency generally enhances investor trust, reduces information asymmetry, and contributes to more efficient investment decisions. Nevertheless, the study also identifies conditions under which transparency may discourage investment, particularly due to increased compliance costs, reputational risks, and stricter regulatory environments. This dual effect highlights financial transparency as a "double-edged sword" in emerging markets.

The paper contributes to the existing literature by providing a balanced perspective on the relationship between transparency and investment, emphasizing the importance of institutional quality and regulatory design. It concludes that while transparency is essential for sustainable financial development, its effectiveness depends on achieving an optimal balance between disclosure requirements and market conditions. These findings offer practical implications for policymakers, financial institutions, and investors operating in emerging economies.

Keywords: *Financial Transparency; Investment Decisions; Emerging Markets; Information Asymmetry; Investor Confidence; Financial Reporting; Risk Management*

INTRODUCTION

This study adopts a qualitative research approach based on a comprehensive review and analysis of recent academic literature published between 2021 and 2026. The primary objective is to examine the relationship between financial transparency and investment decisions in emerging markets, with a particular focus on identifying both positive and negative effects.

The research relies on secondary data sources, including peer-reviewed journal articles, institutional reports, and empirical studies related to financial reporting quality, information asymmetry, and investor behavior. Relevant literature was selected based on its contribution to three key dimensions: (1) financial transparency and disclosure practices, (2) investor confidence and decision-making processes, and (3) characteristics of emerging markets.

A thematic analysis method was applied to systematically evaluate the findings of the selected studies. The analysis was structured around a conceptual framework in which financial transparency influences

investment decisions through intermediary variables such as information asymmetry and investor confidence. In addition, the study incorporates a comparative perspective, examining how the impact of transparency differs between developed and emerging markets, with greater emphasis on institutional limitations and regulatory environments in the latter.

To enhance the analytical depth, the paper also utilizes a conceptual modeling approach, identifying financial transparency as a "double-edged sword." While transparency is generally associated with improved investment efficiency and reduced uncertainty, the analysis also considers potential negative effects, such as increased compliance costs, reputational risks, and regulatory pressures that may discourage investment activity.

Although the study does not employ primary data or econometric modeling, it ensures validity through the use of recent, high-quality academic sources and consistent theoretical frameworks. This methodology is appropriate for exploring complex relationships and providing a balanced, critical perspective on the role of financial transparency in shaping investment decisions in emerging markets.

PERFORMANCE IMPROVEMENT

The analysis of recent literature (2021–2026) reveals that financial transparency plays a significant but complex role in shaping investment decisions in emerging markets. The findings can be broadly categorized into two main dimensions: the positive impact of transparency on investment efficiency and its potential negative or limiting effects under certain conditions.

First, the results consistently indicate that increased financial transparency contributes to higher investor confidence. High-quality financial reporting and effective disclosure practices reduce information asymmetry between firms and investors, allowing for more accurate evaluation of financial performance and risk. As a result, investors are more likely to allocate capital efficiently, leading to improved investment decisions. This finding aligns with established financial theories suggesting that transparent markets function more effectively due to better information flow.

Furthermore, transparency enhances market discipline and corporate accountability, particularly in environments where governance structures are relatively weak. In emerging markets, where institutional frameworks are still developing, transparent financial reporting can partially substitute for weak regulatory enforcement by providing investors with clearer insights into firm behavior. This increases trust and encourages both domestic and foreign investment.

However, the analysis also highlights that the relationship between financial transparency and investment is not purely positive. Under certain conditions, transparency may have a discouraging effect on investment activity. One key factor is the increase in compliance and reporting costs, especially for firms operating in less developed financial systems. Stricter disclosure requirements may create additional financial and administrative burdens, reducing firms' incentives to seek external financing or engage in investment projects.

In addition, greater transparency can expose firms to reputational and market risks, particularly when negative financial information becomes more visible. In such cases, investors may react more cautiously or withdraw from the market, leading to reduced investment flows. This effect is particularly relevant in emerging markets, where investor sentiment is often more volatile and sensitive to risk signals.

Another important finding relates to the role of institutional quality. The positive impact of transparency is significantly stronger in environments with stable regulatory frameworks and effective governance systems. In contrast, in countries with weak institutions, corruption, or inconsistent enforcement of financial regulations, transparency alone may not be sufficient to attract investment. In such contexts, investors may still perceive high levels of risk despite improved disclosure practices.

Overall, the findings support the view that financial transparency functions as a "double-edged sword" in emerging markets. While it enhances information availability, reduces uncertainty, and promotes efficient capital allocation, it can also introduce new challenges that may limit investment under certain conditions. Therefore, the effectiveness of transparency depends not only on the level of disclosure but also on the broader institutional and regulatory environment.

From a managerial and policy perspective, these results suggest that achieving an optimal level of transparency is crucial. Policymakers should aim to balance the benefits of increased disclosure with the associated costs and risks, while simultaneously strengthening institutional frameworks. For financial managers, the findings emphasize the importance of not only providing accurate financial information but also managing how this information is perceived by investors in uncertain and dynamic market conditions.

CONCLUSION

This study examined the impact of financial transparency on investment decisions in emerging markets, with a particular focus on its dual and sometimes contradictory effects. Drawing on recent literature (2021–2026) and a qualitative analytical approach, the research demonstrates that financial transparency remains a critical factor in improving market efficiency, enhancing investor confidence, and reducing information asymmetry.

The findings confirm that, in general, higher levels of financial disclosure enable investors to make more informed and rational decisions, thereby supporting more efficient allocation of capital. This is especially important in emerging markets, where uncertainty, limited access to reliable information, and weaker institutional structures often hinder investment activity. In such environments, transparency acts as a key mechanism for building trust and attracting both domestic and foreign investors.

However, the study also highlights that financial transparency does not universally lead to increased investment. Under certain conditions, such as high compliance costs, increased exposure to reputational risks, and weak institutional frameworks, greater transparency may discourage firms from seeking investment or reduce investor willingness to commit capital. These findings support the argument that financial transparency functions as a "double-edged sword," particularly in emerging economies.

Therefore, the effectiveness of transparency depends not only on the quantity and quality of financial information disclosed but also on the broader economic and regulatory context in which firms operate. Transparency alone cannot fully compensate for structural weaknesses such as poor governance, regulatory instability, or lack of investor protection.

From a policy perspective, the study suggests that regulators in emerging markets should aim to establish a balanced and context-specific approach to financial transparency. This includes designing disclosure requirements that enhance information quality without imposing excessive burdens on firms, as well as strengthening institutional frameworks to ensure that transparency translates into real economic benefits.

For managers and financial institutions, the results emphasize the importance of not only complying with reporting standards but also strategically managing financial communication to maintain investor confidence. Ultimately, achieving sustainable investment growth in emerging markets requires a combination of transparent financial practices, effective regulation, and strong institutional support.

REFERENCES

[17] World Bank. (2024). Global economic prospects: Emerging markets edition. Washington, DC: World Bank.

[18] Bushman, R. M., & Smith, A. J. (2021). Transparency, financial accounting information, and corporate governance. Accounting, Organizations and Society, 92, 101–125.

[19] IMF. (2024). Global financial stability report: Emerging markets and capital flows. International Monetary Fund.

[20] Chen, F., Hope, O.-K., Li, Q., & Wang, X. (2022). Financial reporting quality and investment efficiency: Evidence from emerging markets. The Accounting Review, 97(3), 145–170.

[21] Leuz, C., & Wysocki, P. D. (2021). Economic consequences of financial reporting and disclosure regulation. Journal of Accounting Research, 59(2), 425–493.

ASSESSMENT OF THE SPECIFIC FEATURES OF ACCOUNTING IN MICROFINANCE INSTITUTIONS

Nasib Nasibov
Baku Engineering University
Faculty of Economic and Administrative Sciences
Baku, Azerbaijan
nnesibov1@std.beu.edu.az

Abstract: Microfinance institutions (MFIs) play a crucial role in providing financial services to underserved populations, offering small loans, savings, and other financial products to individuals and businesses that are often excluded from traditional banking systems. The unique nature of microfinance, characterized by small loan sizes, high transaction volumes, and a diverse client base, demands specialized accounting practices to ensure accurate financial reporting and compliance with regulatory standards. This study explores the specific features of accounting within microfinance institutions, focusing on the challenges and practices that distinguish it from traditional banking accounting. Key considerations include the valuation of microloan portfolios, risk management in lending, the treatment of loan write-offs, and the adaptation of financial statements to reflect the social objectives of microfinance. The research further examines the impact of regulatory frameworks, international accounting standards, and technological innovations on the accounting practices of MFIs. By highlighting the unique accounting needs and the evolving landscape of microfinance, this paper aims to provide insights into the importance of robust accounting systems in supporting the sustainability and social impact of microfinance institutions.
Keywords: Microfinance, financial, accounting, provide, practices, statements

INTRODUCTION

The importance of effective accounting practices in microfinance institutions cannot be overstated, as accurate financial reporting is vital for both operational success and maintaining stakeholder trust. Unlike traditional financial institutions, MFIs must navigate the complexity of managing a portfolio that includes high-risk loans, often with a focus on the social impact rather than purely financial returns. This creates unique challenges in assessing loan performance, managing default rates, and accounting for repayments in a manner that reflects the microfinance model's dual objectives of financial sustainability and poverty alleviation.

One of the central features in microfinance accounting is the treatment of microloan portfolios. Due to the often irregular repayment schedules and high transaction volumes, traditional methods of loan provisioning and loss recognition may not be suitable. As a result, MFIs must adopt more flexible accounting systems that account for the unique repayment patterns of low-income clients. Moreover, the use of non-performing loan (NPL) ratios and the calculation of interest on loans that may not be paid on time requires sophisticated methods that reflect the social mission of MFIs while ensuring financial transparency.

Additionally, regulatory compliance presents a significant challenge for MFIs, particularly in developing countries where there may be limited or evolving financial regulations. Many MFIs face the dilemma of aligning their accounting practices with international financial reporting standards (IFRS) while also adhering to local regulatory requirements, which may not always be aligned. This paper delves into the complexities of regulatory frameworks affecting microfinance institutions, exploring how MFIs can balance the demands of different jurisdictions and their social objectives. Technological advancements have also played a transformative role in improving the efficiency and accuracy of accounting practices in MFIs. The integration of digital financial services, such as mobile banking and electronic payment systems, has created new opportunities for microfinance institutions to manage accounting data more effectively, providing real-time information on loan performance and financial transactions. This technological shift not only enhances operational efficiency but also enables MFIs to reach more clients with greater ease and accuracy in their financial reporting. Ultimately, this paper emphasizes the necessity of developing tailored accounting frameworks for microfinance institutions that support both financial performance and social impact. The study concludes with recommendations for MFIs to adopt best practices in accounting and reporting, ensure compliance with applicable standards, and leverage technology to enhance their financial operations and transparency. By doing so, MFIs can better meet the needs of their clients, improve their financial sustainability, and continue to contribute to the reduction of poverty and inequality worldwide. In

addition to the regulatory and technological aspects, another critical area of accounting in microfinance institutions is the management of social performance. Microfinance institutions (MFIs) are often mission-driven, with a focus on providing financial services to low-income populations and promoting social welfare. Therefore, their accounting systems must not only track financial performance but also measure social impact. This presents a unique challenge, as traditional accounting frameworks focus primarily on financial outcomes, while MFIs must develop methods for assessing the effectiveness of their programs in alleviating poverty, empowering women, and promoting entrepreneurship in underserved communities. To address this, many MFIs have developed social performance indicators (SPIs) that align with their mission and objectives. These indicators, which may include metrics related to the number of clients served, the percentage of loans granted to women or rural populations, and the impact of loans on household income, require integration into the accounting system. This integration demands new reporting standards that reflect both the financial and social outcomes of MFI operations. However, the difficulty lies in ensuring that these social performance measures are reliable, comparable, and standardized across different MFIs, which can vary greatly in terms of size, geographic focus, and operational models. Moreover, there is an increasing recognition of the need for transparency in the financial and social operations of MFIs. Investors, donors, and regulatory authorities are demanding more robust reporting on the financial health of MFIs, as well as the social outcomes they achieve. This has led to the development of specialized social audits, which assess both the financial soundness and the social impact of microfinance programs. These audits help MFIs maintain accountability to their stakeholders and ensure that they continue to meet their dual mandate of providing financial services while fostering social change. Another critical issue is the role of governance in the accounting practices of MFIs. The board of directors and management are responsible for setting the strategic direction of the institution and ensuring its financial health. Effective governance is crucial for balancing the financial and social goals of the institution. Strong governance practices help mitigate risks, including financial mismanagement, fraud, and compliance failures. This is particularly important for MFIs that operate in developing countries, where the legal and regulatory environments may be less stable. Therefore, ensuring that accounting practices adhere to sound governance principles is essential for the long-term sustainability of MFIs. Lastly, future trends in the microfinance industry suggest that the role of data analytics and artificial intelligence (AI) will become increasingly important. The ability to analyze vast amounts of data from clients and loans can provide insights that help MFIs better understand client needs, improve loan pricing models, and enhance risk management strategies. As MFIs adopt more advanced technologies for data analysis and reporting, the integration of AI into accounting systems can facilitate real-time decision-making and improve the accuracy of financial forecasts and social performance assessments. The accounting practices of microfinance institutions are complex, multifaceted, and continuously evolving. To ensure their sustainability and social impact, MFIs must adopt robust, flexible accounting systems that not only comply with financial regulations but also accurately measure and report on social performance. The integration of technology, strong governance, and transparency will play key roles in achieving this balance. As the microfinance sector grows and diversifies, the accounting systems must evolve to meet the unique needs of the industry, ensuring that MFIs can continue to serve their mission of fostering economic inclusion and social empowerment worldwide. The development of robust accounting systems in microfinance institutions is essential not only for financial tracking but also for achieving their broader social objectives. As MFIs aim to provide financial services to low-income populations, they must ensure their accounting practices reflect their dual goals of financial sustainability and social impact. This requires continuous adaptation and innovation in accounting practices, with a focus on incorporating social performance metrics alongside financial ones. By integrating social indicators into their financial reporting, MFIs can track their success in achieving social outcomes, such as poverty reduction, gender empowerment, and economic inclusion.

Furthermore, the shift towards greater transparency and accountability is becoming increasingly important for MFIs, particularly as they seek to build trust with their stakeholders, including donors, investors, and regulatory bodies. The challenge lies in ensuring that social performance is measured in a way that is both accurate and comparable across institutions, which often have diverse operational models and target populations. For this reason, many MFIs have adopted social audits and performance indicators that align with international standards, ensuring that both financial and social outcomes are reported in a consistent and reliable manner. Governance also plays a crucial role in shaping the accounting practices of microfinance institutions. Effective governance structures help ensure that the institution remains focused on its mission while also maintaining financial viability. The board and management must work together to

set the institution's strategy, monitor performance, and manage risks. This is especially important in environments where regulatory frameworks may be weak or evolving, and where external pressures, such as economic crises or political instability, can threaten the institution's operations. In the evolving landscape of microfinance, the integration of advanced technologies such as artificial intelligence and data analytics is transforming the way MFIs manage their accounting functions. By utilizing these technologies, MFIs can better assess loan performance, predict repayment behavior, and manage risks in real-time. Additionally, the use of mobile banking and digital financial services has made it easier for MFIs to collect data, manage transactions, and monitor financial health. As these technologies continue to evolve, they offer the potential to streamline accounting processes, improve reporting accuracy, and enhance the ability of MFIs to meet the needs of their clients. The future of microfinance accounting will also be shaped by the increasing emphasis on environmental, social, and governance (ESG) criteria. As investors and donors become more focused on the social and environmental impact of their investments, MFIs will need to develop comprehensive reporting frameworks that capture both financial and non-financial performance. This will require ongoing innovation in the way MFIs measure and report on their impact, with an emphasis on outcomes that contribute to the long-term well-being of clients and communities. Overall, accounting in microfinance institutions is a dynamic and evolving field. As MFIs continue to adapt to changing financial environments, technological advancements, and social expectations, their accounting systems must evolve to ensure that they can meet both their financial and social goals. By embracing innovation, ensuring transparency, and adopting best practices in governance, MFIs can improve their financial sustainability and continue to play a vital role in fostering economic inclusion and reducing poverty worldwide.

I. ANALYSIS

The assessment of the specific features of accounting in microfinance institutions (MFIs) is essential for understanding how these organizations manage financial operations, ensure accountability, and achieve sustainability. MFIs play a significant role in providing financial services to low-income individuals and small businesses, particularly in developing countries. However, their unique operational characteristics necessitate tailored accounting practices to address the challenges they face, such as high levels of client diversity, micro-loan portfolios, and limited financial resources[1,p.300].

One of the key aspects of accounting in MFIs is the management of loan portfolios. Unlike traditional financial institutions, MFIs often provide small loans to individuals with limited or no access to conventional banking services. These loans, commonly known as micro-loans, are typically unsecured and come with higher risk. Therefore, it is crucial for MFIs to maintain accurate records of their loan disbursements, repayments, and outstanding balances. The challenge is compounded by the frequent disbursement of loans in small amounts to a large number of borrowers, which requires effective tracking and management systems[2,p.350].

In addition, MFIs must adhere to specific regulatory and reporting standards, which can vary depending on their location and the type of microfinance model they follow. Accounting in MFIs must incorporate these legal requirements to ensure transparency and compliance. For instance, in some countries, MFIs are subject to regulations that dictate how they classify and report their loan portfolios, provisioning for bad debts, and managing interest income. This requires specialized accounting knowledge and systems to maintain proper classification and calculation of financial data[3,p.15].

Furthermore, MFIs are often required to report on social impact metrics, such as the number of clients served, the size of loans provided, and the success rates of borrowers. These non-financial metrics play a crucial role in demonstrating the social value created by the institution, which is an important factor for attracting funding from investors, donors, and other stakeholders. As a result, MFIs need to integrate these social performance indicators into their accounting systems, requiring a more comprehensive approach than traditional financial institutions[4,p.27].

Another distinctive feature of accounting in MFIs is the management of funding sources. MFIs typically rely on a combination of donor funds, grants, and commercial loans to finance their operations. This diverse funding mix requires accurate tracking of each source's terms, including interest rates, repayment schedules, and conditions attached to the funding. Accounting systems in MFIs must be equipped to handle these complexities and ensure that the funds are utilized effectively and in accordance with donor or investor agreements[5,p.16].

In conclusion, the accounting practices in microfinance institutions must be tailored to address their unique operational and regulatory needs. This includes managing micro-loan portfolios, ensuring compliance with

local and international regulations, tracking social performance indicators, and efficiently managing diverse funding sources. By adopting specialized accounting systems, MFIs can enhance their operational efficiency, maintain financial sustainability, and demonstrate their social impact, ultimately contributing to the financial inclusion of underserved populations[6,p.11].

1) ***Table 1:Assessment of the Specific Features of Accounting in Microfinance Institutions***

Area	Features	Impact
Accounting Standards	The specific accounting standards used by microfinance institutions	Tailored reports according to the specific needs of the microfinance sector
Financial Reporting	Preparation of general financial reports, accounting templates	Improves accuracy and transparency of accounting data
Client Accounts	Monitoring of client accounts and payments	Simplifies the management of microloans and client base
Risk Assessment	Evaluation of credit risks, liquidity risks, and other financial risks	Helps effectively manage the risks faced by microfinance institutions
Loan Products	Types of loans and determination of interest rates	Enables microfinance institutions to offer services suitable for diverse clients
Tax Requirements	Tax regulations and payments applicable to microfinance institutions	Increases transparency in tax obligations and accounting practices
Financial Analysis and Reports	Analysis of financial indicators and accounting data	Provides accurate assessment of the financial activities of microfinance institutions
Application of Information Technology	Use of software and tools in accounting systems	Automation of accounting processes and improved efficiency

Source: ResearchGate, "Accounting for Microfinance: An Overview," available at ResearchGate.

The table 1 outlines the key features of accounting in microfinance institutions and their impacts on the overall operations and management of these institutions.

The accounting standards section refers to the specific guidelines and frameworks that microfinance institutions follow for financial reporting. These standards are customized to meet the unique needs of the microfinance sector, ensuring accurate and reliable financial data.

Financial reporting focuses on the preparation of general financial statements and accounting templates. This process helps improve the transparency and correctness of the financial data being reported, which is crucial for regulatory compliance and decision-making[7,p.16].

In the client accounts section, it emphasizes the tracking and management of client accounts and payments. This ensures smooth management of microloans and better control over the client base, leading to efficient service delivery[8,p.24].

The risk assessment area evaluates various financial risks, such as credit and liquidity risks. By understanding these risks, microfinance institutions can better manage potential challenges and maintain financial stability[9,p.100].

Loan products are another key feature, which refers to the different types of loans offered by microfinance institutions, as well as the determination of interest rates. This allows microfinance institutions to offer diverse services to cater to various client needs and financial capabilities[10,p.20].

The tax requirements section covers the tax obligations of microfinance institutions, highlighting the impact of regulatory frameworks. Adhering to these regulations ensures that institutions maintain compliance while operating efficiently.

Financial analysis and reports involve the evaluation of financial indicators and the interpretation of accounting data. This process helps microfinance institutions assess their financial performance, identify trends, and make informed decisions[11,p.120].

Finally, the application of information technology refers to the use of specialized accounting software and tools. The implementation of these technologies helps automate accounting processes, improving operational efficiency and reducing human error.

These features collectively support the efficient and transparent functioning of microfinance institutions, allowing them to meet regulatory requirements and better serve their target populations[12,p.450].

II. CONCLUSION

In conclusion, accounting practices in microfinance institutions are essential for ensuring transparency, financial stability, and regulatory compliance. By adhering to specific accounting standards, these institutions can effectively manage client accounts, assess financial risks, and offer a diverse range of loan products tailored to their clients' needs. The application of advanced information technology in accounting systems helps streamline processes and improve efficiency, while also contributing to better financial analysis and reporting.

The importance of proper financial management in microfinance cannot be overstated, as it directly impacts the sustainability and growth of these institutions. As microfinance continues to play a vital role in promoting financial inclusion, robust accounting practices will remain crucial for fostering trust, maintaining operational efficiency, and ensuring the effective delivery of services to underserved populations. Therefore, continued focus on improving accounting systems and practices will support the long-term success of microfinance institutions globally.

REFERENCES

1. Armendariz, B., & Morduch, J. (2005). *The Economics of Microfinance*. Cambridge, MA: MIT Press. (Approx. 300 pages)
2. Collins, D., Morduch, J., Rutherford, S., & Ruthven, O. (2015). *Portfolios of the Poor: How the World's Poor Live on $2 a Day*. Princeton, NJ: Princeton University Press. (Approx. 350 pages)
3. Saka, A. Q., Amuda, O. A., Bamisaye, I. O., Ogunyemi, J. O., & Saka, T. O. (2025). Evaluating the efficiency and impact of microfinance institutions on micro, small, and medium enterprises in Nigeria. *Journal of Finance and Accounting, 13*(4), 199–213. 15 pages
4. Dokulilová, L., Janda, K., & Zetek, P. (2009). Sustainability of microfinance institutions in financial crisis. *European Financial and Accounting Journal, 4*(2), 7–33. 27 pages
5. Niti Bhasin & Gupta, P. (2016). Drivers of sustainability of Indian microfinance institutions. *Think India, 19*(3), 1–16. 16 pages
6. Long, G. (2015). Determinants of financial sustainability of microfinance institutions in Ghana. *Journal of Economics and Behavioral Studies, 7*(4), 71–81. 11 pages
7. Beisland, L. A., Mersland, R., & Randøy, T. (2014). The association between microfinance rating scores and corporate governance: A global survey. *International Review of Financial Analysis, 35*, 268–280. 13 pages
8. AMFA – Azerbaijan Micro-finance Association. (2016). *Social Performance Management in the Azerbaijani Microfinance Sector*. Baku: AMFA. (Approx. 24 pages)
9. Mammadova, F. (2019). *Microfinance Institutions: Structure, Services, and Development Dynamics* (Master's thesis). Azerbaijan State University of Economics (UNEC). (Approx. 100 pages)
10. Zineelabidine, M. (2024). The determinants of the efficiency of microfinance institutions. *Risks, 17*(8), 318. 20 pages
11. CGAP. (2009). *Accounting Principles for Microfinance Institutions* (Training Course). Washington, DC: CGAP. (Approx. 120 pages)
12. Rashad Abdel-khalik, A. (2013). *Accounting for Risk, Hedging and Complex Contracts*. Hoboken, NJ: Wiley. (Approx. 450 pages)

GREEN FINANCE INSTRUMENTS IN POST-SOVIET EMERGING MARKETS: THE CASE OF AZERBAIJAN

Damat Bagirov
Department of Finance and Accounting
Baku Engineering University
BAKU, AZERBAIJAN
dbagirov@beu.edu.az

Polad Yusifli
Doctoral Student, Department of Finance and Accounting,
Baku Engineering University
BAKU, AZERBAIJAN

Abstract: This paper examines the role of green finance instruments in post-Soviet emerging markets, with a particular focus on Azerbaijan. The study discusses the conceptual foundations of green finance, including green bonds, sustainability-linked bonds, green loans, and blended finance mechanisms, and compares institutional developments in Kazakhstan, Georgia, and Ukraine. The analysis shows that Azerbaijan possesses significant renewable energy potential and a growing policy commitment to green growth, particularly after COP29, yet its green finance market remains at an early stage. Key barriers include the absence of a binding national green taxonomy, limited domestic capital market depth, weak ESG investment mandates, and the lack of a sovereign green bond benchmark. The paper argues that Azerbaijan can accelerate green finance development through sequenced institutional reforms, including taxonomy adoption, sovereign green bond issuance, a dedicated green bond listing segment, and stronger ESG mandates for state-controlled financial institutions.
Keywords: green finance; green bonds; Azerbaijan; post-Soviet economies; sustainable finance; ESG; renewable energy

1. INTRODUCTION

The accelerating pace of climate change has fundamentally reshaped the global economic landscape, placing green finance at the center of contemporary policy discussions. Conventional financial systems, designed primarily to maximize short-term returns, have proven structurally inadequate to mobilize the large-scale, long-term investment that the low-carbon transition requires. According to the OECD, the annual financing gap for achieving the Sustainable Development Goals in developing and emerging economies has reached approximately USD 4 trillion, highlighting the urgent need to redirect global capital flows toward environmentally sustainable activities. [1]. Green finance, broadly defined as financial activities that incorporate environmental criteria to generate measurable ecological benefits, has emerged as the primary mechanism for bridging this gap.

Among the various instruments mobilized for this transition, green bonds have emerged as the most widely adopted and institutionally recognized tool. Since the European Investment Bank issued the first labeled green bond in 2007, the market has grown exponentially: by the end of 2023, cumulative global green bond issuance had reached approximately USD 2.8 trillion, with emerging market issuance growing 34% year-over-year to reach USD 135 billion in 2023 alone [2]. This rapid growth reflects both the urgency of the green transition and the capacity of financial markets to mobilize capital when supported by robust standards and enabling regulatory frameworks.

Azerbaijan represents a particularly instructive case within this global context. As a hydrocarbon-dependent economy that hosted the 29th Conference of the Parties (COP29) in Baku in November 2024, the country simultaneously faces long-term fiscal diversification imperatives, international climate commitments, and the reputational demands of global climate leadership. Despite its strategic importance and significant renewable energy potential, Azerbaijan's green finance market remains nascent, making it a compelling subject for analysis. This article examines how green financial instruments can serve as catalysts for Azerbaijan's sustainable economic transformation, drawing on comparative evidence from the post-Soviet region. The remainder of the paper proceeds as follows: Section 2 establishes the conceptual framework for green financial instruments; Section 3 provides a comparative overview of post-Soviet emerging markets; Section 4 analyses the Azerbaijani case in depth; and Section 5 presents conclusions and policy recommendations.

2. GREEN FINANCE INSTRUMENTS: CONCEPTUAL FRAMEWORK

Green finance refers broadly to financial activities — including lending, investment, insurance, and capital market operations — that incorporate environmental criteria into decision-making with the explicit purpose

of generating positive ecological outcomes. It is important to understand that green finance is not a single product or market, but rather an overarching concept that operates across two distinct but complementary dimensions. The first dimension concerns the greening of mainstream financial institutions — that is, the systematic integration of climate and environmental risk into conventional credit assessment, portfolio management, and prudential regulation. Under this dimension, banks, insurers, and asset managers are expected to account for the physical risks of climate change, such as flood damage, water scarcity, or extreme weather disruption to supply chains, as well as the transition risks arising from the shift to a low-carbon economy, such as stranded fossil fuel assets and changing regulatory requirements. The second dimension concerns the dedicated financing of specific green activities through specialized instruments designed to direct capital explicitly and verifiably toward environmentally beneficial projects. Both dimensions are necessary for a functioning green financial system: without the greening of mainstream finance, the scale of capital required for the green transition cannot be mobilized; without dedicated green instruments, there is no reliable mechanism to track, verify, and report where green capital is actually deployed.

Among the various dedicated green financial instruments, green bonds occupy the most prominent and institutionally well-developed position. A green bond is structurally equivalent to a conventional fixed-income security — carrying a defined principal, a specified maturity date, and periodic coupon payments to investors — with one defining and legally significant distinction: the issuer makes a contractual commitment to allocate the net proceeds of the bond exclusively to a portfolio of eligible green projects. This use-of-proceeds requirement is the mechanism that formally separates a green bond from a conventional bond with identical financial characteristics. Eligible project categories typically include renewable energy generation, energy efficiency improvements in buildings and industry, clean and low-carbon transportation infrastructure, sustainable water and wastewater management, climate change adaptation measures such as flood defenses and drought-resistant agriculture, and pollution prevention and control. The green label therefore carries specific informational content for investors: it signals not merely that the issuer has good environmental intentions, but that the capital raised will be deployed in projects meeting defined environmental criteria and subject to ongoing monitoring and reporting obligations. This transparency distinguishes green bonds from general corporate debt and from vague sustainability pledges that carry no binding financial consequences.

The global framework that provides the green bond market with its coherence and investor credibility is the ICMA Green Bond Principles (GBP), first published in 2014 and comprehensively updated in June 2021. The GBP establish four core components that every compliant green bond issuance is expected to address. The first is the use of proceeds: bond documentation must clearly specify the eligible green project categories to which proceeds will be allocated, and these categories must generate clear environmental benefits. The second is the process for project evaluation and selection: the issuer must communicate its environmental sustainability objectives, the criteria by which projects are selected as eligible, and any relevant exclusion criteria. The third is the management of proceeds: net proceeds must be tracked through a formal internal process and held in a dedicated sub-account or sub-portfolio, ensuring that green funds are not commingled with general corporate revenues. The fourth is reporting: issuers are expected to publish annual reports on both the allocation of proceeds across specific green projects and, to the extent feasible, the expected or achieved environmental impact of those projects, including quantitative indicators such as tonnes of CO2 emissions avoided or megawatt-hours of renewable energy generated. Adherence to the GBP is voluntary, but institutional investors managing dedicated ESG mandates routinely require GBP alignment as a minimum condition for green bond investment, making it the de facto global standard [3]. Complementing the GBP, the EU Green Bond Standard, adopted in 2023, takes a step toward legally binding requirements by mandating full alignment with the EU Taxonomy — a classification system that formally specifies which economic activities qualify as environmentally sustainable.

Beyond green bonds, the sustainable finance ecosystem encompasses several complementary instruments that serve different issuer profiles and institutional contexts. Sustainability-Linked Bonds (SLBs) and Sustainability-Linked Loans (SLLs) take a structurally different approach: rather than ring-fencing proceeds for specific projects, these instruments tie the financial terms of the obligation — most commonly the coupon rate — to the issuer's achievement of pre-defined Sustainability Performance Targets (SPTs) within an agreed timeframe. If the issuer fails to meet the targets, a coupon step-up is triggered, typically in the range of 25 to 50 basis points, creating a direct financial penalty aligned with environmental outcomes. This structure is particularly suitable for issuers in sectors where environmental expenditure is diffuse and

difficult to isolate at the project level, such as manufacturing, agriculture, or retail. Green loans apply analogous use-of-proceeds principles to bilateral and syndicated lending arrangements, offering a green finance option for borrowers who prefer not to access public capital markets or who are too small to bear the full transaction costs of a bond issuance. Blended finance vehicles combine concessional public capital, philanthropic funding, or development finance institution guarantees with commercial private investment in order to reduce the risk profile of green projects to levels acceptable for private investors who would not otherwise participate. This de-risking function is especially critical in emerging and transition economies, where regulatory uncertainty, limited market liquidity, and currency risk make purely commercial green finance unavailable or prohibitively expensive for many project sponsors.

The scale of the global green bond market today reflects two decades of deliberate institutional development. From a single pioneering issuance by the European Investment Bank in 2007, the market has grown to encompass sovereign governments, municipalities, development banks, financial institutions, and non-financial corporations across all major economies and regions. Annual green bond issuance by corporates and governments reached a record USD 575 billion in 2023, surpassing the previous peak of USD 573 billion set in 2021 [2]. Europe remained the largest issuing region, while sovereign green bond issuances — which serve as critical market benchmarks for corporate issuers in their respective jurisdictions — reached an all-time high. The geographic and sectoral diversification of the market reflects a broader structural shift: green bonds have transitioned from a niche product associated primarily with multilateral development banks into a mainstream capital market instrument. For policymakers in emerging and transition economies, the critical lesson from this evolution is that market development is not spontaneous — it requires deliberate institutional investment in regulatory frameworks, verification infrastructure, and investor education before a domestic green bond market can function credibly and attract the international capital flows that characterize the most developed green finance markets.

3. POST-SOVIET EMERGING MARKETS: COMPARATIVE OVERVIEW

Post-Soviet transition economies share a distinctive institutional heritage that fundamentally shapes their capacity to develop green finance markets. Decades of centrally planned economic management produced financial systems characterized by shallow capital markets, narrow institutional investor bases, banking sectors dominated by state-owned institutions, and limited regulatory capacity for financial innovation. Unlike emerging markets in Southeast Asia or Latin America — which have benefited from longer histories of capital market development and deeper integration with international investor networks — post-Soviet economies entered the green finance era with underdeveloped market infrastructure and limited familiarity with the transparency and reporting standards that green bond investors require. At the same time, these economies face acute climate vulnerabilities: Central Asian states are experiencing accelerating glacial retreat and water stress, while South Caucasus economies face growing risks from extreme heat and precipitation variability. The combination of institutional underdevelopment and climate urgency creates a distinctive challenge for policymakers seeking to harness green finance as a tool for sustainable development.

Among post-Soviet states, Kazakhstan has made the most significant and institutionally grounded progress in green finance market development. The Astana International Financial Centre (AIFC), established in 2018 with a legal and regulatory framework based on English common law, provided the foundational infrastructure for Kazakhstan's green bond market. The AIFC Green Finance Centre — the first institution in Central Asia accredited by both ICMA and the Climate Bonds Initiative — has played a central role in supporting issuers, providing external reviews, and developing the country's national green taxonomy. By the end of October 2023, the cumulative volume of green bonds and green loans issued on the Kazakh market had reached KZT 150.2 billion, with green bonds accounting for KZT 112.9 billion of that total [4]. Kazakhstan's experience illustrates a key lesson for the wider post-Soviet region: institutional infrastructure — in the form of a credible listing venue, a functioning taxonomy, and an independent external review capacity — is a prerequisite for sustained green bond market development, not merely a complementary feature.

Georgia presents a contrasting development model driven primarily by multilateral development bank engagement rather than domestic market construction. The European Bank for Reconstruction and Development (EBRD) has played a transformative role in Georgia's green capital market: through its EU-funded Capital Market Support Programme, the EBRD invested in the first green bond ever placed on the Georgian capital market, and in 2023 participated in the first sustainability-linked bond (SLB) issued anywhere in the Caucasus region [5]. The programme also supported over eleven Georgian firms in

accessing the local capital market, more than doubling the total size of the corporate bond market. Ukraine had demonstrated meaningful early progress — Ukreximbank issued Eastern Europe's first corporate green bond in 2017 — but this trajectory was severely disrupted by the full-scale Russian military invasion in February 2022. The comparative experience of Kazakhstan, Georgia, and Ukraine reveals a set of structural barriers common to the post-Soviet region as a whole: the absence of legally binding green taxonomies, shallow domestic capital markets with limited secondary market liquidity, underdeveloped institutional investor capacity for ESG assessment, high transaction costs of external verification relative to issuance volumes, and the concentration of bankable green projects in a small number of sectors and issuers. Overcoming these barriers requires the kind of sequenced, multilateral development bank-supported institutional investment that both Kazakhstan and Georgia have demonstrated is achievable — and that Azerbaijan must now pursue in its own context.

4. THE CASE OF AZERBAIJAN

Azerbaijan's macroeconomic profile makes the development of green finance both an urgent imperative and a structural challenge. The country's economy remains heavily dependent on oil and gas revenues, which have historically funded state expenditure, infrastructure investment, and social programs. Despite this dependence, Azerbaijan recognizes that long-term economic sustainability requires a fundamental transformation of its energy base and investment model. The government's 'Azerbaijan 2030: National Priorities for Socio-Economic Development' strategy formally identifies clean environment and green growth as one of five national development pillars, signaling a policy commitment to economic transformation that extends beyond environmental rhetoric. The challenge, however, is financing this transformation: the capital requirements of the green transition far exceed the capacity of the state budget alone, making international green capital markets not merely attractive, but structurally necessary.

Azerbaijan's renewable energy ambitions are significant and officially documented at the highest levels. According to the International Energy Agency, the Government of Azerbaijan aims for renewable energy to provide 30% of total electricity generating capacity by 2030 — almost twice the share recorded in recent years — while the country has committed to reducing its greenhouse gas emissions by 35% from 1990 levels by 2030 under its Nationally Determined Contribution to the Paris Agreement [6]. The IEA further notes that Azerbaijan has excellent solar and wind resources, with the technical potential of solar energy alone estimated at 23,000 MW, and that the 2021 Law on the Use of Renewable Energy Sources in Electricity Production introduced competitive auction mechanisms to attract private sector investment into the sector. These targets and legal reforms create a growing pipeline of bankable renewable energy projects — including the 230 MW Garadagh Solar Power Plant commissioned in October 2023 and wind facilities under development in the Karabakh region — that represent natural candidates for green bond or green loan financing. The hosting of COP29 in Baku in November 2024 further amplified Azerbaijan's international climate commitments and created additional reputational incentives to accelerate green finance market development.

Despite this favorable project pipeline, the gap between Azerbaijan's green investment needs and the available financing instruments is substantial. The World Bank estimates that developing countries require trillions of dollars in annual green investment to meet their Paris Agreement commitments, and that domestic public finance alone is structurally insufficient to close this gap — making the development of domestic green bond markets a strategic priority for emerging economies [7]. Azerbaijan exemplifies this challenge: while SOFAZ — the State Oil Fund with assets exceeding USD 50 billion — represents a formidable pool of national savings, its investment mandate is oriented toward international portfolio diversification rather than domestic green project financing. Commercial banks dominate the domestic financial system but operate without ESG investment mandates, and the domestic capital market remains too shallow to attract international institutional investors without the credibility signals that green bond standards provide. The financing gap is therefore not primarily a resource problem — Azerbaijan has significant national wealth — but an institutional and regulatory problem that requires targeted reform.

The structural barriers to green bond market development in Azerbaijan are multiple and mutually reinforcing. The most fundamental is the absence of a nationally binding green taxonomy — a regulatory classification system that formally specifies which economic activities qualify as eligible for green financial instrument proceeds. Without such a taxonomy, domestic issuers cannot be confident that their green bond frameworks will meet the expectations of international ESG investors, and international investors lack the standardized reference framework they require to evaluate and verify use-of-proceeds claims against an objective standard. This regulatory gap deters issuance and investment simultaneously, creating a

coordination failure that market forces alone cannot resolve. Compounding this barrier is the absence of a sovereign green bond: in virtually every market that has developed a functioning green bond sector — from Poland and France to Chile and Indonesia — an inaugural sovereign issuance has served as the critical first step by establishing pricing benchmarks, demonstrating government commitment, and building institutional familiarity with green bond processes among domestic issuers, investors, and regulators. Azerbaijan has not yet taken this step, leaving its corporate sector without the reference point it needs.

Despite these barriers, Azerbaijan's conditions for green finance market development are more favorable today than at any previous point. The ICMA Green Bond Principles provide a clear and globally accepted voluntary framework that Azerbaijan's issuers can adopt immediately, without waiting for a domestic taxonomy, to signal credibility to international investors [3]. The active engagement of the European Bank for Reconstruction and Development and the Asian Development Bank in Azerbaijan's renewable energy sector provides both the technical assistance capacity and the co-financing structures that have proven catalytic in comparable post-Soviet markets. The country's COP29 hosting role has generated sustained international attention from ESG investors and development finance institutions that creates a window of opportunity — narrow but real — for accelerated institutional development. The question is whether Azerbaijan's regulatory authorities will move quickly enough to build the taxonomy, listing framework, and investor education infrastructure needed to capture that attention before it dissipates.

5. CONCLUSION AND POLICY RECOMMENDATIONS

This article has examined the architecture of green financial instruments, surveyed comparative experience across post-Soviet emerging markets, and assessed the current state and future trajectory of green finance in Azerbaijan. The central finding is that green bonds and complementary sustainable finance instruments represent powerful but institutionally demanding mechanisms for mobilizing climate capital. The ICMA Green Bond Principles provide a globally accepted foundation for credible issuance [3], but the existence of an international standard is a necessary rather than a sufficient condition for market development: regulatory infrastructure, institutional investor capacity, and sovereign market anchoring must all be present before a domestic green bond market can function effectively. The comparative evidence from Kazakhstan and Georgia confirms that post-Soviet economies can overcome these barriers — but only through deliberate, sequenced, and multilateral development bank-supported institutional investment.

For Azerbaijan, four concrete policy recommendations follow from this analysis. First, the Central Bank of Azerbaijan should finalize and legally adopt a national green taxonomy aligned with the EU Taxonomy, providing the regulatory certainty that underpins credible green bond issuance and investor confidence. Second, the government should issue an inaugural sovereign green bond — supported by EBRD and ADB technical assistance — to establish a market pricing benchmark and catalyze corporate issuance. Third, the Baku Stock Exchange should operationalize a dedicated green bond listing segment with transparent eligibility criteria and streamlined disclosure requirements. Fourth, ESG investment mandates should be progressively introduced for state-controlled financial institutions, beginning with SOFAZ, to build sustainable domestic demand for green instruments. Closing Azerbaijan's green finance gap requires not just investment, but investment in the right institutional sequence — and the country's post-COP29 moment offers the most favorable conditions yet to begin that sequence in earnest. As the World Bank has consistently emphasized, the development of domestic green bond markets in emerging economies is one of the highest-leverage interventions available for closing the climate finance gap [7]. Azerbaijan has the resources, the project pipeline, and now the reputational imperative to act on this opportunity.

References

[1] OECD. (2022). Global Outlook on Financing for Sustainable Development 2023: No Sustainability Without Equity. OECD Publishing, Paris.

[2] IFC & Amundi. (2024). Emerging Market Green Bonds Report 2023. International Finance Corporation.

[3] International Capital Market Association (ICMA). (2021). Green Bond Principles: Voluntary Process Guidelines for Issuing Green Bonds (June 2021 edition). Paris: ICMA.

[4] AIFC Green Finance Centre. (2024). Green Finance Market in Kazakhstan. Astana: Astana International Financial Centre.

[5] European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). (2023). Supporting Green Capital Markets in Georgia. London: EBRD.

[6] International Energy Agency (IEA). (2023). Azerbaijan Energy Profile. IEA, Paris.

[7] World Bank. (2023). Green Bond Impact Report: Fiscal Year 2023. Washington D.C.: World Bank Group.

MÜHASİBAT UÇOTUNUN TƏDRİSİNDƏ MÜASİR PROBLEMLƏR VƏ ONUN MÜHASİBAT UÇOTU PEŞƏSİNƏ TƏSİRİ

Yusif Yusifli

Xülasə: *Tədris metodologiyasının dəyişməsi müasir təhsil sistemində baş verən ən mühüm transformasiyalardan biridir və bu proses əsasən ənənəvi tədris üsullarından rəqəmsal tədris modellərinə keçidlə xarakterizə olunur. Ənənəvi tədris metodologiyası uzun illər ərzində müəllim mərkəzli yanaşmaya əsaslanmış, biliklərin əsas mənbəyi kimi müəllim çıxış etmiş, dərslər isə əsasən mühazirə, izah və yadda saxlama üzərində qurulmuşdur. Bu yanaşma müəyyən dövrlər üçün effektiv olsa da, informasiya cəmiyyətinin formalaşması, texnologiyaların sürətli inkişafı və öyrənənlərin ehtiyaclarının dəyişməsi fonunda öz məhdudiyyətlərini göstərməyə başlamışdır.*

Rəqəmsal tədrisə keçid təhsildə yeni bir mərhələnin əsasını qoymuşdur. Bu keçid yalnız texniki vasitələrin istifadəsi ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda təlimin fəlsəfəsinin, məqsədlərinin və metodlarının köklü şəkildə yenilənməsini nəzərdə tutur. Rəqəmsal tədris mühitində öyrənən mərkəzli yanaşma ön plana çıxır, tələbələr passiv bilik qəbul edən deyil, aktiv iştirakçı, tədqiqatçı və yaradıcı subyekt kimi çıxış edirlər. Onlayn platformalar, elektron resurslar, interaktiv proqramlar və multimedia alətləri tədris prosesini daha çevik, əlçatan və fərdiləşdirilmiş edir.

Bu transformasiya tədrisin zaman və məkan sərhədlərini əhəmiyyətli dərəcədə aradan qaldırmışdır. Rəqəmsal tədris vasitəsilə təhsilalanlar istənilən vaxt və istənilən məkandan bilik əldə etmək imkanı qazanır, bu isə ömürboyu təhsil konsepsiyasının reallaşmasına mühüm töhfə verir. Eyni zamanda, rəqəmsal texnologiyalar müəllimlər üçün də yeni imkanlar yaradır: təlim nəticələrinin izlənməsi, fərdi öyrənmə trayektoriyalarının qurulması, sürətli geribildirim və tədris materiallarının davamlı yenilənməsi daha asan həyata keçirilir.

Tədris metodologiyasının dəyişməsi sosial və pedaqoji baxımdan da mühüm nəticələr doğurur. Rəqəmsal tədris tənqidi düşünmə, problem həll etmə, əməkdaşlıq və informasiya savadlılığı kimi bacarıqların inkişafını stimullaşdırır. Bu bacarıqlar isə müasir əmək bazarının əsas tələbləri sırasında yer alır. Bununla yanaşı, rəqəmsal bərabərsizlik, texniki infrastrukturun qeyri-bərabərliyi və müəllimlərin rəqəmsal bacarıqlarının kifayət qədər olmaması kimi problemlər də mövcuddur və bu məsələlər metodoloji dəyişimin effektivliyinə birbaşa təsir göstərir.

Açar sözlər: *Tədris, təlim, rəqəmsal, təhsil, innovativ, onlayn, elektron, öyrənən, interaktiv.*

GİRİŞ

Müasir dövrdə qlobal miqyasda baş verən sürətli elmi-texnoloji inkişaf, informasiya cəmiyyətinin formalaşması və rəqəmsal texnologiyaların həyatın bütün sahələrinə nüfuz etməsi təhsil sistemində də köklü dəyişiklikləri zəruri etmişdir. Təhsil artıq yalnız biliklərin ötürülməsi prosesi deyil, eyni zamanda fərdin intellektual, sosial və peşəkar bacarıqlarının formalaşdırıldığı dinamik bir mühit kimi çıxış edir. Bu baxımdan tədris metodologiyasının dəyişməsi və ənənəvi təlim üsullarından rəqəmsal tədris modellərinə keçid müasir təhsilin əsas çağırışlarından biri hesab olunur.

Ənənəvi tədris metodologiyası uzun müddət müəllim mərkəzli yanaşmaya əsaslanmış, təlim prosesi əsasən sinif otağında, müəyyən zaman və məkan çərçivəsində həyata keçirilmişdir. Bu modeldə biliklərin əsas mənbəyi müəllim olmuş, tələbələrin rolu isə daha çox passiv dinləyici və yadda saxlayan subyekt kimi formalaşmışdır. Ənənəvi üsullar müəyyən dövrlərdə effektiv nəticələr versə də, müasir cəmiyyətin sürətlə dəyişən tələbləri, informasiya həcminin artması və fərqli öyrənmə ehtiyacları bu metodların məhdudiyyətlərini üzə çıxarmışdır. Xüsusilə qlobal rəqabət şəraitində əmək bazarının tələb etdiyi tənqidi düşünmə, problem həll etmə, yaradıcılıq və rəqəmsal bacarıqların formalaşdırılması ənənəvi tədris metodları ilə kifayət qədər təmin edilə bilmir.

Rəqəmsal tədrisə keçid bu məhdudiyyətlərin aradan qaldırılmasına yönəlmiş alternativ və daha çevik bir yanaşma kimi meydana çıxmışdır. Rəqəmsal texnologiyaların tədris prosesinə inteqrasiyası təhsilin məzmununu, formasını və təşkilini əsaslı şəkildə dəyişdirir. Elektron tədris platformaları, onlayn kurslar, virtual siniflər, interaktiv proqramlar və multimedia resursları təlim prosesini daha əlçatan, çevik və fərdiləşdirilmiş edir. Bu şəraitdə təhsilalanlar bilikləri yalnız qəbul edən deyil, eyni zamanda axtaran, təhlil edən və tətbiq edən aktiv iştirakçılara çevrilirlər.

Rəqəmsal tədris mühitində öyrənən mərkəzli yanaşma əsas prinsip kimi çıxış edir. Bu yanaşma tələbələrin fərdi xüsusiyyətlərini, maraqlarını və öyrənmə tempini nəzərə almağa imkan yaradır. Eyni zamanda,

rəqəmsal alətlər vasitəsilə geribildirim mexanizmləri sürətlənir, təlim nəticələrinin monitorinqi və qiymətləndirilməsi daha obyektiv və şəffaf şəkildə həyata keçirilir. Müəllimlərin rolu da dəyişərək bilik ötürücüsündən daha çox fasilitator, məsləhətçi və istiqamətləndirici funksiyasına yönəlir.
Tədris metodologiyasının rəqəmsallaşması təhsilin sosial aspektlərinə də mühüm təsir göstərir. Rəqəmsal tədris modelləri təhsildə bərabər imkanların genişlənməsinə, regionlar arasında təhsil fərqlərinin azaldılmasına və ömürboyu təhsil konsepsiyasının reallaşmasına şərait yaradır. Xüsusilə pandemiya dövründə rəqəmsal tədrisin əhəmiyyəti daha aydın şəkildə özünü göstərmiş, təhsil sistemlərinin davamlılığının təmin olunmasında bu modellərin mühüm rolu olduğu sübut edilmişdir.
Bununla yanaşı, rəqəmsal tədrisə keçid bir sıra problemlər və çağırışlarla da müşayiət olunur. Texniki infrastrukturun qeyri-bərabər inkişafı, rəqəmsal savadlılıq səviyyəsinin fərqliliyi, müəllimlərin yeni texnologiyalara adaptasiyası və pedaqoji yanaşmaların yenilənməsi kimi məsələlər bu prosesin effektivliyinə birbaşa təsir göstərir. Bu baxımdan rəqəmsal tədris yalnız texnologiyanın tətbiqi deyil, eyni zamanda metodoloji, institusional və pedaqoji transformasiya kimi qiymətləndirilməlidir.
Nəticə etibarilə, tədris metodologiyasının dəyişməsi və rəqəmsal tədrisə keçid müasir təhsilin strateji inkişaf istiqamətlərindən biridir. Bu proses təhsilin keyfiyyətinin artırılmasına, innovativ öyrənmə mühitinin formalaşmasına və cəmiyyətin intellektual potensialının gücləndirilməsinə xidmət edir. Mövzunun aktuallığı, həm elmi-nəzəri, həm də praktik baxımdan əhəmiyyətli olması onun geniş şəkildə tədqiq edilməsini və təhlil olunmasını zəruri edir.

TƏHLİL

Tədris metodologiyasının dəyişməsi müasir təhsil sistemində struktur, məzmun və yanaşma baxımından dərin transformasiya prosesi kimi xarakterizə olunur. Ənənəvi tədris üsullarından rəqəmsal tədris modellərinə keçid yalnız texniki yenilənmə deyil, eyni zamanda pedaqoji fəlsəfənin dəyişməsi, öyrənmə prosesinin yenidən qurulması və təhsilin məqsədlərinin müasir tələblərə uyğunlaşdırılması ilə müşayiət olunur. Bu dəyişikliklər qloballaşma, informasiya cəmiyyətinin inkişafı və bilik iqtisadiyyatının formalaşması ilə sıx bağlıdır[1,s.12].
Ənənəvi tədris metodologiyası əsasən müəllim mərkəzli model üzərində qurulmuşdur. Bu modeldə biliklərin ötürülməsi bir istiqamətli xarakter daşıyır, dərs prosesi mühazirə və izaha əsaslanır, tələbələrin rolu isə passiv qəbul edən kimi formalaşır. Belə bir yanaşma biliklərin strukturlaşdırılmış şəkildə ötürülməsini təmin etsə də, tənqidi düşünmə, analitik yanaşma və yaradıcılıq kimi bacarıqların inkişafında məhdud imkanlar yaradır. Müasir dövrdə informasiya axınının sürətlənməsi və biliklərin tez köhnəlməsi bu metodun effektivliyini daha da zəiflədir.
Rəqəmsal tədris modelləri isə təlim prosesini daha çevik və dinamik edir. Elektron resursların, onlayn platformaların və interaktiv proqramların tətbiqi biliklərin əldə olunma formasını dəyişir. Bu modellərdə öyrənən mərkəzli yanaşma əsas prinsip kimi çıxış edir və tələbələr biliklərin passiv istehlakçısı deyil, aktiv istehsalçısı və tətbiqçisi rolunu oynayırlar. Rəqəmsal mühit fərdi öyrənmə tempini, maraqları və ehtiyacları nəzərə almağa imkan verdiyi üçün tədrisin effektivliyini artırır[2,s.47].
Təhlil göstərir ki, rəqəmsal tədris metodları təlimin keyfiyyətinə bir neçə istiqamətdə müsbət təsir göstərir. İlk növbədə, interaktivlik səviyyəsi yüksəlir. Multimedia materialları, simulyasiyalar və virtual laboratoriyalar mürəkkəb mövzuların daha aydın qavranılmasını təmin edir. İkinci olaraq, geribildirim mexanizmləri sürətlənir və avtomatlaşdırılmış qiymətləndirmə vasitələri vasitəsilə tələbələrin nailiyyətləri daha operativ şəkildə ölçülür. Bu isə tədris prosesinin davamlı təkmilləşdirilməsinə şərait yaradır[3,s.275].
Digər mühüm aspekt rəqəmsal tədrisin sosial təsirləridir. Rəqəmsal texnologiyalar təhsildə inklüzivliyi artırır, regionlar və sosial qruplar arasında təhsil imkanlarının bərabərləşməsinə töhfə verir. Uzaqdan və hibrid təhsil modelləri coğrafi məhdudiyyətləri aradan qaldıraraq daha geniş auditoriyaya çıxış imkanı yaradır. Bu, xüsusilə inkişaf etməkdə olan ölkələr və regionlar üçün strateji əhəmiyyət daşıyır.
Lakin aparılan təhlil göstərir ki, rəqəmsal tədrisə keçid problemlərsiz həyata keçirilmir. Texniki infrastrukturun qeyri-bərabərliyi, internetə çıxış imkanlarının məhdudluğu və avadanlıq çatışmazlığı tədris prosesində bərabərsizliyi dərinləşdirə bilər. Bundan əlavə, müəllimlərin rəqəmsal bacarıqlarının kifayət qədər olmaması və yeni pedaqoji yanaşmalara adaptasiya prosesinin ləng getməsi rəqəmsal tədrisin potensial imkanlarının tam reallaşmasına mane olur[4,s.11].
Metodoloji baxımdan əsas problemlərdən biri rəqəmsal tədrisin yalnız texnoloji yenilik kimi qəbul edilməsidir. Effektiv rəqəmsal tədris üçün pedaqoji strategiyaların yenilənməsi, təlim məqsədlərinin dəqiq müəyyənləşdirilməsi və rəqəmsal alətlərin məqsədyönlü istifadəsi vacibdir. Əks halda, texnologiya tədrisin keyfiyyətini artırmaq əvəzinə sadəcə formal xarakter daşıya bilər.

Ümumilikdə təhlil nəticəsində demək olar ki, tədris metodologiyasının rəqəmsallaşması müasir təhsilin inkişafı üçün qaçılmaz və strateji əhəmiyyətə malikdir. Bu proses təhsilin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə, insan kapitalının inkişafına və bilik əsaslı cəmiyyətin formalaşmasına xidmət edir. Lakin rəqəmsal tədrisin effektivliyi onun sistemli şəkildə tətbiqindən, müəllim və təhsilalanların hazırlıq səviyyəsindən, eləcə də texnoloji və institusional dəstəyin gücündən birbaşa asılıdır.

Cədvəl 1. Ənənəvi və rəqəmsal tədris metodologiyalarının müqayisəli təhlili

Meyar	Ənənəvi tədris metodologiyası	Rəqəmsal tədris metodologiyası
Təlim yanaşması	Müəllim mərkəzli	Öyrənən mərkəzli
Tədris mühiti	Sinif otağı, fiziki məkan	Virtual, onlayn və hibrid mühit
Təlim vasitələri	Dərslik, lövhə, şifahi izah	Elektron platformalar, multimedia, LMS
Tələbə rolu	Passiv dinləyici	Aktiv iştirakçı
Öyrənmə tempi	Standart, hamı üçün eyni	Fərdiləşdirilmiş
Geribildirim	Gec və məhdud	Sürətli və davamlı
Qiymətləndirmə	Yazılı və şifahi imtahanlar	Onlayn testlər, analitik ölçmələr
İnteraktivlik	Aşağı	Yüksək

Mənbə: Means, B., Toyama, Y., Murphy, R., & Baki, M. (2013). *The effectiveness of online and blended learning: A meta-analysis of the empirical literature*. Teachers College Record, 115(3), 1–47. https://doi.org/10.1177/016146811311500307

Cədvəl 1 də tədris metodologiyasının transformasiyasını əsas meyarlar üzrə sistemli şəkildə müqayisə edir. Göründüyü kimi, ənənəvi tədris modeli əsasən müəllim mərkəzli yanaşmaya əsaslanır və biliklərin ötürülməsi passiv xarakter daşıyır. Rəqəmsal tədris metodologiyası isə öyrənən mərkəzli yanaşmanı ön plana çıxararaq tələbələrin aktiv iştirakını, interaktivliyi və fərdiləşdirilmiş öyrənməni təmin edir. Xüsusilə geribildirim və qiymətləndirmə mexanizmlərinin sürətlənməsi rəqəmsal tədrisin effektivliyini artıran əsas amillərdən biridir[5,s.79].

Cədvəl 2. Rəqəmsal tədrisin təlim keyfiyyətinə təsir istiqamətləri

Təsir istiqaməti	Təsirin məzmunu
Təlimin əlçatanlığı	Zaman və məkan məhdudiyyətlərinin aradan qaldırılması
Təlim keyfiyyəti	Vizual və interaktiv alətlərlə daha effektiv öyrənmə
Motivasiya	Rəqəmsal alətlər vasitəsilə marağın artırılması
Fərdiləşmə	Fərdi öyrənmə trayektoriyalarının qurulması
Monitorinq	Təlim nəticələrinin real vaxtda izlənməsi
Əmək bazarına uyğunluq	Rəqəmsal və analitik bacarıqların inkişafı

Mənbə: OECD. (2020). *Education in the digital age: Challenges and opportunities*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/509b2f65-en

Cədvəl 2 rəqəmsal tədrisin təlim prosesinə çoxölçülü təsirini əks etdirir. Təhlil göstərir ki, rəqəmsal texnologiyalar təhsilin əlçatanlığını artırmaqla yanaşı, motivasiyanın yüksəlməsinə və təlimin keyfiyyətinin yaxşılaşmasına səbəb olur. Fərdiləşdirilmiş öyrənmə modelləri tələbələrin fərdi ehtiyaclarına uyğun bilik əldə etməsinə imkan yaradır. Eyni zamanda, real vaxt rejimində monitorinq və analitik qiymətləndirmə mexanizmləri tədrisin davamlı təkmilləşdirilməsinə şərait yaradır [6, s.230].

Cədvəl 3. Rəqəmsal tədrisə keçidin əsas üstünlükləri və problemləri

Üstünlüklər	Problemlər
İnteraktiv və çevik tədris	Texniki infrastruktur çatışmazlığı
Təhsildə inklüzivliyin artması	Rəqəmsal bərabərsizlik
Ömürboyu təhsil imkanları	Müəllimlərin rəqəmsal bacarıqlarının zəifliyi
Təlim resurslarına sürətli çıxış	Pedaqoji adaptasiya çətinlikləri
Avtomatlaşdırılmış qiymətləndirmə	Kiber təhlükəsizlik riskləri

Mənbə: UNESCO. (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*. UNESCO Publishing. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379707

Cədvəl 3 də rəqəmsal tədrisin müsbət cəhətləri ilə yanaşı, mövcud problemlər balanslı şəkildə təqdim olunur. Üstünlüklər sırasında təhsildə inklüzivliyin artması, ömürboyu təhsil imkanlarının genişlənməsi və resurslara sürətli çıxış ön plana çıxır. Bununla yanaşı, rəqəmsal bərabərsizlik, texniki infrastrukturun qeyri-bərabərliyi və müəllimlərin rəqəmsal bacarıqlarının yetərsizliyi kimi problemlər bu keçidin effektivliyini məhdudlaşdıra bilər. Bu, rəqəmsal tədrisin yalnız texniki deyil, həm də sosial və institusional məsələ olduğunu göstərir[7,s.50].

Cədvəl 4. Tədris metodologiyasının transformasiyasında əsas dəyişikliklər

Ənənəvi model	Keçid prosesi	Rəqəmsal model
Mühazirə əsaslı təlim	Texnologiyanın inteqrasiyası	İnteraktiv və layihə əsaslı təlim
Statik dərs planı	Rəqəmsal məzmunun hazırlanması	Dinamik və çevik dərs strukturu
Müəllim nəzarəti	Fasilitator yanaşması	Özünüidarə olunan öyrənmə
Məhdud resurslar	Açıq təhsil resursları	Qlobal bilik mühiti

Mənbə: European Commission. (2022). *Digital education action plan (2021–2027): Resetting education and training for the digital age*.https://education.ec.europa.eu/focus-topics/digital-education/action-plan

Cədvəl 4 də tədris metodologiyasının mərhələli şəkildə necə dəyişdiyini nümayiş etdirir. Ənənəvi modeldə statik dərs planları və məhdud resurslardan istifadə üstünlük təşkil etdiyi halda, keçid mərhələsində texnologiyanın inteqrasiyası əsas rol oynayır. Rəqəmsal modeldə isə çevik dərs strukturu, açıq təhsil resursları və layihə əsaslı öyrənmə ön plana çıxır. Bu dəyişiklik müəllimin rolunun da transformasiyasına səbəb olaraq onu bilik ötürücüsündən öyrənmə prosesinin fasilitatoruna çevirir [8, s.136].

NƏTİCƏ

Aparılmış təhlil göstərir ki, tədris metodologiyasının dəyişməsi və ənənəvi üsullardan rəqəmsal tədris modellərinə keçid müasir təhsil sisteminin inkişafında qaçılmaz və strateji xarakter daşıyan bir prosesdir. İnformasiya cəmiyyətinin formalaşması, rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı və bilik iqtisadiyyatının tələbləri təhsilin məzmununa, təşkilinə və təlim yanaşmalarına yenidən baxılmasını zəruri etmişdir. Bu baxımdan rəqəmsal tədris ənənəvi metodların məhdudiyyətlərini aradan qaldırmaqla təlimin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə real imkanlar yaradır.

Tədqiqat nəticələri sübut edir ki, rəqəmsal tədris metodologiyası öyrənən mərkəzli yanaşmanı gücləndirir, tələbələrin fəallığını, motivasiyasını və müstəqil öyrənmə bacarıqlarını artırır. İnteraktiv təlim alətləri, onlayn platformalar və multimedia resursları biliklərin daha dərindən mənimsənilməsinə, tənqidi və analitik düşüncənin formalaşmasına şərait yaradır. Eyni zamanda, rəqəmsal tədris fərdiləşdirilmiş öyrənmə imkanları təqdim etməklə tələbələrin fərdi ehtiyac və bacarıqlarının nəzərə alınmasına imkan verir.

Araşdırma göstərir ki, rəqəmsal tədrisin tətbiqi təhsilin əlçatanlığını artırmaqla regionlar və sosial qruplar arasında mövcud olan təhsil fərqlərinin azaldılmasına müsbət təsir göstərir. Uzaqdan və hibrid təhsil modelləri zaman və məkan məhdudiyyətlərini aradan qaldıraraq ömürboyu təhsil konsepsiyasının reallaşmasını sürətləndirir. Bu isə insan kapitalının inkişafı və əmək bazarının tələblərinə uyğun kadr hazırlığı baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Bununla yanaşı, nəticələr göstərir ki, rəqəmsal tədrisə keçid bir sıra problemlərlə müşayiət olunur. Texniki infrastrukturun qeyri-bərabər inkişafı, rəqəmsal savadlılıq səviyyəsində fərqlər və müəllimlərin yeni pedaqoji yanaşmalara adaptasiya çətinlikləri bu prosesin effektivliyini məhdudlaşdıra bilər. Bu səbəbdən rəqəmsal tədris yalnız texnologiyanın tətbiqi kimi deyil, eyni zamanda metodoloji, institusional və pedaqoji transformasiya kimi qiymətləndirilməlidir.

Ümumilikdə, aparılan təhlil əsasında belə qənaətə gəlmək olar ki, ənənəvi tədris metodlarından rəqəmsal tədrisə keçid təhsilin keyfiyyətinin artırılması, innovativ öyrənmə mühitinin formalaşdırılması və cəmiyyətin intellektual potensialının gücləndirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyətə malikdir. Bu prosesin uğurla həyata keçirilməsi üçün texnoloji infrastrukturun gücləndirilməsi, müəllimlərin rəqəmsal-pedaqoji hazırlığının artırılması və təhsil siyasətinin müasir çağırışlara uyğun şəkildə formalaşdırılması zəruridir.

2) ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T., & Bond, A. (2020). The difference between emergency remote teaching and online learning. *Educause Review*, 27, 1–12. https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning

2. Means, B., Toyama, Y., Murphy, R., & Baki, M. (2013). The effectiveness of online and blended learning: A meta-analysis of the empirical literature. *Teachers College Record*, 115(3), 1–47. https://doi.org/10.1177/016146811311500307

3. Sung, Y. T., Chang, K. E., & Liu, T. C. (2016). The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: A meta-analysis. *Computers & Education*, 94, 252–275. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.11.008

4. Trust, T., Carpenter, J. P., & Krutka, D. G. (2017). Moving beyond silos: Professional learning networks in higher education. *Internet and Higher Education*, 35, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2017.06.001
5. Zhang, D., Zhao, J. L., Zhou, L., & Nunamaker, J. F. (2004). Can e-learning replace classroom learning? *Communications of the ACM*, 47(5), 75–79. https://doi.org/10.1145/986213.986216
6. Zhu, M., Bonk, C. J., & Sari, A. R. (2020). Instructor experiences designing MOOCs in higher education. *Online Learning Journal*, 24(4), 203–230. https://doi.org/10.24059/olj.v24i4.2069
7. Aliyev, A., Ahmadova, D., & Babayeva, N. (2021). *Implementation of blended learning as a recovery method in educational centers in Azerbaijan during the COVID-19 outbreak*. Azerbaijan Journal of Educational Studies, 695(2), 43–50.
8. Hajiyeva, N. A., Huseynov, R. T., Huseynova, M. R., Mammadova, A. V., & Mammadov, S. J. (2023). *Digitalization of education in Azerbaijan: Characteristics and implementation issues*. AGORA International Journal of Economical Sciences, 17(2), 130–136.
9. Musayeva, G. (2025). *Trends in education of the Fourth Industrial Revolution in Azerbaijan: Digitalization and innovative technologies*. Journal of Education and Management Analysis, 3(1).
10. Asgarov, T. (2025). *Digital tools in education: Integration of digital technologies into the education system*. AEM Journal.
11. Abdullayeva, G. (2024). *Technology-enhanced teaching methodologies in higher education in Azerbaijan*. AEM Journal.
12. Mazanova, O. (n.d.). *The development stage of digital education in Azerbaijan*. UNEC Research Publication.

ИЗМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ: ПЕРЕХОД ОТ ТРАДИЦИОННОГО К ЦИФРОВОМУ ОБУЧЕНИЮ

РЕЗЮМЕ

Изменение методики обучения является одной из важнейших трансформаций в современной системе образования, и этот процесс в основном характеризуется переходом от традиционных методов обучения к цифровым моделям обучения. Традиционная методика обучения на протяжении многих лет основывалась на педагогическом подходе, где учитель являлся основным источником знаний, а уроки в основном строились на лекциях, объяснениях и заучивании. Хотя этот подход был эффективен в определенные периоды, он начал демонстрировать свои ограничения на фоне формирования информационного общества, быстрого развития технологий и меняющихся потребностей учащихся.

Переход к цифровому обучению заложил основу для нового этапа в образовании. Этот переход не ограничивается только использованием технических средств, но также включает в себя радикальное обновление философии, целей и методов обучения. В цифровой среде обучения на первый план выходит педагогический подход, где студенты выступают в качестве активных участников, исследователей и творческих субъектов, а не пассивных получателей знаний. Онлайн-платформы, электронные ресурсы, интерактивные программы и мультимедийные инструменты делают процесс обучения более гибким, доступным и персонализированным.

Эта трансформация значительно сгладила временные и пространственные границы образования. Благодаря цифровому обучению учащиеся получают возможность приобретать знания в любое время и в любом месте, что вносит существенный вклад в реализацию концепции обучения на протяжении всей жизни. В то же время цифровые технологии создают новые возможности для преподавателей: отслеживание результатов обучения, построение индивидуальных траекторий обучения, предоставление быстрой обратной связи и постоянное обновление учебных материалов становятся проще в реализации.

Изменение методики преподавания также имеет важные последствия с социально-педагогической точки зрения. Цифровое обучение стимулирует развитие таких навыков, как критическое мышление, решение проблем, сотрудничество и информационная грамотность. Эти навыки являются одними из главных требований современного рынка труда. Однако существуют и проблемы, такие как цифровое неравенство, неравномерная техническая инфраструктура и недостаточные цифровые навыки преподавателей, и эти проблемы напрямую влияют на эффективность методических изменений.

Ключевые слова: *Преподавание, обучение, цифровые технологии, образование, инновационные технологии, онлайн-обучение, электронные технологии, обучающийся, интерактивные технологии.*

CHANGE IN TEACHING METHODOLOGY: TRANSITION FROM TRADITIONAL TO DIGITAL LEARNING

Abstract: *The change in teaching methodology is one of the most important transformations in the modern education system, and this process is mainly characterized by the transition from traditional teaching methods to digital teaching models. Traditional teaching methodology has been based on a teacher-centered approach for many years, with the teacher as the main source of knowledge, and lessons have been mainly based on lectures, explanations and memorization. Although this approach was effective for certain periods, it has begun to show its limitations against the background of the formation of the information society, the rapid development of technologies and the changing needs of learners.*

The transition to digital learning has laid the foundation for a new stage in education. This transition is not limited only to the use of technical means, but also involves a radical renewal of the philosophy, goals and methods of teaching. In the digital learning environment, a learner-centered approach comes to the fore, students act as active participants, researchers and creative subjects, not passive recipients of knowledge. Online platforms, electronic resources, interactive programs and multimedia tools make the learning process more flexible, accessible and personalized.

This transformation has significantly removed the time and space boundaries of education. Through digital learning, learners gain the opportunity to acquire knowledge at any time and from any place, which makes a significant contribution to the realization of the concept of lifelong learning. At the same time, digital technologies create new opportunities for teachers: tracking learning outcomes, building individual learning trajectories, providing rapid feedback and continuous updating of teaching materials are easier to implement.

The change in teaching methodology also has important consequences from a social and pedagogical perspective. Digital learning stimulates the development of skills such as critical thinking, problem solving, collaboration and information literacy. These skills are among the main requirements of the modern labor market. However, there are also problems such as digital inequality, uneven technical infrastructure and insufficient digital skills of teachers, and these issues directly affect the effectiveness of methodological change.

Keywords: *Teaching, training, digital, education, innovative, online, electronic, learner, interactive.*

MALİYYƏ GÖSTƏRİCİLƏRİNDƏN KƏNAR: ESG AÇIQLAMALARININ AUDİTİNDƏ GÖZLƏNTİ BOŞLUĞU VƏ ETİK ÇAĞIRIŞLAR

Mikayil Mammadov
Baku Engineering University
Faculty of Economic and Administrative Sciences
Baku, Azerbaijan
mmemmedov23@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu məqalədə ESG (Environmental, Social, Governance) açıqlamalarının auditində gözlənti boşluğu və etik çağırışlar araşdırılır. Müasir dövrdə investorlar, tənzimləyici qurumlar və digər maraqlı tərəflər müəssisələrin yalnız maliyyə göstəriciləri ilə deyil, həm də ətraf mühitə təsiri, sosial məsuliyyəti və idarəetmə keyfiyyəti ilə bağlı məlumatların etibarlılığına böyük önəm verirlər. Bu isə ESG açıqlamalarının auditinə olan tələbi artırır. Məqalədə auditorlardan gözlənilən funksiyalarla onların real məsuliyyətləri arasında yaranan fərqlər təhlil edilir və bu fərqin audit keyfiyyətinə təsiri qiymətləndirilir.Tədqiqat zamanı ESG açıqlamalarının yoxlanılması prosesində rast gəlinən əsas etik problemlər, o cümlədən müstəqillik, obyektivlik, peşəkar skeptisizm, məlumatların subyektivliyi və yaşıl yuma (greenwashing) riski araşdırılır. Müəyyən olunur ki, ESG auditində əsas çətinliklərdən biri standartlaşdırılmış ölçmə meyarlarının məhdudluğu və qeyri-maliyyə məlumatlarının müxtəlif interpretasiyalara açıq olmasıdır. Məqalədə göstərilir ki, gözlənti boşluğunun azaldılması və etik risklərin idarə olunması üçün metodoloji yanaşmaların təkmilləşdirilməsi, şəffaflıq səviyyəsinin artırılması və auditorların peşəkar hazırlığının gücləndirilməsi vacibdir.

Açar sözlər: *ESG, audit, gözlənti boşluğu, etik çağırışlar, qeyri-maliyyə hesabatı, yaşıl yuma, auditor müstəqilliyi, peşəkar skeptisizm*

Abstract: This article explores the expectation gap and ethical challenges in the audit of ESG (Environmental, Social, Governance) disclosures. In the modern business environment, investors, regulatory bodies, and other stakeholders attach great importance to the reliability of information regarding not only the financial indicators of enterprises but also their environmental impact, social responsibility, and governance quality. This, in turn, increases the demand for the audit of ESG disclosures. The article analyzes the differences between the functions expected of auditors and their actual responsibilities, evaluating the impact of this gap on audit quality. During the research, the main ethical problems encountered in the verification process of ESG disclosures are investigated, including independence, objectivity, professional skepticism, data subjectivity, and the risk of greenwashing. It is determined that one of the primary difficulties in ESG auditing is the limitation of standardized measurement criteria and the susceptibility of non-financial data to various interpretations. The article demonstrates that to reduce the expectation gap and manage ethical risks, it is essential to improve methodological approaches, increase the level of transparency, and strengthen the professional training of auditors.

Keywords: *ESG, audit, expectation gap, ethical challenges, non-financial reporting, greenwashing, auditor independence, professional skepticism.*

GIRIŞ

Son illərdə korporativ hesabatlılıq anlayışı ənənəvi maliyyə göstəricilərindən kənara çıxaraq daha geniş məzmun qazanmışdır. [1] Müəssisələrin yalnız mənfəətlilik, likvidlik və maliyyə dayanıqlığı ilə deyil, eyni zamanda ətraf mühitə təsiri, sosial məsuliyyəti və korporativ idarəetmə keyfiyyəti ilə bağlı məlumatları da ictimaiyyət üçün əhəmiyyətli hesab edilir. Bu səbəbdən ESG açıqlamaları müasir hesabat sisteminin vacib elementinə çevrilmişdir.

ESG məlumatlarının artan əhəmiyyəti onların etibarlılığının təmin olunması məsələsini ön plana çıxarmışdır. İnvestorlar, kreditorlar, dövlət qurumları və cəmiyyət bu məlumatların düzgünlüyünə güvənmək istəyir. Nəticədə auditorların rolu artıq yalnız maliyyə hesabatlarının yoxlanılması ilə məhdudlaşmır, qeyri-maliyyə açıqlamalarının qiymətləndirilməsi də onların peşəkar fəaliyyət sferasına daxil olur. Lakin bu sahədə auditorlardan gözlənilən nəticələrlə auditin faktiki imkanları arasında müəyyən uyğunsuzluq mövcuddur.

Məhz bu uyğunsuzluq auditdə "gözlənti boşluğu" anlayışını formalaşdırır. ESG auditində bu boşluq daha qabarıq şəkildə özünü göstərir, çünki qeyri-maliyyə məlumatları çox vaxt subyektiv meyarlara əsaslanır, ölçülməsi çətin olur və vahid standartlarla tam tənzimlənmir. Eyni zamanda bu sahədə etik çağırışlar da güclənir. [2] Auditorun müstəqilliyi, obyektivliyi və peşəkar davranışı ESG açıqlamalarının etibarlı yoxlanılmasında əsas şərtlərdən biridir.

Müasir korporativ hesabatlılıq sistemi son illərdə ciddi məzmun transformasiyasına məruz qalmışdır. Ənənəvi olaraq müəssisələrin fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi maliyyə göstəriciləri əsasında aparılsa da, hazırda bu yanaşma təkbaşına kifayət hesab olunmur. İnvestorlar, kreditorlar, tənzimləyici qurumlar və cəmiyyət müəssisələrin yalnız maliyyə nəticələrini deyil, həm də ekoloji məsuliyyətini, sosial təsirini və idarəetmə keyfiyyətini əks etdirən məlumatları qərarvermə baxımından mühüm informasiya mənbəyi kimi qəbul edirlər. Bu səbəbdən ESG açıqlamaları korporativ şəffaflığın, hesabatlılığın və institusional etibarlılığın əsas elementlərindən birinə çevrilmişdir.

ESG göstəricilərinə artan maraq onların sadəcə təqdim olunmasını deyil, etibarlılığının və obyektivliyinin yoxlanılmasını da zəruri etmişdir. Müəssisələr tərəfindən açıqlanan ekoloji, sosial və idarəetmə xarakterli məlumatlar investisiya qərarlarına, risklərin qiymətləndirilməsinə, reputasiya kapitalına və maraqlı tərəflərin davranışına birbaşa təsir göstərir. Məhz buna görə həmin məlumatların keyfiyyəti, tamlığı və doğruluğu audit və təminat fəaliyyətinin yeni istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir. [3] Qeyri-maliyyə məlumatlarının auditi ənənəvi maliyyə auditindən fərqli olaraq daha mürəkkəb metodoloji çərçivə tələb edir, çünki burada ölçülməsi çətin olan, bir sıra hallarda isə peşəkar mühakiməyə əsaslanan göstəricilər üstünlük təşkil edir.

ESG açıqlamalarının auditində əsas problemlərdən biri auditorun funksiyası ilə hesabat istifadəçilərinin gözləntiləri arasında yaranan uyğunsuzluqdur. Audit nəzəriyyəsində "gözlənti boşluğu" kimi xarakterizə olunan bu hal istifadəçilərin auditorun verdiyi təminatın səviyyəsini olduğundan geniş qəbul etməsi ilə bağlıdır. Maliyyə auditində bu problem nisbətən uzun müddətdir müzakirə olunsa da, ESG sahəsində daha kəskin formada meydana çıxır. Bunun başlıca səbəbi qeyri-maliyyə məlumatlarının strukturunun, ölçmə meyarlarının və təqdimat əsaslarının maliyyə hesabatlarına nisbətən daha dəyişkən və qeyri-standart olmasıdır. İstifadəçilər çox vaxt auditorun ESG hesabatında yer alan bütün məlumatların tam həqiqiliyini təsdiq etdiyini düşünürlər, halbuki praktiki audit prosedurları bu səviyyədə təminat verməyə həmişə imkan yaratmır.

ESG açıqlamalarının auditində gözlənti boşluğu və etik çağırışların araşdırılması nəzəri və praktik baxımdan əhəmiyyət daşıyır. Nəzəri baxımdan bu problem auditin funksional sərhədləri, təminat səviyyəsi və peşəkar məsuliyyət konsepsiyasının yenidən qiymətləndirilməsi üçün əsas yaradır. [4] Praktik baxımdan isə məsələ hesabatların etibarlılığına, maraqlı tərəflərin informasiyaya inamına, auditor rəylərinin dəyərinə və korporativ davranış standartlarına təsir göstərir. Auditorun ESG açıqlamalarına münasibətdə necə mövqe tutması, hansı sübut bazasına əsaslanması və hansı etik həssaslıqları nəzərə alması müasir audit keyfiyyətinin əsas göstəricilərindən biri kimi çıxış edir.

Bu məqalənin məqsədi ESG açıqlamalarının auditində gözlənti boşluğunun mahiyyətini, onun formalaşma səbəblərini və etik xarakterli əsas problemləri elmi baxımdan təhlil etməkdir. Araşdırma çərçivəsində ESG məlumatlarının auditində rast gəlinən metodoloji çətinliklər, auditor məsuliyyətinin sərhədləri, istifadəçi gözləntilərinin formalaşma mexanizmi və etik risklərin audit keyfiyyətinə təsiri sistemli şəkildə nəzərdən keçirilir. Eyni zamanda bu sahədə peşəkar yanaşmanın gücləndirilməsi, şəffaflığın artırılması və təminat fəaliyyətinin etibarlılığının yüksəldilməsi üçün zəruri istiqamətlər müəyyənləşdirilir.

H. Cədvəl 1 – ESG açıqlamalarının auditində əsas problemlər və onların təsiri

Problem sahəsi	Məzmunu	Auditə təsiri	Mümkün həll yolları
Gözlənti boşluğu	İstifadəçilərin auditorun rolu barədə gözləntiləri ilə real audit imkanları arasında fərq	Audit nəticələrinin yanlış şərhi, etimadın azalması	Audit məqsədinin və məhdudiyyətlərinin daha aydın izahı
Standartlaşdırma çatışmazlığı	ESG məlumatları üçün vahid meyarların tam formalaşmaması	Müqayisəliliyin azalması, audit prosedurlarında qeyri-müəyyənlik	Beynəlxalq standartların geniş tətbiqi
Məlumatların subyektivliyi	ESG göstəricilərinin bir hissəsinin peşəkar mühakiməyə əsaslanması	Səhv qiymətləndirmə və fərqli nəticələr riski	Metodologiyanın dəqiqləşdirilməsi və sənədləşmənin gücləndirilməsi
Auditor müstəqilliyi	Müəssisə ilə auditor arasındakı maraq toqquşması ehtimalı	Obyektivliyin zəifləməsi, auditə inamın azalması	Etik nəzarətin və peşəkar tələblərin gücləndirilməsi
Yaşıl yuma riski	Müəssisələrin ESG fəaliyyətini olduğundan daha müsbət təqdim etməsi	İstifadəçilərin aldadılması, audit riskinin artması	Dərin analitik prosedurlar və sübut bazasının genişləndirilməsi
Peşəkar hazırlıq çatışmazlığı	Auditorların ESG sahəsində ixtisaslaşmasının yetərli olmaması	Keyfiyyətsiz qiymətləndirmə və yanlış nəticələr	Təlim, sertifikatlaşdırma və ixtisasartırma proqramları

Mənbə: müəllif tərəfindən tərtib edilmişdir.

Cədvəl 1 ESG açıqlamalarının auditində qarşıya çıxan əsas problemləri sistemli şəkildə qruplaşdırır və onların audit prosesinə təsir mexanizmini göstərir. [5] Cədvəldə əks olunan məsələlərdən görünür ki, bu sahədə çətinliklər yalnız texniki audit prosedurları ilə məhdudlaşmır; burada institusional etimad, peşə etikası, metodoloji qeyri-müəyyənlik və hesabat istifadəçilərinin gözləntiləri bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə çıxış edir. ESG məlumatları maliyyə hesabatlarından fərqli olaraq çox zaman həm kəmiyyət, həm də keyfiyyət xarakterli məlumatları özündə birləşdirdiyi üçün onların auditində vahid yanaşmanın tətbiqi çətinləşir. Bu səbəbdən cədvəldə sadalanan hər bir problem ayrıca deyil, bütöv audit mühitinin tərkib elementi kimi qiymətləndirilməlidir.

Cədvəldə ilk problem sahəsi kimi göstərilən gözlənti boşluğu ESG auditinin konseptual əsas problemlərindən biridir. Hesabat istifadəçiləri auditorun ESG açıqlamalarının hamısını tam dəqiqliklə təsdiq etdiyini düşünə bilər, halbuki audit və ya assurance prosedurları tətbiq olunan standartlar, sübutların əlçatanlığı və təminat səviyyəsi ilə məhdudlaşır. Bu uyğunsuzluq audit nəticələrinin yanlış başa düşülməsinə, auditor rəyindən həddindən artıq məna çıxarılmasına və son nəticədə audit institutuna olan etimadın zəifləməsinə səbəb ola bilər. ESG sahəsində bu problem daha qabarıq görünür, çünki davamlılıq məlumatları üzrə təminat çərçivəsi maliyyə auditinə nisbətən daha yeni formalaşır.

Standartlaşdırma çatışmazlığı cədvəldə ayrıca problem kimi göstərilmişdir və bu, ESG auditinin praktik icrasında əsas maneələrdən biri hesab olunur. Müxtəlif müəssisələr ESG məlumatlarını fərqli meyarlar, fərqli hesablama üsulları və fərqli açıqlama çərçivələri əsasında təqdim etdikdə həmin məlumatların müqayisəliliyi zəifləyir. Auditor isə vahid və dəqiq meyarlara əsaslanmadıqda sübutların uyğunluğunu və kifayətliliyini qiymətləndirməkdə əlavə peşəkar mühakiməyə ehtiyac duyur. [7] Bu vəziyyət audit keyfiyyətində dəyişkənlik yarada və eyni xarakterli açıqlamalara fərqli assurance yanaşmalarının tətbiqinə gətirib çıxara bilər. Məhz buna görə son illərdə beynəlxalq səviyyədə vahid sustainability assurance bazasının yaradılması xüsusi diqqət mərkəzinə çıxmışdır.

Məlumatların subyektivliyi ESG açıqlamalarının auditində metodoloji riski artıran mühüm amildir. Ətraf mühitə təsir, sosial məsuliyyət, idarəetmə keyfiyyəti və digər ESG göstəriciləri çox zaman yalnız faktiki rəqəmlərlə deyil, həm də siyasətlər, niyyətlər, keyfiyyət xarakterli göstəricilər və gələcəyə yönəlmiş bəyanatlarla ifadə olunur. Belə məlumatların auditində peşəkar mühakimənin rolu genişlənir. Bu isə auditorun istifadə etdiyi meyarların şəffaflığını, sənədləşmənin dərinliyini və sübut bazasının möhkəmliyini daha vacib edir. Subyektivliyin yüksək olduğu şəraitdə audit nəticələrinin etibarlılığı böyük ölçüdə auditorun metodoloji hazırlığından və peşəkar skeptisizmindən asılı olur.

Cədvəldə yer alan auditor müstəqilliyi məsələsi etik xarakterli ən həssas risklərdən biridir. ESG açıqlamaları korporativ reputasiyaya, bazar dəyərinə və investor münasibətlərinə birbaşa təsir göstərdiyinə görə müəssisələr bu məlumatların müsbət təqdim olunmasında maraqlı ola bilərlər. Bu fonda auditorun obyektivliyinin qorunması yalnız peşə etikası məsələsi deyil, həm də audit nəticələrinin legitimliyi üçün əsas şərtdir. Auditorla müəssisə arasında iqtisadi və ya institusional yaxınlıq dərinləşdikdə audit istifadəçilərində qərəzsizliklə bağlı şübhələr yarana bilər. Bu risk ESG auditində daha həssasdır, çünki qeyri-maliyyə açıqlamalarının yoxlanılması zamanı peşəkar qiymətləndirmə və interpretasiya payı yüksəkdir. [6, s. 937–967]

Yaşıl yuma riski ESG auditinin ayrıca təhlil olunmalı istiqamətlərindən biridir. Müəssisə öz ekoloji və sosial fəaliyyətini reallıqdan daha müsbət formada təqdim etdikdə hesabat istifadəçilərinin qərarvermə prosesi təhrif oluna bilər. Auditor belə hallarda yalnız təqdim olunan məlumatların formal uyğunluğunu yoxlamamalı, həm də açıqlamaların mahiyyəti ilə faktiki fəaliyyət arasında uyğunluğu təhlil etməlidir. Bu, xüsusən ekoloji göstəricilər, emissiya məlumatları, sosial proqramların real əhatəsi və idarəetmə praktikalarının faktiki tətbiqi ilə bağlı sübutların toplanmasını zəruri edir. Yaşıl yuma ehtimalının artdığı şəraitdə səthi audit prosedurları kifayət etmir və daha dərindən analitik yanaşma tələb olunur.

Cədvəldə son problem sahəsi kimi peşəkar hazırlıq çatışmazlığının göstərilməsi də elmi baxımdan əsaslıdır. ESG auditinin keyfiyyəti auditorun yalnız klassik audit bilikləri ilə deyil, eyni zamanda davamlılıq hesabatlılığı, iqlim və sosial risklər, məlumatların qeyri-maliyyə ölçülməsi və sahəvi indikatorların qiymətləndirilməsi üzrə ixtisaslaşması ilə müəyyən olunur. Bu istiqamətdə yetərli hazırlıq olmadıqda auditor tətbiq olunan meyarların mahiyyətini tam qiymətləndirə bilmir, nəticədə assurance prosedurlarının səviyyəsi zəifləyir. Bu baxımdan ESG auditində insan kapitalı, təlim və ixtisasartırma yalnız əlavə üstünlük deyil, peşəkar zərurət kimi çıxış edir.

ANALITIK HISSƏ

ESG açıqlamalarının auditində gözlənti boşluğu auditor peşəsinin ən aktual problemlərindən biri hesab olunur. Ənənəvi maliyyə auditi ilə müqayisədə qeyri-maliyyə açıqlamalarında istifadəçilərin gözləntiləri daha genişdir. Maraqlı tərəflər çox vaxt auditorun ESG hesabatlarında yer alan bütün məlumatların tam doğruluğunu və obyektivliyini təsdiqlədiyini düşünürlər. Halbuki auditorun fəaliyyəti müəyyən standartlar, prosedurlar və məhdud sübut bazası çərçivəsində həyata keçirilir. Bu səbəbdən audit istifadəçilərinin gözləntiləri ilə real audit təminatı arasında fərq yaranır. [8, s. 104–120]

Bu fərqin əsas səbəblərindən biri ESG məlumatlarının xarakteridir. Maliyyə hesabatlarında əks olunan məlumatlar daha çox ölçülə bilən, sənədlərlə təsdiq olunan və uçot sistemləri ilə bağlı göstəricilərdən ibarətdir. ESG açıqlamaları isə çox vaxt həm kəmiyyət, həm də keyfiyyət xarakterli olur. Məsələn, sosial təsir, idarəetmə keyfiyyəti və ya ekoloji öhdəliklərin icrası ilə bağlı məlumatlar müxtəlif interpretasiyalara açıqdır. Bu isə audit sübutlarının toplanmasını və qiymətləndirilməsini çətinləşdirir.

Digər mühüm məsələ etik çağırışlarla bağlıdır. ESG auditində auditorun müstəqilliyi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Əgər auditor audit etdiyi müəssisə ilə yaxın kommersiya maraqları çərçivəsində fəaliyyət göstərirsə, bu zaman obyektivliyin zəifləməsi ehtimalı artır. Xüsusilə müəssisələrin ESG imicinə həssas yanaşdığı müasir dövrdə bəzi təşkilatlar öz fəaliyyətlərini olduğundan daha müsbət təqdim etməyə çalışırlar. Bu isə yaşıl yuma riskini gücləndirir. Auditor belə hallarda peşəkar skeptisizmi qorumaqla təqdim olunan məlumatların mahiyyətini dərin təhlil etməlidir.

ESG açıqlamalarının auditində peşəkar etik davranış yalnız müstəqilliklə məhdudlaşmır. Buraya dürüstlük, obyektivlik, məxfilik, peşəkar səriştə və lazımi diqqət də daxildir. Auditor qeyri-maliyyə göstəricilərini qiymətləndirərkən yalnız rəhbərliyin təqdim etdiyi izahatlarla kifayətlənməməli, müxtəlif mənbələrdən sübut toplamalı və uyğunsuzluqları araşdırmalıdır. Əks halda audit prosesi formal xarakter ala bilər və nəticədə hesabat istifadəçiləri yanlış təsəvvür formalaşdıra bilər.

Təhlil göstərir ki, ESG auditində etik risklərin artmasının digər səbəbi standartlaşdırmanın yetərli səviyyədə olmamasıdır. Maliyyə hesabatları üzrə audit prosedurları uzun illər ərzində formalaşmış və ciddi metodoloji baza üzərində qurulmuşdur. ESG açıqlamalarında isə tətbiq olunan göstəricilər, meyarlar və ölçmə üsulları müxtəlifdir. Bu fərqlilik auditorların peşəkar mühakiməsinə daha çox yer buraxır. Bir tərəfdən bu, çeviklik yaradır, digər tərəfdən isə subyektivlik riskini artırır.

Gözlənti boşluğu təkcə auditorlardan deyil, hesabat istifadəçilərinin məlumatlılıq səviyyəsindən də asılıdır. [9] Əgər investor və ya digər istifadəçi audit hesabatının məzmununu, əhatə dairəsini və məhdudiyyətlərini düzgün anlamırsa, o zaman auditdən həddindən artıq təminat gözləyir. Bu səbəbdən ESG auditində kommunikasiya mühüm əhəmiyyət daşıyır. Auditor hesabatında istifadə olunan yanaşmalar, təminat

səviyyəsi və məhdudiyyətlər aydın şəkildə göstərilməlidir. Aparılmış təhlil göstərir ki, ESG açıqlamalarının auditində keyfiyyətin artırılması üçün bir neçə istiqamət vacibdir. Birincisi, bu sahədə vahid və daha dəqiq standartların tətbiqi genişlənməlidir. İkincisi, auditorların ESG sahəsində peşəkar hazırlığı və ixtisaslaşması gücləndirilməlidir. Üçüncüsü, audit hesabatlarında şəffaflıq artırılmalı və istifadəçilərə auditin həqiqi imkanları daha düzgün izah olunmalıdır. Dördüncüsü, etik nəzarət mexanizmləri gücləndirilməli, maraq toqquşmalarının qarşısı daha təsirli şəkildə alınmalıdır.

ESG açıqlamalarının auditində gözlənti boşluğu və etik çağırışlar bir-biri ilə sıx bağlıdır. Etik zəifliklər audit keyfiyyətini aşağı sala, audit keyfiyyətinin zəif olması isə istifadəçilərin gözləntilərini daha da qeyri-real edə bilər. Buna görə də bu sahədə davamlı inkişaf yalnız texniki audit metodlarının deyil, həm də etik idarəetmənin və peşəkar mədəniyyətin gücləndirilməsi ilə mümkündür.

NƏTICƏ

ESG açıqlamalarının auditində meydana çıxan gözlənti boşluğu və etik çağırışlar müasir audit nəzəriyyəsi və praktikası üçün prinsipial əhəmiyyət daşıyan məsələlər sırasına daxildir. Korporativ hesabatlılığın məzmununun genişlənməsi, qeyri-maliyyə məlumatlarının qərarvermədə artan rolu və davamlılıq göstəricilərinə olan marağın yüksəlməsi auditor fəaliyyətinin ənənəvi sərhədlərini dəyişmişdir. Auditor artıq yalnız maliyyə hesabatlarında əks olunan rəqəmlərin düzgünlüyünü qiymətləndirən subyekt kimi deyil, həm də müəssisənin ekoloji, sosial və idarəetmə sahəsində təqdim etdiyi məlumatların etibarlılığını yoxlayan peşəkar təminat verən tərəf kimi çıxış edir. [10] Bu funksional genişlənmə audit peşəsinin informasiya dəyərini artırmaqla yanaşı, onun metodoloji və etik məsuliyyətini də ağırlaşdırır.

ESG açıqlamaları üzrə auditdə gözlənti boşluğunun yaranmasının əsas səbəbləri məlumatların qeyri-maliyyə xarakteri, ölçmə meyarlarının tam vahidləşməməsi, təminat səviyyəsinin istifadəçilər tərəfindən düzgün anlaşılmaması və audit prosedurlarının praktiki məhdudiyyətləri ilə əlaqədardır. Maliyyə auditindən fərqli olaraq ESG auditində istifadə olunan göstəricilər yalnız rəqəmsal ölçmələrə deyil, həm də keyfiyyət xarakterli təsvirlərə, idarəetmə bəyanatlarına, strategiyalara və gələcəyə yönəlmiş qiymətləndirmələrə əsaslana bilir. Bu xüsusiyyət audit sübutlarının toplanmasını, qiymətləndirilməsini və nəticələrin təqdim edilməsini daha mürəkkəb edir. İstifadəçilər isə əksər hallarda auditorun verdiyi təminatı daha geniş məna çərçivəsində qəbul etdikləri üçün auditin real imkanları ilə ictimai gözləntilər arasında fərq dərinləşir.

Araşdırma çərçivəsində etik çağırışların ESG auditində xüsusi çəkisinin daha yüksək olduğu da aydın şəkildə müəyyənləşdirilmişdir. Müstəqillik, obyektivlik, peşəkar skeptisizm və dürüstlük prinsipləri bu sahədə formal etik tələblər kimi deyil, auditin etibarlılığını formalaşdıran əsas institusional dayaqlar kimi qiymətləndirilməlidir. ESG açıqlamalarının reputasiya, investisiya cəlbediciliyi və korporativ imic üçün mühüm alətə çevrilməsi müəssisələrin həmin məlumatları seçmə qaydada və ya daha əlverişli formada təqdim etməsi riskini artırır. Bu isə auditorun peşəkar mövqeyini daha həssas edir və audit prosesində dərin sübut bazasının formalaşdırılmasını vacib şərtə çevirir. Xüsusilə yaşıl yuma riskinin mövcud olduğu hallarda səthi yoxlama prosedurları kifayət etmir; burada auditor təqdim olunan məlumatların formal deyil, mahiyyət baxımından da gerçəkliyə uyğunluğunu yoxlamalıdır.

ESG auditinin keyfiyyəti yalnız normativ baza ilə müəyyən olunmur. Bu sahədə peşəkar hazırlıq səviyyəsi, auditorun sektoral bilikləri, istifadə olunan metodoloji alətlər, tətbiq olunan assurance meyarları və hesabatda verilən izahların aydınlığı da həlledici rol oynayır. ESG göstəricilərinin qiymətləndirilməsi üçün zəruri olan biliklər klassik maliyyə auditindən daha geniş çərçivəni əhatə edir. Auditor davamlılıq hesabatlılığı, iqlim və sosial risklər, korporativ idarəetmə mexanizmləri və qeyri-maliyyə göstəricilərinin ölçülməsi üzrə yetərli peşəkar hazırlığa malik olmadıqda audit nəticələrinin dəqiqliyi və etibarlılığı zəifləyir. Bu səbəbdən ESG auditində ixtisaslaşma, davamlı təlim və metodoloji yenilənmə peşəkar zərurət kimi qəbul edilməlidir. [12, s. 64–87]

Müəyyən edilmişdir ki, gözlənti boşluğunun azaldılması üçün əsas istiqamətlərdən biri audit hesabatlarında kommunikasiya keyfiyyətinin yüksəldilməsidir. İstifadəçilərə auditin əhatə dairəsi, tətbiq olunan prosedurlar, təminatın səviyyəsi və mövcud məhdudiyyətlər daha aydın və sistemli şəkildə təqdim edilməlidir. Hesabatın dili qeyri-müəyyən olduqda və ya auditin mahiyyəti kifayət qədər açıqlanmadıqda istifadəçilər auditor rəyinə həddindən artıq məna yükləyir, bu isə sonradan etimad problemlərinə gətirib çıxarır. Audit hesabatının yalnız texniki sənəd deyil, həm də informasiya vasitəçisi funksiyası daşıdığı nəzərə alındıqda, onun strukturunun və izah keyfiyyətinin təkmilləşdirilməsi zəruri hesab olunur.

Araşdırmanın mühüm nəticələrindən biri də ESG auditində standartlaşdırmanın gücləndirilməsinin vacibliyidir. Qlobal səviyyədə davamlılıq hesabatlılığı və həmin hesabatlara təminat verilməsi sahəsində

vahid çərçivələrin formalaşması audit keyfiyyətində fərqliliyi azaltmağa, müqayisəliliyi artırmağa və istifadəçi gözləntilərini daha real əsasda formalaşdırmağa imkan verə bilər. Standartların təkmilləşməsi auditorun peşəkar mühakiməsini tam aradan qaldırmasa da, həmin mühakimənin tətbiq olunduğu sərhədləri daha aydın müəyyən edir və nəticələrin obyektivliyini gücləndirir.

Elmi-praktik baxımdan bu mövzu üzrə əsas qənaət ondan ibarətdir ki, ESG açıqlamalarının auditində etibarlılıq yalnız texniki audit prosedurlarının tətbiqi ilə təmin olunmur. Burada etik dayanıqlıq, institusional məsuliyyət, peşəkar mühakimənin əsaslandırılması və şəffaf kommunikasiya vahid sistem daxilində fəaliyyət göstərməlidir. Audit prosesinin hər hansı mərhələsində bu komponentlərdən birinin zəifləməsi ümumi təminat səviyyəsinə mənfi təsir göstərir. Ona görə ESG auditinə münasibətdə inteqrativ yanaşmanın formalaşdırılması zəruri hesab olunur. [11, s. 739–760]

Məqalənin ümumi elmi nəticəsi auditor peşəsinin ESG mühitində yeni tələblərlə qarşılaşdığını təsdiqləyir. Qeyri-maliyyə açıqlamalarının genişlənməsi auditin predmetini dəyişdirir, təminat xidmətlərinin sərhədlərini yenidən müəyyənləşdirir və etik məsuliyyət anlayışına daha dərin məzmun verir. ESG açıqlamalarına olan ictimai və institusional maraq artdıqca audit peşəsindən tələb olunan obyektivlik, peşəkarlıq və hesabatlılıq səviyyəsi də yüksəlir. Bu reallıq fonunda auditin gələcək inkişafı yalnız normativ yeniliklərlə deyil, həm də peşəkar etik mədəniyyətin möhkəmləndirilməsi, auditorların ixtisaslaşmasının artırılması və assurance praktikalarının elmi əsaslarla təkmilləşdirilməsi ilə bağlı olacaqdır.

Gələcək tədqiqatlarda ESG açıqlamalarının auditində tətbiq olunan beynəlxalq assurance standartlarının müqayisəli təhlili, müxtəlif ölkələrin tənzimləmə təcrübəsinin öyrənilməsi, auditorların etik qərarvermə mexanizmlərinin empirik əsasda araşdırılması və yaşıl yuma riskinin aşkarlanmasına yönəlmiş audit alətlərinin qiymətləndirilməsi məqsədəuyğun hesab oluna bilər. Bu istiqamətlər üzrə aparılacaq araşdırmalar ESG auditinin nəzəri bazasının güclənməsinə və praktik tətbiq imkanlarının daha da təkmilləşdirilməsinə töhfə verə bilər.

III. ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1. Beynəlxalq Audit və Təminat Standartları Şurası (IAASB). (2024). Beynəlxalq Davamlılıq Təminatı Standartı 5000 (ISSA 5000): Davamlılıq üzrə təminat tapşırıqları üçün ümumi tələblər. New York: IFAC.
2. Beynəlxalq Mühasiblər üçün Etika Standartları Şurası (IESBA). (2025). Davamlılıq üzrə təminat üçün beynəlxalq etik standartlar, o cümlədən beynəlxalq müstəqillik standartları (IESSA). New York: IFAC.
3. IFRS Foundation. (2023). IFRS S1: Davamlılıqla bağlı maliyyə məlumatlarının açıqlanması üzrə ümumi tələblər. London: IFRS Foundation.
4. IFRS Foundation. (2023). IFRS S2: İqlimlə bağlı açıqlamalar. London: IFRS Foundation.
5. Beynəlxalq Audit və Təminat Standartları Şurası (IAASB). (2013). ISAE 3000 (yenidən işlənmiş): Tarixi maliyyə məlumatlarının auditi və ya icmalı olmayan təminat tapşırıqları. New York: IFAC.
6. Simnett, R., Nugent, M., & Huggins, A. L. (2009). Davamlılıq hesabatlarına təminat verilməsi üçün qlobal yanaşmaya doğru. The Accounting Review, 84(3), 937–967. doi:10.2308/accr.2009.84.3.937
7. Булыга, Р. П., и др. (2024). Современное регулирование ESG-аудита: состояние и возникающие проблемы. Учет. Анализ. Аудит. Доступно через CyberLeninka.
8. Санникова, И. Н., & Семиколенова, М. Н. (2024). ESG-данные в нефинансовой отчетности российского бизнеса. ЭКО, № 5, 104–120. DOI: 10.30680/EC00131-7652-2024-5-104-120.
9. Аверина, О. И., и др. (2023). Аудит нефинансовой отчетности в фокусе устойчивого развития российских организаций. Исследование проблем экономики и финансов, № 4.
10. Булыга, Р. П., и др. (2023). Нефинансовая отчетность и ответственное инвестирование. Москва: Высшая школа экономики.
11. O'Dwyer, B., & Owen, D. L. (2023). Greenwashing and sustainability assurance: a review and call for future research. Journal of Applied Accounting Research, 47(4), 739–760.
12. Delmas, M. A., & Burbano, V. C. (2011). The drivers of greenwashing. California Management Review, 54(1), 64–87.

THE INDEPENDENCE PARADOX: EVALUATİNG ETHİCAL SAFEGUARDS AND NON-ASSURANCE SERVİCES İN PUBLİC INTEREST ENTİTİES

Mikayil Mammadov
Baku Engineering University
Faculty of Economic and Administrative Sciences
mmemmedov23@std.beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract: *The topic "The Independence Paradox: Evaluating Ethical Safeguards and Non-Assurance Services in Public Interest Entities" explores the inherent conflict between maintaining auditor independence and providing non-assurance services (NAS) to public interest entities (PIEs). It delves into the ethical safeguards in place to ensure objectivity and impartiality, while critically assessing whether such safeguards are sufficient in light of the risks posed by NAS. The paradox arises when auditors, who are responsible for maintaining the integrity of financial reporting, are also offering services that could potentially impair their independence. The evaluation highlights the balance between the need for auditors to diversify their services and the necessity to uphold high ethical standards in the public interest.*
Keywords: *ındependence, ethical, non-assurance, public, auditor, objectivity.*

I. INTRODUCTION

The topic of "The Independence Paradox: Evaluating Ethical Safeguards and Non-Assurance Services in Public Interest Entities" addresses a significant concern in the auditing profession, particularly within public interest entities (PIEs). PIEs, which include large corporations, financial institutions, and other entities that have a profound impact on the economy, require rigorous auditing processes to ensure transparency and accountability. Auditors play a critical role in maintaining the integrity of financial statements, which directly affects public trust and investor confidence.

However, the provision of non-assurance services (NAS) by auditors to these entities has introduced a paradox that challenges the principle of auditor independence. Non-assurance services, such as consulting or tax advisory, can potentially lead to conflicts of interest, as the same firm that audits the financial statements may also be involved in providing advisory services that could influence or bias their judgment. This dual role raises concerns about the impartiality of auditors and their ability to maintain objectivity in the face of financial incentives.

To address these challenges, ethical safeguards have been established to ensure that auditors remain independent, even when providing non-assurance services. These safeguards include rules and regulations put in place by auditing standards and professional bodies, such as the International Federation of Accountants (IFAC) and national regulatory authorities. Despite these safeguards, questions persist about their effectiveness in preventing the risks associated with non-assurance services.

This paper will explore the ethical safeguards designed to protect auditor independence and evaluate their sufficiency in the context of the growing use of non-assurance services by auditors to public interest entities. Through an examination of the regulatory framework, case studies, and real-world applications, this work aims to provide insights into whether the current system strikes the right balance between maintaining ethical standards and meeting the evolving needs of the auditing profession.

II. ANALYSIS

The relationship between auditor independence and the provision of non-assurance services (NAS) has long been a topic of intense debate, particularly in the context of public interest entities (PIEs). While auditors are tasked with the responsibility of ensuring the accuracy and integrity of financial reporting, the provision of NAS introduces a potential conflict of interest that can impair their objectivity. To analyze the implications of this paradox, it is essential to explore both the ethical safeguards in place and the potential risks associated with offering NAS to PIEs[1,s.500].

Ethical Safeguards and Regulatory Frameworks One of the core principles of auditing is the independence of auditors from the entities they audit. This principle is enshrined in international standards such as the International Ethics Standards Board for Accountants (IESBA) Code of Ethics, which sets out stringent guidelines on auditor independence. These guidelines aim to prevent situations where auditors might be swayed by financial or personal incentives that could compromise their professional judgment. In this context, ethical safeguards are designed to mitigate the risk of such conflicts. These safeguards include

restrictions on the types of NAS that auditors can provide to PIEs, mandatory rotation of audit firms, and the establishment of clear lines between auditing and consulting services within the same firm[2,s.28].

Despite these safeguards, there is an ongoing debate about their effectiveness. Critics argue that existing regulations are often too lenient, leaving auditors vulnerable to subtle forms of influence that may not be immediately apparent but could nevertheless compromise their objectivity. For example, auditors may be reluctant to issue critical opinions on a client's financial statements if they have a significant consulting relationship with that client. Moreover, even when the auditor is legally required to maintain independence, the financial incentives associated with lucrative NAS contracts may create an implicit bias[3,s.18],

Risks of Non-Assurance Services The provision of NAS raises significant concerns regarding the potential for auditor independence to be impaired. NAS, such as management consulting, tax advisory, and internal audit services, create a situation where auditors could be seen as acting in the client's interest rather than the public's. For instance, when an auditor is engaged to provide tax advisory services, they may face pressure to align the tax strategy with the financial reporting strategies of the client, potentially skewing the auditor's evaluation of the financial statements[4,s.38].

Furthermore, the provision of NAS could create situations where auditors and PIEs develop overly familiar relationships, leading to a less critical approach to auditing. This could undermine the purpose of the audit, which is to ensure that financial statements present a true and fair view of the entity's financial position. When auditors are too closely involved with the management of a PIE, they may overlook issues or fail to challenge decisions that may not be in the best interests of stakeholders[5,s.15].

Balancing Ethical Standards and Professional Necessities While NAS provide auditing firms with an opportunity to diversify their services and enhance their revenue streams, this needs to be carefully balanced with the requirement to maintain the public interest. In highly competitive markets, firms may feel pressured to offer NAS in order to retain clients, even at the cost of their independence. This creates a paradox: the very services that could help improve the client's operations might also be the ones that undermine the objectivity of the audit process.

As such, the role of ethical safeguards becomes crucial in maintaining the delicate balance between serving the client's needs and upholding the integrity of the audit. These safeguards must be continually assessed and updated to ensure that they remain effective in mitigating risks. For example, stricter regulations on the provision of NAS, increased transparency in audit fees, and more stringent oversight from regulatory bodies could all help reinforce the independence of auditors[6,s.60].

The independence paradox remains a pressing challenge in the auditing profession, particularly with respect to public interest entities. While ethical safeguards have been established to maintain auditor independence, the increasing reliance on non-assurance services raises valid concerns about the effectiveness of these measures. To ensure the integrity of the audit process, ongoing efforts must be made to strengthen the regulatory framework and ensure that auditors are held to the highest ethical standards, prioritizing objectivity and impartiality over financial gain[7,s.150].

Table 1 : Ethical Safeguards and Non-Assurance Services in Public Interest Entities: Analysis and Implications

Aspect	Description
Audit Independence	The principle that auditors must remain free from influences that could impair their objective judgment.
Non-Assurance Services (NAS)	Services provided by auditors to clients beyond traditional audits, such as consulting and advisory.
Ethical Safeguards	Measures designed to protect auditors from conflicts of interest, such as restrictions on NAS and audit rotation.
Potential Conflicts of Interest	The risk that auditors may compromise their independence due to financial relationships with clients.
Regulatory Frameworks	International and national guidelines (e.g., IESBA, IFAC) that set standards for auditor independence and ethical conduct.
Risks of NAS in PIEs	NAS may create conflicts, as auditors might be biased in financial reporting due to ongoing advisory roles.
Impact on Auditor Objectivity	NAS might reduce the auditor's ability to provide unbiased opinions, particularly in situations where familiarity with client management is high.
Audit Quality Assurance	Mechanisms that ensure the audit process remains robust and reliable, even when auditors provide NAS.
Safeguards Evaluation	Continuous evaluation of the effectiveness of ethical safeguards in mitigating risks posed by NAS.
Conclusion	Striking a balance between offering NAS and maintaining auditor independence is critical for preserving public trust in financial audits.

Source: International Federation of Accountants (IFAC). (2018). *International ethics standards board for accountants (IESBA) code of ethics for professional accountants.* Retrieved from https://www.ifac.org

The table 1 outlines the key aspects related to the paradox of auditor independence when providing non-assurance services (NAS) to public interest entities (PIEs). The first row highlights the importance of audit independence, which ensures that auditors remain impartial and free from external influences that could affect their judgment. The non-assurance services (NAS) column specifies the services provided by auditors beyond traditional financial audits, such as consulting and advisory, which may potentially conflict with their role as independent assessors[8,s.50].

The ethical safeguards row discusses the measures in place to protect auditors from conflicts of interest, such as rules limiting the types of NAS that auditors can offer to PIEs and mandates for audit firm rotation. However, these safeguards have been questioned for their effectiveness in ensuring true independence, as shown in the potential conflicts of interest row. It outlines how the financial ties between auditors and their clients might bias their evaluations.

The regulatory frameworks row reflects the international and national guidelines, such as the IESBA Code of Ethics and the IFAC standards, that guide auditor conduct and aim to uphold ethical principles. The risks of NAS in PIEs column elaborates on how NAS might result in biased auditing practices, particularly when auditors form long-term relationships with their clients[9,s.300].

Finally, the impact on auditor objectivity column examines the potential loss of objectivity when auditors are too familiar with the client's management, which could lead to a lack of critical oversight in the audit process. The audit quality assurance row addresses the mechanisms in place to maintain audit integrity despite these challenges, while the safeguards evaluation row suggests that ongoing assessments of ethical safeguards are necessary to adapt to evolving market conditions[10,s.50].

The conclusion row ties all the elements together, emphasizing the need for a balance between the growing demand for NAS and maintaining auditor independence, ensuring that public trust in financial audits remains intact[11,s.150].

III. CONCLUSION

In conclusion, the independence paradox in auditing remains a significant issue, especially for public interest entities (PIEs). While auditors play a crucial role in ensuring transparency and accountability in financial reporting, the provision of non-assurance services (NAS) introduces risks that may undermine their independence. The ethical safeguards in place, such as restrictions on the types of NAS and mandatory audit firm rotation, are essential in preserving auditor objectivity. However, these safeguards are not always sufficient in preventing conflicts of interest that arise from the financial relationships between auditors and their clients.

The risks associated with NAS are particularly concerning when auditors become too familiar with client management, leading to potential biases in their auditing practices. Although regulatory frameworks such as the IESBA Code of Ethics and IFAC standards provide guidelines to mitigate these risks, continuous evaluation and adaptation of these safeguards are necessary to address the evolving nature of the auditing profession.

To maintain the integrity of the audit process, a careful balance must be struck between providing non-assurance services and upholding ethical standards of independence. This balance is crucial for maintaining public trust in the audit profession, as any erosion of auditor independence could have far-reaching implications for financial transparency and investor confidence. Therefore, stronger regulatory oversight and more stringent ethical safeguards are essential to ensure that auditors can effectively navigate the challenges posed by NAS while preserving their independence.

REFERENCES

1. International Ethics Standards Board for Accountants. (2023). *International Code of Ethics for Professional Accountants, including International Independence Standards.* International Federation of Accountants. Handbook ~500 pp.
2. Campa, D., & Donnelly, R. (2015). *Non-audit services provided to audit clients: Independence of mind and independence in appearance.* Accounting and Business Research, 46(4), ~28 pp.
3. Quick, R., T. D. S. & J. S. T. (2023). *The impact of auditor-provided non-audit services on audit quality: Literature review.* Cogent Economics & Finance, ~18 pp.
4. Accountancy Europe. (2021). *Non-audit services and auditor's independence.* Briefing Paper, ~38 pp.
5. OECD/IESBA. (2024). *Strengthening International Independence Standards (NAS & PIE revision summary).* Summary Report, ~15 pp.
6. PCAOB. (2024). *Auditing Standards (independence and ethics sections).* PCAOB publications, ~60 pp.
7. Sarbanes-Oxley Act. (2002). *Auditor independence and non-audit services provisions.* U.S. Federal Law, legal text ~150 pp.

8. International Auditing and Assurance Standards Board. (2010). *International Standard on Auditing (ISA) 200: Overall Objectives.* ~50 pp.
9. Kazımov, R. N., & Namazova, C. B. (2011). *Praktiki Audit* (Practical Audit). Baku: UNEC Press. ~300 pp.
10. Auditor Xidməti Haqqında Qanun (Law of the Republic of Azerbaijan on Auditor Services). Azerbaijani legal code, ~50 pp.
11. Bakhshaliyev, R. M. (2022). *State Audit Efficiency in the Republic of Azerbaijan.* Ministry of Education, UNEC – doctorial thesis, ~150 pp.

İSTEHSAL MÜƏSSİSƏLƏRİNDƏ İNFORMASİYA SİSTEMLƏRİNİN ƏHƏMİYYƏTİ

ELŞƏN XƏLİLOV
Bakı Mühəndislik universiteti
İstehsal sferasında mühasibat uçotu və audit
exelilov9@std.beu.edu.az
Xırdalan, Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalə İstehsal müəssələrində mühasibat uçotu həyata keçirən zaman ,informasiya sistemlərinin əhəmiyyətinə,qloballaşan dünyada,hər gün yenilənən elmi tətbiqlərdə, mühasibat uçotu bilikləri ilə istehsal müəssisələrdə istehsalın hansı formada idarə edilməsi, marketinq konsepsiyalarının necə qurulması, düzgün maliyyə idarəetməsi və insan resurslarının müasir yanaşmalarla idarə edilməsi arasında sıx əlaqənin mövcud olmasını araşdırır.

Məqalənin əsas məqsədi istehsal həyata keçirilmədən qabaq,əldə olunan mühasibat məlumatları əsasında istehsalın planlaşdırırılması və hansı növ məhsuldan nə qədər ,istehsal olunacağına dair doğru qərar verilməsinin əhəmiyyətinə diqqət çəkilir. Araşdırma nəticəsi görsədirki, istehsal müəssisələri və və onların rəhbərləri tərəfindən onlara əhəmiyyətli olan maliyyə və qeyri-maliyyə məlumatları məhz informasiya sistemləri vasitəsilə təmin edilir.Bu inormasiyalarında ən əsaslı və daim əsaslığını saxlayan,ən köhnə informasiya sistemi ,elə mühasibat uçotu informasiya sistemidir. Tədqiqatdan anlaşılırki,mühasibat uçotu informasiya sistemi mühasibat uçotunun öz vəzifəsini görmək iqditarında olmağı üçün lazım olan informasiyaları təmin edən anlayışdır.Həmçinin mühasibat uçotu informasiya sistemi öz növbəsində müəssisələrin gələcəyini formalaşdıracaq məlumatlardan necə və hansı formada istifadə edəcəyini müəyyən etməyə imkan verən, bazarda başqa rəqabət üstünlüyü verən mühüm alət olduğundan danışacağıq. Bunlardan əlavə, Mühasibat uçotu informasiya sistemi ,müəssisənin daxilində olan rəhbərlər və işçilərə və tərəfdaşlara, eləcə də kredit təşkilatlarına, müştərilərə, təchizatçılara, investorlara, rəqib müəssisələrə, hökumətə və müəssisənin fəaliyyət marağından kənardakı dəqiq və etibarlı məlumat vermək öhdəliyi götürən bir sistemdir. Satışdan əldə olunan gəlirlər ,məhsulun maya dəyərinə düşən xərclər, satış üçün əlavə xərcləri, debitor borcları və s. haqqında informasiyalarda əks olunan göstəricilərdə yalan ,doğru olmayan təhrifsiz informasiya verən bir sistem olduğunu görəcəyik.
Açar sözlər: Mühasibat uçotu informasiya sistemi,hesabatlar,komunikasiya,kadrlar,elementlər

GİRİŞ.

İstehsalat sferalarında informasiya sistemlərinin məlumat və informasiya emalı prosesi ardıcıl olaraq həyata keçirilir,ayrıca olaraqdan əməliyyatlar seriyasına aiddir. Emal olunmamış və üzərində çalışılmamış xam məlumatlar məlumatların emalında giriş məlumat rolunda xidmət edir. Girişlər müəyyən bir mərhələlərdən keçərək emal olunmuş informasiyalara çevrilir. Daha sonra bu emal olunmuş məlumatlar müəsisiələrin hədəflərinə çatmaq və qərar qəbuletmədə əsas rol oynayacaq məlumata çevrilmək üçün öz növbəsində informasiya emalı prosesində zəruri proseslərdən keçir.Çünkü bütün məlumatlar informasiya rolunda olmur,bəzən əsassız olur.Mühasibat uçotu məlumat sistemləri günümüzdəki informasiya texnologiyaları sayəsində mühasibat məlumatlarını daha sürətli şəkildə əl çatan edir, təsnifləşdirir, təhlil edir və onu informasiya istifadəçisi əhəmiyyən daşıyan məlumata çevirir və sonunda hesabatlar yaranır.

İstehsal müəssisəsinin əsas saydığı prioritetlərinə : uzunmüddətli qazanc əldə etməklə bərabər ,daha çox satış edib daha çox qazanmaqdır. Həmçinində cəmiyyətə yararlı və məsuliyyətli fəaliyyətlər həyata keçirərməkdir. Əks halda həmin müəssisə davamlı fəaliyyəti çox çətin olar və ya həmin istehsal müəssisəsi

sıradan çıxar. Fəaliyyət görsədən müəssisənin düzgün şəkildə maliyyə planlanlamsı mütləqdir.Bu imkanları isə dəqiq şəkildə çatdıracaq olan mühasibat uçotudur.

Mühasibat uçotu informasiya sisteminin məqsədləri

Mühasibat uçotu informasiya sisteminin məqsədi istehsal müəssələri subyektlərinin ,bu prosesdə nəticələri, maliyyə vəziyyəti və fəaliyyətinin göstəriciləri haqqında əhəmiyyətli informasiyaları müəyyənləşdirmək, və onları emal etməkdir. Əldə olunmuş həmin məlumatlarıda ,ststistika şəkildə sistemli hala gətirir. Bu sistemin başlıca olaraq başqa bir məqsədi isə məlumatı doğru çatdırmaqla istehsalat müəssələrinin rəhbərliyinə təşkilati idarəetmə ilə bağlı qarşılaşa biləcəyi problemlərin həllində kömək etmək və əldə olunan məlumatlarla istesalın digər informasiya sistemlərinə və müəssələrin gündəlik funksiyalarına töhfə verməkdir.

Mühasibat uçotu informasiya sistemləri, həmçinin istehsalat müəssələrində məlumat sistemləri də daxil olmaqla idarəetmə məlumat sistemlərinə də informasiya ilə bağlı dəstək verir. Rəhbərlik bir çox məsələlərdə, xüsusən də istehsal müəssəsinin aktivlərinin idarə edilməsi, resursların təmin edilməsi, istehsal əməliyyatlarına nəzarət və monitorinq, biznesin gələcəyi üçün planlar hazırlamaq, strategiyalar hazırlamaq, investisiya qərarları qəbul etmək və s. barədə informasiyaları analiz etməlidir. Mühasibat informasiya sistemi həmçinin rəhbərliyə lazimlı dataları dəqiq, tam, başa düşülən və vaxtında hazırlamağı qarşısına məqsəd qoyur.

Mühasibat uçotu informasiya sisteminin istifadəçiləri

Mühasibat uçotu informasiya sistemi müəssələrin "ünsiyyət dili" kimi təsvir edilir, daşıdığı məsuliyyətlərin əhəmiyyətinə görə xeyir güdən müəssisələrin digər fərdlər və təşkilatlarla daim onlarala qarşılıqlı əlaqələndirir. Həmin subyektlər mühasibat məlumatlarına zəruri olaraq ehtiyac duyurlar, çünki onlar öz maraqları naminə müxtəlif fəaliyyətləri reallaşdırmaq,həyata keçirmək və bu qərarları ilə bağlı düzgün addım atmaq istəyirlər. Mühasibat uçotunu informasiya sistemi olduğunu nəzərə aldığımız zaman üçün onun emal etdiyi məlumatlardan faydalanan informasiya istifadəçiləri biznes subyektləri , idarəçilər , səhmdarlar,təsisçilər kreditorlar və digər kreditorlar, biznes işçiləri, hökumət, cəmiyyət və ictimaiyyətdir. Vatter həmin istifadəçiləri aşağıdakı 3 fərqli qrupa qruplaşdırmağa üstünlük verərək məhdudiyyət qoyub.

a) İdarəetmə: İdarəetmə elə bir yanaşma və tərəfdirki,mühasibat uçotunu bizneslə əlaqəli olan bütün sahələrində fəaliyyət və hadisələrin ən kiçik nüans və detallarını belə qeyd edən və bu fəaliyyətlər və hadisələr haqqında sistematik olaraq dəlillər, yəni məlumatlar toplayan bir alət kimi müəyyənləşdirir.

b) Biznes Sahibləri, Kreditorlar və Digər Kredit Verənlər və ya İnvestorlar (Dövlət) və ya Səhmdarlar (Sahiblər, Kreditorlar və Digər Kredit Verənlər və ya İnvestorlar): təşkilatda və nüfuzlu paya sahib olan səhmdarları əhatə edir.

c) Sosial Nəzarət Agentlikləri: Bunlara isə öz növbəsində hökumət, biznes assosiasiyaları, mühasibat uçotu üzrə tədqiqatçılar, hesabat agentliklərini aid etmək olar.

Mühasibat uçotu informasiya sisteminin elementləri (komponentləri)

Müəssisələrdə mühasibat uçotu informasiya sistemlərinin səmərəli,effektiv və doğru şəkildə işləməsi üçün müəyyən elementlər tələb olunur. Məhz bu elementlərin davamlılığı sayəsində mühasibat uçotu informasiya sistemi funksional və innovativ ola bilər. Mühasibat uçotu informasiya sisteminin elementlərini sadalasaq kadr-insan resursları, kommunikasiya vasitələri, aparat-proqram təminatı və hesabatlar kimi ayrıd edə bilərik.

Mühasibat sisteminin ayrılmaz hissələri olan bu elementlər daim bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə olaraq,mühasibat uçotu informasiya sistemini inkişafa uyğunlaşdırır, innovativ və müasir standartlarla fəaliyyətində effektiv rol oynayan mühasibat uçotu informasiya sistemi formalaşdırmağı qarşısına məqsəd qoyur.

Kadrlar-insan resursları

Mühasibat uçotu,elə bir sistemdirki,bu sistem müəssisələrin pul fəaliyyətləri ilə yaxından məşğul olan və bu fəaliyyətlərin qeydiyyatını aparır, təsnifləşdirir , və sonda ümumiləşdirərək müəssisənin fəaliyyəti ilə bağlı maraqlı tərəflərə hesabat vermək vəzifəsini öz üzərinə götürür. Bu sistemin ən əsas ünsürü insan, yəni müəssisənin işçi heyyətidir.

Komunikasiya vasitələri -Kommunikasiya vasitələri mühasibat uçotu informasiya sistemində əldə olunan və emal olunan informasiya sənədlərə aiddir. Bu sənədlər elə bir vacib sənəddirki, informasiya axını zamanı edilməsi lazım olan bütün qeydlər və izlənilməsi lazım olan məlumatların tam məcmusudur.

Proqram təminatı – Dünyada sürətlə inkişaf edən texnoloji inkişaflardan ən çox təsirlənən sistemlərdən biri olan mühasibat uçotu informasiya sistemləridir. Davamlı şəkildə informasiya təmin etmək üçün müasir texnologiya ,günümüzdə olan inkişaflarla ayaqlaşmalıdır.

Hesabatlar - Mühasibat uçotu informasiya sistemi tərəfindən müəssisədə olan bütün məlumatları emal etdikdən sonra toplanan informasiyalar hesabatlardır. Toplanan bu yaradılan hesabatlar müəssisənin daxilində və xaricində maraqlı şəxslərə və təşkilatlara təqdim olunur.

Nəticə

Qlobal şəkildə sürətlə inkişaf edən dünyada ,o cümlədən istehsal müəssisələrinin əlində olan aktivlərini qorumaqla yanaşı davamlı inkişaf edərək rəqabət apara bilməsi üçün inormasiya son dərəcə əhəmiyyətlidir.Əgər müəssisələr informasiyadan doğru istifadə etməsələr uğur qazanması da çətinləşə bilər.informasiya bir istehsalat üçün həm güc mənbəyi,həmdə doğru zamanda doğru addım atmaqda ən əsaslı yol xəritəsidir.Əgər informasiyalar olmasa doğru şəkildə strategiya qurula bilməz,və lazimi,əsaslı addımlar atıla bilməz. Tədqiqatdan aydın oldurki,, mühasibat uçotu informasiya sistemləri ilə idarəetməyə necə yanaşmaq arasındakı əlaqənin effektiv istifadəsi istehsal müəssisəsinin dayanıqlılıq məqsədlərinə əhəmiyyətli dərəcədə töhfə verir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Dinç, E., ve Abdioğlu, H. (2009). İşletmelerdeki Kurumsal Yönetim Anlayışı ve Muhasebe Bilgi Sistemi İlişkisi: İMKB–100 Şirketleri Üzerine Ampirik Bir Araştırma. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 12(21), 157-184. https://dergipark.org.tr/en/pub/baunsobed/article/647989
2. Ertaş, F. C. (2016). Muhasebe Bilgi Sistemi ve Organizasyonu (4 b.). Ankara: Seçkin Yayıncılık. https://dergipark.org.tr/tr/pub/opus/article/833494
3. Jumshudlu, S. (2019). Muhasebe Bilgi Sistemleri: Küçük Ve Orta Büyüklükteki İşletmeler Üzerine Bir Araştırma. İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1040432
4. Kaderli, Y., ve Köroğlu, Ç. (2014, 07 01). İşletmelerde Muhasebe Bilgi Sistemi İle Kurumsal Yönetim Anlayışı Arasındaki İlişki. Muhasebe ve Finansman Dergisi(63), s. 21-38 https://dergipark.org.tr/tr/pub/mufad/article/396475
5. Kaya, G. A. (2018). Muhasebe Meslek Mensuplarının Muhasebe Bilgi Sistemi Hakkındaki Görüşleri: Elazığ'da Bir Araştırma. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 28(1), 115-132
6. Sürmeli, F., Erdoğan, M., Erdoğan, N., Banar, K. (Ed.), ve Önce, S. (1998). Muhasebe Bilgi Sistemi. Eskişehir: T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları No:963, Açıköğretim Fakültesi Yayınları No:532
7. Çidem, İ. (2013). Muhasebe Bilgi Sisteminin Etkinliği: Küçük Ve Orta Büyüklükte İşletmeler Üzerine Bir Araştırma. Kayseri: Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
8. Murthy, U. S., & Wiggins, E. C. (1999, Ağustos). Activity-Based Costing and Management Solution to Traditional Short Coming of Cost Accounting. Cost Engineering, 51(8), 11-12 https://www.researchgate.net/publication/369527394_Activity-based_Costing_and_Management_Solutions_to_Traditional_Shortcomings_of_Cost_Accounting
9. http://hdl.handle.net/11607/4803
10. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/857078

THE IMPORTANCE OF INFORMATION SYSTEMS IN MANUFACTURING ENTERPRISES

ELSHAN KHALILOV

Abstract: This article examines the importance of information systems when performing accounting in manufacturing enterprises, the close relationship between accounting knowledge and the way in which production is managed in manufacturing enterprises, how marketing concepts are established, proper financial management, and modern approaches to managing human resources in a globalized world, in scientific applications that are updated every day.

The main purpose of the article is to draw attention to the importance of planning production based on the accounting data obtained before production and making the right decision on what type of product to produce and how much. The research results show that financial and non-financial information that is important to them is provided by production enterprises and their managers precisely through information systems. The oldest information system, which is the most fundamental and always remains valid in this information, is the accounting information system. It is understood from the study that the accounting information system is a concept that provides the information necessary for accounting to be able to perform its task. We will also talk about how the accounting information system, in turn, is an important tool that allows enterprises to determine how and in what form to use the information that will shape their future, giving them another competitive advantage in the market. In addition, the accounting information system is a system that undertakes the obligation to provide accurate and reliable information to managers and employees and partners within the enterprise, as well as to credit institutions, customers, suppliers, investors, competing enterprises, the government and those outside the enterprise's operating interests. We will see that there is a system that provides false and inaccurate information in the indicators reflected in the information about sales revenue, costs included in the cost of the product, additional costs for sales, receivables, etc.

HESABLARDA YAŞIL UÇOTUN ROLU

ELŞƏN XƏLİLOV
Bakı Mühəndislik universiteti
İstehsal sferasında mühasibat uçotu və audit
exelilov9@std.beu.edu.az
Xırdalan, Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalədə biz günümüz etibarı ilə "yaşıl uşot"un mahiyyəti,əhəmiyyətini görəcəyik.Aparılan tədqiqatda "Yaşıl mühasibat uçotu"nun həmçinin məntiqli qərarlar qəbul etmək,şirkətlərin sistemlərini müasir standartlara uyğun quraraq uğur əldə etməsini də nəzərdən keçirəcəyik.İşin mahiyyətini vurğuladığımızda "Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər"ə əsaslanan "2022-2026-cı illərdə sosial-iqtisadi inkişaf Strategiyası"nda "Təmiz ətraf mühit" və "Yaşıl artım ölkəsi" üzrə strateji çərçivə müəyyənləşdirililməsi,COP29 (BMT-nin İqlim Dəyişmələri üzrə Çərçivə Konvensiyasının Tərəflər Konfransının 29-cu sessiyası) kimi dünya miqyaslı tətbirin ölkəmizdə keçirilməsi daha aydın təzahür edir. Tədqiqatın məqsədi, ekoloji böhranların və problemlərin artdığı 21-ci əsrdə biznes mühiti və idarəçiliyində mühasibat elmi həll yolları axtarmış və bu kontekstdə ekoloji, iqtisadi, texnoloji və sosioloji mühit şərtləri nəzərə alınaraq yeni prinsiplər hazırlanmasını zəruri olduğunu əyani şəkildə görə bilməkdir.Bundan əlavə ekoloji sabitliklər saxlanılsın deyə qanunvericilik aktları da qəbul olunub. Müəssisələr gəlir əldə etmək üçün təbii olaraq ,təbii sərvətlərdən istifadə edirlər. Və ətraf mühiti qorumaq isə bir növ sosial vəzifəyə çevrilir. Ətraf mühitlə bağlı məlumatlı olmaq, mühasibat uçotunda da öz əksini tapır. İstehlakçılar və sosial məsuliyyəti daha dərindən başa düşərək istehsal həyata keçirən müəssisələr özləri hesablarında "yaşıl uçot"un meydana gəlməsini həyata keçiriblər.Beləliklə tədqiqatçılar hesablarında "yaşıl uçot" xərclərini əlavə edən müəssisələrə daha dəstək xarakterli davranaraq hətta beynəlxalq hesablarda da olmasının zərurətini vurğulamışdılar.Tədqiqatımızda əsas məqsədlərdən biridə yaşıl uçotu üzrə mövzunu müxtəlif perspektivlərdən və gələcəkdə ortalığa çıxacaq ekoloji probləmlərin qarşısını almaqda yaşıl uçotun rolunu nəzəri cəhətdən araşdırmaqdır.

Açar sözlər: Yaşıl uçot,Yaşıl mühasibat,Ekoloji səmərə,Ağıllı kənd,Yaşıl şəhər

THE ROLE OF GREEN ACCOUNTING IN ACCOUNTS

ELSHAN KHALILOV

Abstract: In this article, we will see the essence and importance of "green accounting" as of today. In the research conducted, we will also consider the role of "Green Accounting" in making logical decisions and achieving success by establishing companies' systems in accordance with modern standards. When we emphasize the essence of the work, the definition of a strategic framework for "Clean Environment" and "Green Growth Country" in the "Socio-Economic Development Strategy for 2022-2026" based on "Azerbaijan 2030: National Priorities for Socio-Economic Development", and the holding of a global event such as COP29 (29th session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change) in our country are more clearly manifested. The purpose of the study is to clearly see that in the 21st century, when environmental crises and problems are increasing, accounting science has sought solutions in the business environment and management, and in this context, it is necessary to develop new principles taking into account the environmental, economic, technological and sociological environmental conditions. In addition, legislative acts have been adopted to maintain environmental stability. Enterprises naturally use natural resources to generate income. And protecting the environment becomes a kind of social duty. Environmental awareness is also reflected in accounting. Consumers and enterprises that produce products with a deeper understanding of social responsibility have implemented the emergence of "green accounting" in their accounts. Thus, researchers have been more supportive of enterprises that add "green accounting" costs to their accounts and have emphasized the need for it to be included even in international accounts. One of the main objectives of our study is to theoretically examine the topic of green accounting from different perspectives and the role of green accounting in preventing environmental problems that will arise in the future.

GİRİŞ

"Ekoloji səmərə" almaq məqsədi ilə yaradılmış bir anlayış olan yaşıl mühasibatlıq biznes subyektlərinin ətraf mühitlə bağlı əməliyyat aparmaq , nəzarət etmək , qərar qəbul etmək kimi , hesabat vermə və mühafizə məsələləri haqqında məlumat verir. Müəssisələr ilkin etabda maliyyə hesabatlarında ekoloji

təbiətə vurduqları zərərləri gizlətmək istəsələrdə , təbiətə vurulan ziyanın yüksək miqdarına görə bu tələblərə əməl etmək məcburiyyətində qalıblar.

"Yaşıl uçotu" ilk dəfə 1970-ci illərdə araşdırılsada, də, 1990-cı illərdə ekoloji məsuliyyətlərin inkişaf etməsi ilə əsaslı əhəmiyyətini qazanmışdır. Müəssisələr ekologiaya təbii ehtiyatlardan istehsalatda istifadə zamanı və istehlak fəaliyyətləri nəticəsində zərərli müxtəlif tullantılar atmış olurlar. Bu səbəbdən də müəssisələr istehsal müddətinin bütün proseslərdə ekoloji cəhətdən daha həssaslıq görsətməlidirlər. Belə ciddi yanaşmaların verdiyi töhfə olaraq onların fəaliyyət sahələrində və idarəetmə strategiyalarında müasir metodlaran və yeniliklərdən istifadəyə ehtiyac yaranıb. Bu baxımdan "yaşıl uçot" anlayışı biznes subyektlərinin işləri zamanı təbiətə təsirlərinin mühasibat uçotu prosesinədə də əhəmiyyətli dərəcədə yer almışdır.

"Yaşıl uçot"müəssisələrə təbiətin çirklənməsinin qarşısını almaq və qorumaq üçün həm fiziki olaraq,həmdə maddi olaraq çəkdikləri ekoloji xərcləri hesabat vermək imkanı imkanı tanıyır. Təşviq xarakterli sosial ekoloji fəaliyyətlər,müəssisələrin daha məsuliyyətli ekoloji cəhətdən təmiz məhsullar istehsal etmələri üçün şərait yaradır. Buna görədə ,hökumətlər iqtisadi siyasətlərinin bir parçası olaraq,müəssisələr üçün yaşıl istehsalı məcburi etmişdir

Yaşıl uçot anlayışı

Termin olaraq biz "Yaşıl mühasibat uçotunu" "Yaşıl ekoloji uçotla" eyni anlayış kimi qəbul edən tədqiqatlarçılar , eləcə də onlara fərqli termin kimi baxan tədqiqatlarçılar da mövcuddur. Qarşılaşdığımız bu anlayışlar bəzən ayrı, bəzən də eyni anlayış olaraq istifadə edilən ekoloji uçot və yaşıl uçot hər ikisinin məqsədi təbii ehtiyatların dəyərini təyin edərək onların səmərəsiz istifadəsinin qarşısını almağı piroritet edir.

Bir çox tədqiqatçılar akedemik araşdırmalarında davamlılıq və ekoloji mühitə həssaslıq nəticəsində yaşıl uçot anlayışının ön plana çıxdığını və lakin bu konsepsiyanın ümumi hamı tərəfdən vahid qəbul edilmiş bir tərifinin olmadığını deyirlər və ekoloji uçot, təbiət uçotu, ekoloji uçot və s. sinonim kimi istifadə olunur.

"Ekoloji səmərə" almaq məqsədi ilə yaradılmış bir anlayış olan yaşıl mühasibatlıq biznes subyektlərinin ətraf mühitlə bağlı əməliyyat aparmaq , nəzarət etmək , qərar qəbul etmək kimi , hesabat vermə və mühafizə məsələləri haqqında məlumat verir. Müəssisənin başqa istehsal etdikləri məhsulları ilə bağlı ekoloji xərcləri bilmək, investorlar və ya rəhbərlərin başqa məhsullarının ekoloji uçotdan daha çox istifadə edilməsində mühüm rol oynayır.

Yaşıl uçot özünü necə görsədir

"Yaşıl uçot" özünü fərqli sahələrdə görsədir.Bir sahə və ya az sahələrə olsa ciddi əhəmiyyət kəsb etməz idi.Ona görə komleks fərqli sahələrdə məsələn; maliyyə, investisiya,aqrar sahələrdə ,yaşıl şəhərlər,kimi ayrı -ayrı sektorlarda özünü görsədir.

"Yaşıl investisiyalar" ilə bağlı olan bir anlayışda "Yaşıl istiqaz"lardır.Beləki,investorların bu sahədə daha inamlı olaraq qərar verməsi və motivasiyası üçün gəlirlərin və risklərin idarə edilməsində mühüm maliyyə aləti bir mexanizimdir.Davamlılığa təşviq,ekoloji layihələrə dəstək xarakteri daşıyır.

"Yaşıl fiskal fonlar" isə İlk dəfə Hollandiyada formalaşan bu fondlar 1995 – ci ildə banklar tərəfindən "yaşıl fiskal fond" təşəbbüsündən yararlanırlar.Burdakı fərqlilik isə vətəndaşlar "yaşıl bank"a yatrım etməklə səhm almaq ,vergilərdən azad olmaq və ya güzəştlərdən istifadə etmək imkanı olur.

"Yaşıl sığortalar" isə günümüzdə və gələcəkdə daha da inkişaf edən sahədir.Şirkətlərin gəlirliyi ilə yanaşı həmçinin imicini də artırır.ətraf mühütün qorunması və məsuliyyətləri daha zəncirvari etməyə imkan verən kompleks yanaşmadır.

"Ağıllı kənd" təsərrufatlarıda "yaşıl" kənd təsərrufatında əvəssiz rol oynayır günümüzdə.Dünyada gedən anropogen təsirlər,qlobal ekoloji pozulmalar,istiləşmə özünü balıqçılıq,bitgiçilik,heyvandarlıq sahələrini birdə düşündürməyə vadar edir.

" Yaşıl şəhərlər" – Dünya əhalisinin hazırkı vəziyyətdə təqribi olaraq 56,15% -i şəhərlərdə yaşadığını nəzərə alaraq,və BMT -nin isə verdiyi proqnozlara görə 2050-ci ilə qədər bu görsədici 68% olacağını düşünsək yaşıl şəhərlərin nə qədər əhəmiyyətli bir anlayış oldunu əsaslandırmaq olar.

NƏTİCƏ

Gəldiyimiz nəticə etibari ilə deyə bilərikki, ətraf mühit xərclərini əhatə edən və müasir tələblərə cavab verməli olan yaşıl uçot resursların istifadəsinin təsirlərini mühasibat uçotu qeydlərində qeyd etmək, maliyyə hesabatlarında bildirmək və müvafiq tərəflərə məlumat vermək funksiyalarını əhatə edir. Öz növbələrində müəssisələr də ətraf mühit ilə bağlı xərclərini nəzərə hesablamalıdırlar. Çünki,həmin xərclərdə müəssisələrin əsas xərclərindən hesab olunur. Yaşıl uçotun əhatə dairəsinə daxil olan informasiyalar ətraf mühit problemlərini ortalığa çıxarmaq və bu istiqamətdə həyata keçirilən fəaliyyətlərin

xərclərini vizual görmək və hesabat vermək məqsədi daşıyır. Yaşıl uçot bir tərəfli olmaqla inkişaf edə bilməz.Ona görədə "yaşıl uçot" öz funksiyasını yerinə yetirməsi üçün özəl və dövlət sektorları birgə fəaliyyət görsətməlidrlər. Dövlət, ətraf mühit problemlərinin olmaması üçün həm özəl sektora nəzarət etməli,həmdə motivasiya xarakterli tədbirlər görməlidir.Lazim gəldikdə müəyyən müasir ekoloji qurğu və cihazlara özəl sektorun əlinin çatmasında maraqlı olmalıdır.Müəssələrdə həmçinin ekoloji sahədə fəaliyyət görsətməyə maraqlı olmalı,hesabatlarında ekoloji xərcləri şəffaf şəkildə görsətməlidir. Ən əsası müəssisələrin fəaliyyət görsətikləri vaxtda təbiətə atılacaq tullantıya görə fərqli məsuliyyətləri olmalı,müxtəlif "ziyanlara" görə müxtəlif məsuliyyət müəyyən olunmalıdır.Müəssələrdən həm məsuliyyət,həmdə təbiəti qorumaq üçün ekoloji planlarının da hesabatı alınmalıdır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Aysun ATAGAN ÇETİN, Saime DOĞAN YEŞİL MUHASEBEYE YÖNELİK KAVRAMSAL BİR ARAŞTIRMA Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi 25,no.MODAVICA Özel Sayısı (2023): 159 - 186. https://search.trdizin.gov.tr/tr/yayin/detay/1163536 YEŞİL MUHASEBEYE YÖNELİK KAVRAMSAL BİR ARAŞTIRMA
2. AA Çetin, S Doğan Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi 25 (MODAVICA Özel Sayısı), 153-179 https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=tr&user=AXZDUcUAAAAJ&citation_for_view=AXZDUcUAAAAJ:5nxA0vEk-isC
3. Azərbaycan Respublikası İqtisadi İslahatların Təhlili və Kommunikasiya Mərkəzi - YAŞIL İQTİSADİYYAT , Vüsal Qasımlı Ramil Hüseyn Rəşad Hüseynov Rəşad Həsənov Coşqun Cəfərov Aminə Bayramova
4. Hafizə Hüseyn qızı HACIYEVA Azərbaycan Dövlət Aqrar Universiteti haciyeva.hafiza@mail.ru ORCID: 0000-0002-2062-6495 https://doi.org/10.30546/4.71.73001.2024.004.060 "KOOPERASİYA" elmi-praktiki jurnal №4(75)-2024
5. YEŞİL MUHASEBE VE ÇEVRESEL MALİYETLERİN HESAPLANMASI Dr.Öğr. Üyesi Ali ANTEPLİ, Şirin ASLAN https://www.jshsr.org/index.php/pub/article/view/2096/2013
6. Sevilengül, O. (2000). Genel muhasebe: Tekdüzen muhasebe sistemi ile uyumlu. Gazi Kitabevi.
7. Esmeray, M., & Güngör Tanç, Ş. (2009). Çevresel maliyetlerin mamullere yüklenmesinde kullanılan dağıtım anahtarlarının seçiminde analitik hiyerarşi yöntemi ve bir uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14(2), 241-260.
8. Tarsuslu, S., & Çil Koçyiğit, S. (2020). Üniversite öğrencilerinin yeşil muhasebe konusundaki algıları ve farkındalıkları: Bir üniversite örneği. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, 23(1), 326-340.
9. u, J. C., & Huang, H. S. (2015). Analysis on the relationship between green accounting and green design for enterprises. Sustainability, 7(5), 6264-6277.
10. Yılmaz, Z., Şahin, Z. (2017). Muhasebe dersi alan öğrencilerin yeşil muhasebe konusundaki algıları ve farkındalıkları.
11. Ekergil, V., & Savaş, A. B. (2019). Yeşil hastanelerde çevre maliyetleri ve maliyet hesaplarının sınıflandırılması. Muhasebe ve Finansman Dergisi, (83), 45-60
12. Rounaghi, M. M. (2019). Economic analysis of using green accounting and environmental accounting to identify environmental costs and sustainability indicators. International Journal of Ethics and Systems.
13. https://www.taxes.gov.az
14. https://e-qanun.az/framework/38831
15. https://e-qanun.az/framework/897



DÖVLƏT BƏLƏDİYYƏSİ VƏ İDARƏETMƏ

AZƏRBAYCAN VƏ TÜRKİYƏDƏ YERLİ İDARƏETMƏ SİSTEMLƏRİNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

Riqqət Abdullayev
Bakı Dövlət Universiteti
Beynəlxalq münasibətlər və iqtisadiyyat
Bakı, Azərbaycan
riqqtabdullayev@gmail.com

Xülasə: Müasir dövrdə yerli özünüidarəetmə modellərinin tədqiqi sosio-iqtisadi inkişaf və demokratikləşmə baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Tədqiqatda müqayisəli analiz metodologiyasına əsaslanaraq, Azərbaycan və Türkiyənin yerli idarəetmə strukturundakı kəsişmə və fərqlilik nöqtələri araşdırılır. Əsas hədəf Türkiyənin bu sahədəki mütərəqqi təcrübəsini interpretasiya edərək, yerli institutların optimallaşdırılması və vətəndaş iştirakçılığının artırılması imkanlarını müəyyənləşdirməkdir. Bu yanaşma ölkədə idarəetmə mədəniyyətinin təkmilləşməsinə xidmət edir. Müvafiq olaraq, ilk mərhələdə hər iki dövlətin bələdiyyə sisteminin konseptual əsasları nəzərdən keçirilir.
Açar sözlər: **Yerli idarəetmə, bələdiyyə, qanunvericilik**
Abstract: In the modern era, the study of local self-government models is of great importance in terms of socio-economic development and democratization. Based on the methodology of comparative analysis, the study examines the points of intersection and difference in the local governance structure of Azerbaijan and Turkey. The main goal is to interpret Turkey's progressive experience in this field and identify opportunities for optimizing local institutions and increasing citizen participation. This approach serves to improve the management culture in the country. Accordingly, at the first stage, the conceptual foundations of the municipal systems of both states are reviewed.
Key words: Local administration, municipality, legislation

Giriş

Yerli özünüidarəetmə, sakinlərin kollektiv mənafelərinin reallaşdırılmasında bilavasitə iştirakını təmin edən və dövlət idarəçiliyinin desentralizasiyasına xidmət edən fundamental demokratik təsisatdır. XXI əsr idarəetmə paradiqmasında bu institut şəffaflıq, kollegiallıq və vətəndaş nəzarəti prinsipləri əsasında səmərəli xidmət modelini formalaşdırır. Hüquqi çərçivəsi qanunvericiliklə tənzimlənən bələdiyyə strukturları, xüsusilə Avropa hüquq məkanında legitimliyini azad səsvermə və seçki yolu ilə qazanır. Bu qurumlar yerli səviyyədə qərar qəbuletmə prosesini optimallaşdırmaqla yanaşı, həm də demokratik dəyərlərin institusionallaşmasında həlledici rol oynayır.

Azərbaycanda yerli idarəetmə

Azərbaycanın yerli özünüidarəetmə ənənələri Azərbaycan Xalq Cümhuriyyəti dövründə beynəlxalq təcrübənin mənimsənilməsi ilə başlamış, dövlət müstəqilliyinin bərpasından sonra keyfiyyətcə yeni mərhələyə qədəm qoymuşdur. 1995-ci il Konstitusiyasının qəbulu bələdiyyə institutunun hüquqi legitimliyini təmin edərək, yerli idarəetmənin institusionallaşması üçün fundamental baza yaratmışdır. Müvafiq qanunvericilik islahatları nəticəsində 1999-cu il dekabrın 12-də keçirilən ilk bələdiyyə seçkiləri ölkənin dövlət quruculuğu tarixində desentralizasiya meyillərini gücləndirmişdir. Genişmiqyaslı təşkilati resursların cəlb edildiyi bu seçkilər vasitəsilə bələdiyyələrin faktiki fəaliyyətə başlaması, vətəndaş cəmiyyətinin inkişafı və yerli demokratiyanın təşəkkülü istiqamətində strateji addım kimi qiymətləndirilir.Bələdiyyələrin formalaşmasına təkan verən qanunlar aşağıdakılardır:

1. 2 iyul 1999-cu il- "Bələdiyyələrin statusu haqqında";
2. 2 iyul 1999-cu il- "Bələdiyyələrə seçkilərin qaydaları haqqında";
3. 15 oktyabr 1999-cu il-"Bələdiyyənin Nümunəvi Nizamnaməsinin təsdiq edilməsi haqqında";
4. 30 noyabr 1999-cu il-"Bələdiyyə qulluğu haqqında";
5. 30 noyabr 1999-cu il-"Yerli rəy sorğusu haqqında";
6. 7 dekabr 1999-cu il-"Bələdiyyə mülkiyyətinə əmlakın verilməsi haqqında";
7. 7 dekabr 1999-cu il-"Bələdiyyələrin əraziləri və torpaqları haqqında";

8. 7 dekabr 1999-cu il-"Bələdiyyələrin maliyyəsinin əsasları haqqında"; [1]

Demokratik idarəetmə siteminin bir qolu kimi bələdiyyələrin də fəaliyyətinin təşkilinin hüquqi əsasları Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyasında müəyyən edilmişdir. Belə ki, Konstitusiyamızın 142-ci maddəsinin I hissəsinə əsasən ölkəmizdə yerli özünüidarəni bələdiyyələr həyata keçirir.Bələdiyyələr yerli özünüidarəetmə orqanı olmaqla mahiyyət etibarı ilə yerli əhaliyə ən yaxın idarəetmə formasıdır. Bu baxımdan da, bələdiyyələrin işinin şəffaf təşkil edilməsi, yerli əhalinin onların fəaliyyəti ilə yaxından tanış olması üçün şəraitin yaradılması yerli özünüidarəetmənin mahiyyətindən irəli gələn ən vacib tələblərdir və buna əməl edilmədən yerli özünüidarəetməni təsəvvür etmək mümkün deyildir. Bələdiyyələrlə bağlı qəbul edilmiş qanunvericilik aktlarında bələdiyyələrin fəaliyyətində şəffaflığın təmin edilməsinə dair kifayət qədər tənzimləyici normalar müəyyən edilmişdir. Bu normalar istər bələdiyyələrin özünə, istər dövlətə, istərsə də əhaliyə qarşı münasibətdə özünü göstərir.Bələdiyyə maliyyəsinin iqtisadi əsaslarını bələdiyyə əmlakı, bələdiyyə torpaqları, yerli büdcə və büdcədənkənar fondlar, bələdiyyənin istehsal, xidmət və digər iqtisadi fəaliyyəti təşkil edir.

Bələdiyyənin maliyyə vəsaitinin formalaşması və istifadəsi özünüidarəetmə, müstəqillik, aşkarlıq və yerli mənafenin respublika mənafeyi ilə uzlaşması prinsiplərinə əsaslanır.

Yerli büdcə bələdiyyə statusuna uyğun olaraq özünüidarəetmə prinsiplərini reallaşdırmaq, Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası və qanunları ilə müəyyənləşdirilmiş bələdiyyə səlahiyyətlərini həyata keçirmək üçün formalaşan və istifadə olunan maliyyə vəsaiti.Yerli büdcə bələdiyyə büdcəsi olub dövlət büdcəsinin tərkib hissəsi deyil.Büdcə ili yanvarın 1-də başlanır və dekabrın 31-də qurtarır.Yerli büdcənin müstəqilliyi öz mədaxil mənbələrinin olması və bələdiyyənin yerli büdcə vəsaiti barədə sərəncam vermək müstəsna hüququ ilə təmin edilir.Azərbaycan Respublikası qanunvericilik və icra hakimiyyəti orqanlarının bələdiyyələrin büdcə fəaliyyətinə müdaxiləsinə, Azərbaycan Respublikasının qanunlarında nəzərdə tutulmuş hallar istisna olmaqla yol verilmir.Bələdiyyə yerli büdcənin maliyyə ilinin sonuna əmələ gəlmiş sərbəst qalıqlarına müstəqil sərəncam verir.Bələdiyyə yerli büdcəni iqtisadi qanunların tələblərinə uyğun müstəqil olaraq tərtib, müzakirə, təsdiq, icra və onun icrasına nəzarət edir.Yerli büdcələrdə həmçinin yerli sosial müdafiə, sosial və iqtisadi inkişaf, habelə ekoloji proqramların maliyyələşdirilməsi üçün xərclər nəzərdə tutula bilər.

Bələdiyyələrin ərazisində qəbiristanlıqların salınması, saxlanılması, qorunması, idarə olunması, abadlaşdırılması və bələdiyyələrin ərazisində yaşayan əhalinin aztəminatlı təbəqəsindən olan mərhumların dəfn və yas mərasimlərinin təşkilinə yardım məqsədi ilə yerli büdcədə zəruri xərclər nəzərdə tutulur və təyinatı üzrə sərf edilir.

Yerli büdcənin xərc istiqamətləri müəyyən edilərkən əməkhaqlarına ayırmalar ümumi büdcənin əlli faizindən çox ola bilməz.

Türkiyədə yerli idarəetmə

Türkiyədə bələdiyyə institutunun genezisi XIX əsrin ortalarına, Osmanlı imperiyasındakı tənzimat islahatları dövrünə təsadüf edir. 1854-cü ildə təsis edilmiş "Şehremaneti" struktur etibarilə ilk yerli idarəetmə nümunəsi kimi şəhər təsərrüfatının idarə olunmasında mühüm rol oynamışdır. Cümhuriyyət dövründə bələdiyyələrin hüquqi statusu 1930-cu il tarixli 1580 saylı qanunla unifikasiya edilmiş, 2005-ci ildə qəbul olunmuş 5393 saylı "Bələdiyyə Qanunu" ilə müasir idarəçilik standartlarına uyğunlaşdırılmışdır. Beləliklə, Türkiyənin yerli özünüidarəetmə sistemi tarixi varislik və təkamül yolu ilə desentralizasiya prinsiplərinə əsaslanan institusional mexanizmə çevrilmişdir.Türkiyədə yerli özünüidarəetmə orqanları 3 kateqoriyaya bölünür. Onlarabələdiyyələr, (şəhər) xüsusi idarələri və ilcələr (kəndlər) aiddir. Şəhərlərdə vərayonlarda bələdiyyələrin yaradılması zəruri xarakter daşıyır. Şəhər xüsusi idarələri bütün şəhərlərdə, bələdiyyələrə aid olmayan onların yerinə yetirmədiyi funksiyalarıhəyata keçirir. [1]

Türkiyənin yerli özünüidarəetmə sistemi bələdiyyələrin statusuna görə iki əsas kateqoriyaya: Böyükşəhər və digər yerli bələdiyyələrə bölünür. 1984-cü ildə təsis edilən və 2004-cü ildə təkmilləşdirilən qanunvericiliyə əsasən, şəhərin "Böyükşəhər" statusu alması üçün əhalinin 750 mindən çox olması və iqtisadi inkişaf səviyyəsi əsas meyarlar hesab olunur.

Sistemin institusional strukturu üç fundamental orqandan ibarətdir:

- Bələdiyyə başçısı: İcraedici səlahiyyətlərə malikdir və bələdiyyəni təmsil edir.
- Bələdiyyə Məclisi: Strateji qərarlar qəbul edən ali qanunverici orqandır.
- Bələdiyyə Əncüməni: İnzibati nəzarət və icra funksiyalarını yerinə yetirir.

Bələdiyyə sədri ümumi səsvermə yolu ilə 5 il müddətinə seçilir və həm məclisə, həm də əncümənə sədrlik edir. Maliyyə baxımından Türkiyə bələdiyyələri geniş səlahiyyətlərə malikdir. Yerli xidmətlərin maliyyələşdirilməsi üçün 2464 saylı qanunla tənzimlənən vergilər, rüsumlar, dövlət yardımları və müxtəlif sənaye gəlirləri mühüm resurslar formalaşdırır. Büdcə xərcləri isə əsasən personal, sosial təhlükəsizlik, mal-xidmət alışı və transfer ödənişləri kimi istiqamətlərə yönəldilir. Bu mütərəqqi model yerli əhalinin artan tələbatını çevik şəkildə qarşılamaq üçün güclü maliyyə və inzibati muxtariyyət təmin edir. Türkiyə və Azərbaycan bələdiyyə idarəetməsində SWOT təhlil: Türkiyə və Azərbaycan bələdiyyə sistemi lokal və özünəməxsus inkişaf istiqamətləri ilə fərqləndirilir. Bu fərqləndirmələr fonunda hər birininin özünə aid güclü və zəif tərəfləri, imkanları yaxud potensial riskləri var.

Türkiyə Respublikası bələdiyyələrinin SWOT təhlili

1. Güclü tərəflər; Bələdiyyə sisteminin tarixi kökləri güclüdür;
- Bələdiyyələrin vəzifə və səlahiyyətlərinin praktik cəhətdən güclüdür ;
- Daxili maliyyə sistemində bələdiyyələr güclüdür;
- İnsanlar bələdiyyələrin çalışmasına ciddi maraq göstərir;
- Sonrakı mərhələdə bələdiyyələr siyasi sisteminin yenilənməsinə və təyin olunmasına önəmli təsir göstərir.

2. Zəif tərəflər;
- Bələdiyyələrin gördüyü iş nisbətində nəzəri azadlığı daha məhduddur;
- Praktiki olaraq daha çox çalışmalar irəli sürən bələdiyyələr bəzən icraedici orqanların işlərinə təsir göstərə bilir və nəticədə qarışıqlıq yarada bilir. (Türkiyənin Şərq bölgəsində bu hallar yaşanıb).

3. İmkanlar; Vətəndaşların bələdiyyələrə marağı kifayət qədər çoxdur. Bələdiyyə quruculuğunda və işlərinin təşkilində inkişaf etməyə cəhd edirlər.Gələcəyə yönəlik bu amildən daha ciddi isitifadə etmək olar; Bələdiyyələrin gördüyü işləri və qazandığı təcrübələri dünya praktikasında örnək göstərmək və yaxud daxili olaraq ölkədə ənənələşdirmək üçün akademik sistem, tədris və təqdimat etmək olar;
- Lokal problemləri, yerliözünü idarəetmədən irəli gələn məsələləri innovativ həll etməklə yanaşı müasir dünyada ortaya çıxan yenilikləri elmi texniki tərəqqini də bələdiyyələrin sürətli kontanktından istifadə etməklə daha tez lokal bölgələrdə yayqınlaşdırmaq olar. 4.Təhdidlər; Bələdiyyələrin praktiki fəallığının icraedici orqanlarla toqquşması daxili ziddiyətlər yarada bilər;
- Bələdiyyələrin müsbət inkişaf ənənəsi risk və böhranlarla üzləşə bilər buna görə alternatif ehtiyyat tədbirləri qurulmalıdır;
- Risklərə maliyyə, idarəetmə, iştirakçılığ yaxud fövqaladə halları aid etmək olar. [1]

Azərbaycan Respublikası Bələdiyyələrinin SWOT təhlili

1. Güclü tərəfləri;
- Müasir avropa konvensiyalarına uyğun geniş imkanların nəzəri verilməsi;
- Bu sahədə dünya təcrübəsinin istifadə olunması, normativlərə uyğun 5 ildən bir seçkilərin keçirilməsi.

2. Zəif tərəflər; Bələdiyyələrin maliyyə sisteminin zəif olması-özü özlərini ayaqda saxlaya bilməmələri həmçinin vergi və ödəniş toplamada yaşadıqları sıxıntılar;
- İnsanların bələdiyyələrin qurulmasında maraqlı olmamaları;
- Vəzifə və səhaliyyətlərinin xaotik olması və icra edə bilməmələri,məhdud imkanlarının olması; Ümumən ölkədə bələdiyyə sisteminin gənc olması, bu sahədə yetərli təcrübənin olmaması.

3. İmkanlar;

- Nəzəri olaraq kifayət qədər imkanlar tanınıb düzgün planlama qurularsa o imkanlardan istifadə edilə bilər; Həmçinin dünya təcrübəsi innovativ olaraq istifadə və tətbiq edilir ondanda həmçinin yararlanıla bilinir; Nəzəriyyənin praktikada uyğunlaşdırılması ən öndə gələn imkanlardan biridir.

4.Təhdidlər;
- İnsanların bələdiyyələrə maraqlı olmaması bələdiyyənin quruculuğunda yaxud işinin tətbiq olunmasında ciddi sorunlar və sıxıntılar gətirə bilir;
- Daxili maliyyə sistemlərini qura bilməmək ciddi maliyyə borcları və təhdidləri yarada bilər; [1]

Nəticə

Azərbaycan və Türkiyənin yerli idarəetmə sistemlərinin komparativ təhlili göstərir ki, bələdiyyə institutlarının funksional effektivliyi birbaşa onların maliyyə muxtariyyəti və inzibati səlahiyyətlərinin genişliyi ilə korrelyasiya təşkil edir. Türkiyənin mütərəqqi təcrübəsinin adaptasiyası çərçivəsində bələdiyyələrin büdcə formalaşdırma mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi və yerli qərarqəbuletmə prosesində səlahiyyətlərinin artırılması strateji prioritet hesab olunur. Bu məqsədlə institusional strukturların yenidən qurulması, türk mütəxəssislərlə təcrübə mübadiləsinin intensivləşdirilməsi və vətəndaş iştirakçılığının təşviqi zəruridir. Belə kompleks yanaşma, ölkəmizdə yerli özünüidarəetmənin şəffaflıq və sosial-iqtisadi səmərəlilik prinsipləri əsasında inkişafını təmin edərək demokratik idarəçilik mədəniyyətini institusionallaşdıracaqdır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. 1.Orucova S.,(2021). Türkiyədə və Azərbaycanda bələdiyyə idarəetməsinin müqayisəli təhlili.
2. 2.Zeynalov C.,(2019).Mərkəzi idarəetmə münasibətləri:Azərbaycan nümunəsi.
3. 3.Məhərrəmov F .,(2016).Almaniya və Türkiyənin yerli idarəetmə sistemlərinin müqayisəli təhlili.
4. 4.Osmanova X ., (2015).Yerli özünüidarəetmə institutlarının modelləri və Azərbaycanda tətbiqi .
5. 5.Şahin İ .,(2018).Türkiye'de belediye gelirlerinin değerlendirilmesi.
6. 6.Salmanlı F .,(2024).Yerli özünüidarəetmənin təməl prinsipləri və tarixi inkişaf mərhələləri.
7. 7.Mustafayeva N .,(2021).Azərbaycanda bələdiyyələrin müasir problemləri və onların həlli yolları.
8. 8.Nurməmmədli S .,(2017).Bələdiyyələşmənin müasir problemləri.

.

İŞĞALDAN AZAD OLUNMUŞ ƏRAZİLƏRDƏ TURİZMİN İNKİŞAFI ÜZRƏ DÖVLƏT STRATEGİYALARININ EFFEKTİVLİYİNİN TƏHLİLİ

Magistrant Kamran İsmayılov
Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti(UNEC)
Bakı, Azərbaycan
kamranismayilov1@gmail.com

Xülasə: Turizm sektorunun rəqabətqabiliyyətli inkişafı üçün infrastrukturun müasirləşdirilməsi və bu sahədə kompleks dövlət strategiyasının formalaşdırılması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Müasir tələblərə cavab verən nəqliyyat, kommunikasiya, xidmət və yerləşdirmə infrastrukturlarının genişləndirilməsi turizm axınının artırılmasına, regionların sosial-iqtisadi dirçəlişinə zəmin yaradır. Eyni zamanda işğaldan azad edilmiş ərazilərdə turizmin inkişafı Azərbaycanın milli prioritet istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir. Bu ərazilərin zəngin təbii, mədəni və tarixi potensialı innovativ turizm modellərinin tətbiqinə və yeni iqtisadi imkanların formalaşmasına şərait yaradır. Həm infrastrukturun bərpası, həm də müasir idarəetmə yanaşmalarının tətbiqi ilə Qarabağ və Şərqi Zəngəzur bölgələri yaxın illərdə ölkənin aparıcı turizm məkanlarından birinə çevrilə bilər. Turizmin iqtisadiyyatın aparıcı sahələrindən birinə çevrilməsi üçün ilk növbədə infrastrukturun təkmilləşdirilməsi, beynəlxalq standartlara uyğunlaşdırılması və dövlət səviyyəsində uzunmüddətli strategiyanın hazırlanması vacibdir. Bu strategiya təkcə mövcud infrastrukturun yenilənməsini deyil, həm də xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi, turizm bölgələri arasında əlaqəliliyin gücləndirilməsi və investisiya cəlbediciliyinin artırılmasını nəzərdə tutur. Turizm siyasətinin məqsədyönlü şəkildə qurulması ölkənin qlobal turizm bazarında rəqabət imkanlarını genişləndirir və daha çox turist axınına şərait yaradır.

Açar sözlər: **Turizm infrastrukturu, dövlət strategiyası, regional inkişaf, işğaldan azad edilmiş ərazilər, Qarabağ, innovativ turizm, iqtisadi potensial**

Abstract: The modernization of the infrastructure and the formation of a comprehensive state strategy in this area are of special importance for the competitive development of the tourist sector. The expansion of transport, communication, service and hotel infrastructure, which meets modern requirements, creates the basis for increasing tourist flows and social and economic revival of regions. At the same time, the development of tourism in liberated territories is one of the national priorities of Azerbaijan. The rich natural, cultural and historical potential of these territories creates conditions for the introduction of innovative tourism models and the formation of new economic opportunities. Thanks to the restoration of the infrastructure and the application of modern approaches to management, the Karabakh and Eastern Zangezur regions can become one of the leading tourist destinations in the country in the coming years. In order for tourism to become one of the leading branches of the economy, it is first of all important to improve the infrastructure, bring it in line with international standards and prepare a long-term strategy at the state level. This strategy assumes not only the renewal of the existing infrastructure, but also the improvement of the quality of services, the strengthening of connections between tourist regions and the increase of investment attractiveness. Purposeful development of tourism policy expands the country's competitive opportunities on the world tourist market and creates conditions for increasing tourist flows.
Key words: Tourist infrastructure, state strategy, regional development, liberated territories, Karabakh, innovative tourism, economic potential

Giriş

Müasir dövrdə turizm sektoru qlobal iqtisadiyyatın ən sürətlə inkişaf edən sahələrindən biri kimi ölkələrin sosial-iqtisadi tərəqqisində mühüm rol oynayır. Turizmin inkişafı yalnız turist axınının artması ilə məhdudlaşmır, həm də yeni iş yerlərinin yaradılması, regionların iqtisadi aktivliyinin yüksəldilməsi, mədəni irsin qorunması və beynəlxalq əlaqələrin genişlənməsi baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bu baxımdan turizm infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi və sistemli şəkildə inkişaf etdirilməsi dövlət siyasətinin əsas istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir.

Azərbaycan da zəngin təbii resursları, əlverişli coğrafi mövqeyi, çoxşaxəli mədəni irsi və müasir iqtisadi inkişaf strategiyası ilə turizm sahəsində böyük potensiala malikdir. Son illərdə dövlət tərəfindən həyata keçirilən islahatlar, xidmət sektorunun modernləşdirilməsi, rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi və beynəlxalq təcrübədən istifadə turizmin ölkə iqtisadiyyatında payının artmasına şərait yaratmışdır. Bununla yanaşı, işğaldan azad edilmiş Qarabağ və Şərqi Zəngəzur bölgələrinin bərpası və reinteqrasiyası turizmin yeni inkişaf mərhələsini formalaşdırır. Bu ərazilərin zəngin təbii-landşaft müxtəlifliyi, tarixi-mədəni abidələri və ekoloji təmiz mühiti innovativ turizm istiqamətlərinin yaradılmasına geniş imkanlar açır. Turizmin dayanıqlı inkişafı üçün kompleks və uzunmüddətli dövlət strategiyasının formalaşdırılması, infrastruktur layihələrinin genişləndirilməsi və regionların turizm potensialının səmərəli istifadəsi zəruri şərtlərdən biridir. Bu məqalədə turizm infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi ilə bağlı dövlət strategiyasının əsas istiqamətləri və işğaldan azad edilmiş ərazilərdə turizmin inkişaf perspektivləri elmi əsaslarla təhlil olunacaqdır [8].

Turizm sektorunda rəqabətqabiliyyətliliyin artırılması üçün infrastrukturun yüksək səviyyədə təşkili mühüm amildir. Nəqliyyat-kommunikasiya sistemlərinin genişləndirilməsi, yerləşdirmə obyektlərinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi, informasiya-məlumat təminatının təkmilləşdirilməsi və xidmət personalının peşəkarlığının artırılması turizmin dayanıqlı inkişafının əsas şərtləri hesab olunur. Bu baxımdan dövlətin həyata keçirdiyi kompleks tədbirlər həm mövcud turizm marşrutlarının modernləşdirilməsinə, həm də yeni turizm istiqamətlərinin formalaşmasına imkan yaradır.

Digər tərəfdən, işğaldan azad edilmiş ərazilərdə aparılan genişmiqyaslı yenidənqurma işləri turizmin inkişafı üçün fundamental baza yaradır. Bu regionlarda "ağıllı şəhər" və "ağıllı kənd" konsepsiyalarının tətbiqi, ekoloji təmiz nəqliyyat sistemlərinin qurulması, beynəlxalq standartlara cavab verən infrastruktur layihələrinin icrası müasir turizm modellərinin reallaşdırılmasına şərait yaradır. Regionun tarixi irsinin bərpa edilməsi, mədəniyyət nümunələrinin qorunması və ekoturizm potensialının üzə çıxarılması Azərbaycanın turizm xəritəsinin genişlənməsinə mühüm töhfə verir. Turizm sektorunun inkişafı istiqamətində formalaşdırılan dövlət siyasəti həm milli iqtisadiyyatın şaxələndirilməsini, həm də beynəlxalq turizm bazarında ölkənin mövqelərinin möhkəmləndirilməsini hədəfləyir. Bu məqalədə qeyd olunan istiqamətlər çərçivəsində turizm infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi, dövlət strategiyasının rolu və işğaldan azad edilmiş ərazilərin yeni turizm mərkəzləri kimi formalaşma perspektivləri geniş şəkildə araşdırılacaqdır.

METOD VƏ DƏYİŞƏNLƏR

1. TƏDQİQATIN METODU

Bu tədqiqatda turizm infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi və dövlət strategiyasının formalaşdırılması məsələləri kompleks və sistemli yanaşma əsasında araşdırılmışdır. Tədqiqat çərçivəsində bir neçə elmi metoddan istifadə edilmişdir.

İlk növbədə, müqayisəli təhlil metodu tətbiq edilmişdir. Bu metod vasitəsilə Azərbaycanın turizm infrastrukturunun inkişaf istiqamətləri beynəlxalq təcrübə ilə müqayisə edilmiş, oxşar və fərqli cəhətlər müəyyənləşdirilmişdir. Xüsusilə UNWTO, OECD və World Bank hesabatlarında yer alan yanaşmalar milli strategiya ilə paralel şəkildə təhlil olunmuşdur.

Bundan əlavə, statistik təhlil metodu əsasında Dövlət Turizm Agentliyi və digər rəsmi qurumların məlumatları analiz edilmiş, turizm axınının dinamikası, infrastruktur yatırımları və rəqəmsallaşma səviyyəsi qiymətləndirilmişdir.

Tədqiqatda həmçinin sənəd təhlili metodundan istifadə edilmişdir. Strateji Yol Xəritəsi, dövlət proqramları və normativ sənədlər araşdırılaraq turizm siyasətinin əsas istiqamətləri müəyyən edilmişdir.
Araşdırma zamanı sistemli yanaşma tətbiq edilmiş və turizm infrastrukturu iqtisadi, institusional və sosial komponentlərin qarşılıqlı əlaqəsi kontekstində qiymətləndirilmişdir. Bu yanaşma turizmin yalnız fiziki obyektlərdən ibarət olmadığını, eyni zamanda idarəetmə, investisiya və insan kapitalı faktorlarını da əhatə etdiyini göstərir.

2. TƏDQİQATIN DƏYİŞƏNLƏRİ

Tədqiqat çərçivəsində turizm infrastrukturunun inkişafına təsir edən əsas dəyişənlər müəyyən edilmiş və onların qarşılıqlı əlaqəsi təhlil edilmişdir.
Müstəqil dəyişənlər aşağıdakılardır:

- Nəqliyyat infrastrukturunun inkişaf səviyyəsi
- Yerləşdirmə obyektlərinin sayı və keyfiyyəti
- Rəqəmsallaşma səviyyəsi
- Dövlət investisiyalarının həcmi
- İşğaldan azad edilmiş ərazilərdə həyata keçirilən bərpa və yenidənqurma layihələri
- Bu dəyişənlər turizm sektoruna birbaşa təsir göstərən amillər kimi qiymətləndirilmişdir.
- Asılı dəyişənlər isə aşağıdakılardır:
- Turist axınının həcmi
- Turizm gəlirlərinin artım tempi
- Regional məşğulluq səviyyəsi
- Turist məmnuniyyəti göstəriciləri
- Beynəlxalq turizm rəqabət qabiliyyəti

Bu göstəricilər turizm infrastrukturunun inkişaf səviyyəsinin nəticə indikatorları kimi qəbul edilmişdir.

Bundan əlavə, tədqiqat zamanı nəticələrə təsir göstərə bilən nəzarət dəyişənləri də nəzərə alınmışdır. Bunlara qlobal iqtisadi şərait, regional təhlükəsizlik amilləri və mövsümlük faktoru daxildir.

TƏHLİL

Turizm infrastrukturunun inkişafı ölkənin iqtisadi və sosial potensialını gücləndirən əsas istiqamətlərdən biri kimi qiymətləndirilir. İnfrastruktur elementləri — yollar, nəqliyyat vasitələri, yerləşdirmə obyektləri, informasiya sistemləri və xidmət sahələri — turizm axınının həcmini və keyfiyyətini birbaşa müəyyən edən əsas komponentlərdir. Azərbaycanın turizm strategiyasının təhlili göstərir ki, son illərdə bu sahədə modernləşmə prosesləri intensivləşmiş, xüsusilə regional turizm mərkəzlərinin yaradılması istiqamətində sistemli addımlar atılmışdır.
İnfrastrukturun təkmilləşdirilməsi yalnız fiziki obyektlərin yenilənməsi ilə məhdudlaşmır; burada idarəetmə mexanizmlərinin optimallaşdırılması, rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi və innovativ turizm modellərinin inkişafı xüsusi rol oynayır. Rəqəmsal platformaların tətbiqi turistlərin məlumat əldə etməsini sürətləndirmiş, rezervasiya, marşrut planlaşdırılması və xidmətlərə çıxış kimi prosesləri daha səmərəli etmişdir. Bununla yanaşı, dövlət və özəl sektor arasında əməkdaşlıq mexanizmlərinin gücləndirilməsi turizm sahəsinə investisiyaların həcmini artırmışdır. İşğaldan azad edilmiş ərazilərin turizm potensialına nəzər saldıqda, burada həm iqtisadi, həm də mədəni dəyəri yüksək olan çoxsaylı obyektlərin mövcudluğu

aydın görünür. Bu ərazilərdə aparılan bərpa və yenidənqurma işləri göstərir ki, Qarabağ və Şərqi Zəngəzur regionları yaxın perspektivdə Azərbaycanın əsas turizm mərkəzlərindən birinə çevrilə bilər. Ancaq burada infrastruktur quruculuğu ilə yanaşı, təhlükəsizlik tədbirləri, minalardan təmizlənmə və ekoloji balansın qorunması kimi mühüm məsələlər də nəzərə alınmalıdır. Təhlil göstərir ki, dövlət strategiyasının əsas məqsədi turizm sektorunun dayanıqlı inkişafını təmin etmək, iqtisadiyyatın şaxələndirilməsi prosesini sürətləndirmək və ölkənin beynəlxalq turizm bazarındakı mövqelərini möhkəmləndirməkdir. Bunun üçün isə həm fiziki, həm institusional, həm də sosial infrastrukturun paralel şəkildə inkişafı tələb olunur.

Cədvəl 1. Turizm infrastrukturu və dövlət strategiyasının əsas istiqamətləri

Sahə	Mövcud Vəziyyət	Görülən İşlər / Dövlət Strategiyası	Gözlənilən Nəticələr
Nəqliyyat infrastrukturu	Regionlararası əlaqə bərabər inkişaf etməmişdir	Yeni yollar, hava limanları, dəmir yolu xətləri (Xudafərin, Füzuli aeroportunun açılması və s.)	Turist axınının artması, bölgələr arasında əlçatanlığın yüksəlməsi
Yerləşdirmə obyektləri	Bəzi bölgələrdə otel və mehmanxana sayı kifayət qədər deyil	Özəl investisiyaların cəlbi, beynəlxalq otel brendlərinin ölkəyə gətirilməsi	Xidmət keyfiyyətinin artması, beynəlxalq standartlara uyğun turizm
Rəqəmsal xidmətlər	Məlumat və rezervasiya platformaları məhdud inkişaf edib	"Smart tourism" platformaları, rəqəmsal bələdçi sistemlərinin yaradılması	Turist məmnuniyyəti və rahatlıq səviyyəsinin yüksəlməsi
Tarixi və mədəni irs	Bir çox abidələr bərpaya ehtiyac duyur	Qarabağ və digər bölgələrdə bərpa layihələri, mədəni irsin qorunması	Mədəni turizmin inkişafı və beynəlxalq marağın artması
Ekoturizm və təbiət obyektləri	Bəzi bölgələrdə infrastruktur zəifdir	Milli parkların abadlaşdırılması, ekoloji marşrutların yaradılması	Dayanıqlı turizm modellərinin təşviqi
İşğaldan azad edilmiş ərazilər	İnfrastruktur dağıdılmış vəziyyətdədir	"Ağıllı şəhər/kənd", yol, elektrik, su, rabitə layihələri; təhlükəsizlik tədbirləri	Qarabağın yeni turizm mərkəzinə çevrilməsi, iqtisadi dirçəliş
İnvestisiyalar	Turizmə yatırımlar qeyri-bərabərdir	Dövlət-özəl sektor əməkdaşlığı, vergi və hüquqi stimullar	İnfrastrukturun sürətli inkişafı və yeni iş yerləri
Turizm idarəetməsi	Strateji koordinasiya tam yetərli deyil	Milli Turizm Strategiyasının hazırlanması, regional idarəetmə mərkəzlərinin yaradılması	Səmərəli və sistemli turizm siyasəti

Mənbə: [8]

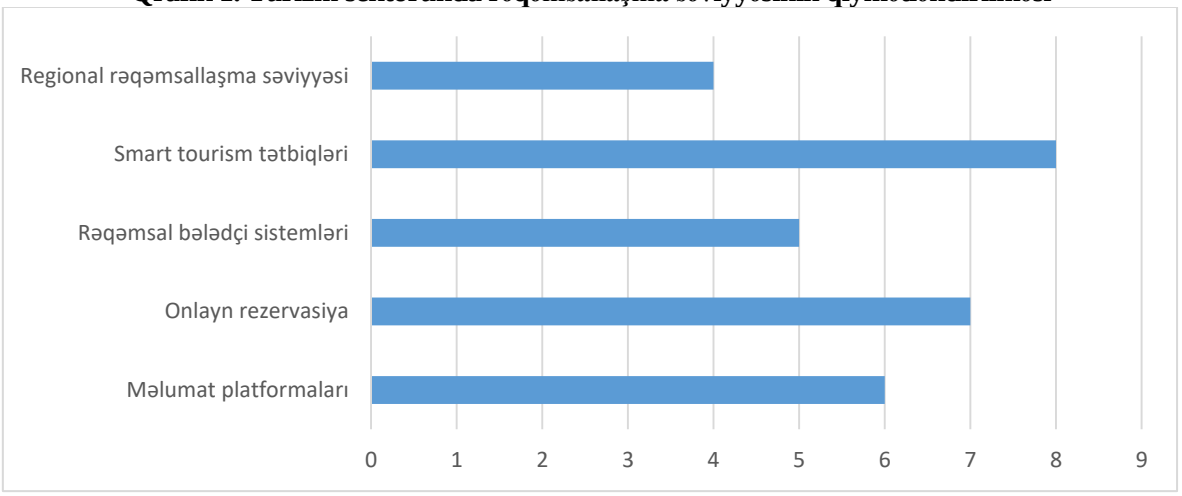
Cədvəl 1-də turizm infrastrukturunun mövcud vəziyyətini, dövlət tərəfindən həyata keçirilən inkişaf tədbirlərini və bu tədbirlərin nəticə etibarilə ölkə turizminə verəcəyi töhfələri sistemli şəkildə göstərir. Cədvəldə yer alan hər bir istiqamət turizm sahəsinin əsas komponentlərini əhatə edir və onların hər biri ümumi turizm siyasətinin formalaşmasında mühüm rol oynayır.

Cədvəl göstərir ki, əvvəlki dövrlərdə regionlararası nəqliyyat əlaqələri bərabər inkişaf etməmişdir. Lakin dövlət tərəfindən yeni yolların, hava limanlarının və dəmir yolu xətlərinin inşası bu çatışmazlığı aradan qaldırmağa yönəlib. Bu tədbirlərin məqsədi turistlərin ölkənin müxtəlif bölgələrinə rahat və təhlükəsiz şəkildə səfər etməsini təmin etməkdir. Gözlənilən nəticə isə turizm marşrutlarının genişlənməsi və turist axınının artmasıdır. Bəzi bölgələrdə otel və mehmanxana potensialı məhdud olduğundan turizm xidmətlərinin keyfiyyəti tam təmin olunmurdu. Dövlət strategiyası çərçivəsində özəl investisiyaların təşviqi və beynəlxalq otel brendlərinin ölkəyə cəlb edilməsi xidmət standartlarının yüksəlməsinə xidmət edir. Bunun nəticəsi olaraq turistlərin rahatlığı artır və ölkənin turizm imici möhkəmlənir. Rəqəmsallaşma turizm sektorunun modernləşdirilməsi üçün əsas istiqamətlərdən biridir. Cədvəldə göstərildiyi kimi, fəaliyyət göstərən rəqəmsal platformaların genişləndirilməsi, elektron bələdçi sistemlərinin yaradılması turistlərin məlumat əldə etməsini və rezervasiya proseslərini asanlaşdırır. Bu, turizm xidmətlərinin

əlçatanlığını yüksəldir və sektorun innovativ inkişafına təkan verir. Azərbaycanın mədəni irsi zəngin olmasına baxmayaraq, bərpa tələb edən çoxsaylı abidələr mövcuddur. Dövlət tərəfindən həyata keçirilən bərpa və konservasiya tədbirləri mədəni turizmin inkişafına xidmət edir. Bu işlər həm ölkənin tarixi kimliyinin qorunmasına, həm də turizm marşrutlarının zənginləşməsinə imkan yaradır. Cədvəldə qeyd olunur ki, bəzi təbii ərazilərdə turizm infrastrukturu zəif inkişaf edib. Dövlət tərəfindən aparılan abadlaşdırma işləri və ekoloji yönümlü marşrutların yaradılması ekoturizmin inkişafına şərait yaradır. Bu istiqamət dayanıqlı turizm konsepsiyasının əsas tərkib hissəsidir [8].

Bu regionlarda infrastruktur tamamilə dağıdıldığından bərpa işləri sıfırdan aparılır. Yol, su, elektrik, kommunikasiya və təhlükəsizlik infrastrukturunun qurulması ilə yanaşı "ağıllı şəhər" və "ağıllı kənd" layihələrinin icrası da diqqət mərkəzindədir. Bu tədbirlər Qarabağ və Şərqi Zəngəzurun yaxın gələcəkdə turizm mərkəzinə çevrilməsinə imkan verəcək. Cədvəl göstərir ki, turizm sahəsinə yatırılan investisiyalar əvvəlki illərdə qeyri-bərabər olmuşdur. Hazırda tətbiq olunan vergi güzəştləri, investisiya təşviqi mexanizmləri və dövlət-özəl tərəfdaşlığı turizmin sürətli inkişafını təmin edir. Bu sahəyə yönələn sərmayələr yeni iş yerləri yaradır və regional iqtisadi artımı gücləndirir. Turizmin səmərəli idarə olunması üçün strateji koordinasiyanın gücləndirilməsi vacibdir. Dövlətin yeni turizm strategiyası və regional turizm idarəetmə mərkəzlərinin yaradılması sektorda daha sistemli və məqsədyönlü fəaliyyətə imkan yaradır. Bu da nəticə etibarilə turizm siyasətinin daha səmərəli həyata keçirilməsinə şərait yaradır. Cədvəlin izahından görünür ki, dövlət strategiyası turizmin bütün əsas komponentlərini əhatə edir və bu tədbirlər ölkənin turizm potensialını gücləndirməyə yönəlib. İnfrastrukturun modernləşdirilməsi, innovativ texnologiyaların tətbiqi, investisiya axınının artması və mədəni irsin bərpası Azərbaycanda turizmin dayanıqlı inkişafını təmin edən əsas faktorlardır.

Qrafik 1. Turizm sektorunda rəqəmsallaşma səviyyəsinin qiymətləndirilməsi



Mənbə: [8].

"Turizm sektorunda rəqəmsallaşma dərəcəsi" qrafiki turizm sahəsinin müxtəlif rəqəmsal komponentlər üzrə inkişaf səviyyəsinin müqayisəli qiymətləndirilməsini əks etdirir. Qrafikdən göründüyü kimi, ən yüksək göstərici **smart tourism tətbiqlərinə** aiddir (8 bal). Bu, son illərdə ölkədə rəqəmsal turizm xidmətlərinin genişləndirilməsi, mobil tətbiqlərin, elektron bələdçi sistemlərinin və inteqrasiya olunmuş smart platformaların yaradılması ilə bağlı görülən işlərin intensivliyini göstərir. **Onlayn rezervasiya sistemləri** (7 bal) də kifayət qədər inkişaf etmiş sahələrdən biridir. Otellərin, nəqliyyat xidmətlərinin və tur paketlərinin onlayn sifarişi üzrə platformaların artması turistlərin rahatlığını yüksəltmiş və xidmətlərə çıxışı asanlaşdırmışdır.

Məlumat platformalarının (6 bal) inkişaf səviyyəsi orta göstəriciyə malikdir. Rəqəmsal informasiya portalları artıq fəaliyyət göstərsə də, onların daha funksional, çoxdilli və inteqrasiya olunmuş formada qurulmasına ehtiyac qalmaqdadır.

Rəqəmsal bələdçi sistemləri 5 bal ilə qiymətləndirilmişdir ki, bu sahədə potensialın böyük olmasına baxmayaraq tətbiq genişliyinin hələ tam təmin olunmadığını göstərir. İnteraktiv xəritələr, audio-bələdçi sistemləri və AR/VR texnologiyalarının tətbiqi bu istiqamətin daha da gücləndirilməsinə şərait yarada bilər. Ən aşağı göstərici **regional rəqəmsallaşma səviyyəsində** (4 bal) müşahidə olunur. Bu vəziyyət regionlar

arasında rəqəmsal infrastrukturun bərabər inkişaf etmədiyini, xüsusilə informasiya texnologiyalarının tətbiqi, internet əlçatanlığı və rəqəmsal xidmətlərin genişliyi baxımından bəzi bölgələrdə geri qalmanın mövcud olduğunu təsdiq edir. İşğaldan azad edilmiş Qarabağ və Şərqi Zəngəzur bölgələrində aparılan yenidənqurma işləri bu fərqin aradan qaldırılmasına imkan versə də, bu sahədə hələ genişmiqyaslı layihələrə ehtiyac vardır. Qrafik göstərir ki, turizm sektorunun rəqəmsallaşması istiqamətində mühüm irəliləyişlər əldə edilmişdir, lakin rəqəmsal xidmətlərin ölkə üzrə bərabər yayılması və innovativ texnologiyaların daha geniş tətbiqi qarşıdakı dövrdə əsas vəzifələrdən biri olaraq qalır. Rəqəmsal transformasiyanın gücləndirilməsi turist məmnuniyyətinin artmasına, xidmət keyfiyyətinin yüksəlməsinə və Azərbaycanın rəqabətqabiliyyətli turizm məkanına çevrilməsinə birbaşa töhfə verir.

İLKİN NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

Aparılmış təhlil nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, turizm infrastrukturuna yönəldilən dövlət investisiyaları ilə turist axınının artımı arasında müsbət və birbaşa əlaqə mövcuddur. Xüsusilə nəqliyyat infrastrukturunun genişləndirilməsi, yeni hava limanlarının və avtomobil yollarının istifadəyə verilməsi regionlararası əlçatanlığı artırmış və turizm marşrutlarının coğrafiyasını genişləndirmişdir. Bu nəticə UNWTO-nun turizm inkişafına dair hesabatlarında qeyd olunan "infrastruktur–rəqabətqabiliyyət əlaqəsi" tezisi ilə uyğunluq təşkil edir.

Tədqiqat göstərir ki, yerləşdirmə obyektlərinin sayının artması və beynəlxalq otel brendlərinin ölkəyə cəlb olunması xidmət keyfiyyətinin yüksəlməsinə səbəb olmuşdur. OECD (2020) tərəfindən aparılan araşdırmalarda da turizm sektorunda xidmət standartlarının yüksəldilməsinin turist məmnuniyyətinə və təkrar səfərlərə müsbət təsir göstərdiyi vurğulanır. Bu baxımdan Azərbaycanın tətbiq etdiyi investisiya təşviqi mexanizmləri beynəlxalq təcrübə ilə paralellik təşkil edir.

Rəqəmsallaşma səviyyəsinin qiymətləndirilməsi göstərir ki, smart tourism tətbiqləri və onlayn rezervasiya sistemləri inkişaf mərhələsindədir, lakin regional rəqəmsal bərabərsizlik hələ də qalmaqdadır. Bu nəticə World Bank tərəfindən qeyd edilən "digital gap" problemini təsdiqləyir və xüsusilə regionlarda informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının daha geniş tətbiqinə ehtiyac olduğunu göstərir.

İşğaldan azad edilmiş Qarabağ və Şərqi Zəngəzur bölgələrinin turizm potensialı ilə bağlı ilkin nəticələr göstərir ki, infrastrukturun sıfırdan qurulması müasir və innovativ turizm modelinin tətbiqi üçün unikal imkan yaradır. Hacıyev (2022) post-münaqişə regionlarında ilkin mərhələdə təhlükəsizlik və infrastrukturun prioritet təşkil etdiyini qeyd etmişdir. Tədqiqatın nəticələri də göstərir ki, yol, enerji, su və rabitə sistemlərinin qurulması turizmin gələcək inkişafı üçün baza rolunu oynayır.

Bununla yanaşı, müəyyən edilmişdir ki, yalnız fiziki infrastrukturun inkişafı kifayət deyil. Turizmin dayanıqlı inkişafı üçün insan kapitalının formalaşdırılması, xidmət personalının peşə hazırlığı və institusional idarəetmənin gücləndirilməsi paralel şəkildə həyata keçirilməlidir. Bu nəticə beynəlxalq ədəbiyyatda qeyd edilən kompleks inkişaf modeli ilə uyğunluq təşkil edir.

Beləliklə, aparılan təhlil göstərir ki, Azərbaycanın turizm strategiyası əsasən beynəlxalq trendlərlə uyğun inkişaf edir. Lakin regional rəqəmsallaşma səviyyəsinin yüksəldilməsi, xidmət keyfiyyətinin daha da standartlaşdırılması və turizm məhsulunun diversifikasiyası gələcək mərhələdə prioritet istiqamətlər kimi çıxış etməlidir. İlkin nəticələr sübut edir ki, dövlət strategiyasının sistemli və uzunmüddətli tətbiqi turizmin ölkə iqtisadiyyatında payının artmasına və beynəlxalq rəqabət mövqeyinin güclənməsinə real zəmin yaradır.

Nəticə

Aparılan təhlillər göstərir ki, turizm infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi və bu sahədə məqsədyönlü dövlət strategiyasının formalaşdırılması ölkənin sosial-iqtisadi inkişafında mühüm rol oynayır. İnfrastrukturun müasirləşdirilməsi, nəqliyyat əlaqələrinin genişləndirilməsi, yerləşdirmə və xidmət obyektlərinin beynəlxalq standartlara uyğun yenidən qurulması turizm sektorunun rəqabət qabiliyyətini artıran əsas amillərdəndir. Bununla yanaşı, rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi, innovativ turizm modellərinin inkişafı və dövlət-özəl sektor əməkdaşlığının gücləndirilməsi turizmin daha dinamik və dayanıqlı inkişafına şərait yaradır.

İşğaldan azad edilmiş Qarabağ və Şərqi Zəngəzur bölgələrinin bərpası isə ölkənin turizm xəritəsində tamamilə yeni mərhələ açır. Bu ərazilərdə həyata keçirilən genişmiqyaslı infrastruktur layihələri, təhlükəsizlik tədbirləri, mədəni irsin qorunması və ekoturizm potensialının reallaşdırılması gələcəkdə regionun aparıcı turizm mərkəzinə çevrilməsinə imkan verəcək. Bu proses həm iqtisadi artımı sürətləndirir, həm də regionların sosial dirçəlişini təmin edir. Turizm sektoruna dair dövlət strategiyası infrastruktur,

idarəetmə, rəqəmsallaşma, təhlükəsizlik və investisiya kimi əsas komponentləri özündə birləşdirir və uzunmüddətli perspektivdə ölkənin iqtisadiyyatının şaxələndirilməsinə mühüm töhfə verir. Gözlənilən nəticə ondan ibarətdir ki, həyata keçirilən tədbirlər Azərbaycanın beynəlxalq turizm bazarında mövqeyini möhkəmləndirəcək, turist axınını artıracaq və ölkənin dayanıqlı inkişaf hədəflərinə xidmət edəcəkdir.
Turizmin inkişaf etdirilməsi təkcə iqtisadi səmərəlilik baxımından deyil, həm də ölkənin beynəlxalq imicinin gücləndirilməsi, mədəniyyətlərarası əlaqələrin genişlənməsi və regional bərabərliyin təmin olunması baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Dövlət strategiyasının əsas məqsədləri sırasında turizm sektorunun idarəetmə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi, insan kapitalının inkişafı, təlim və peşə hazırlığı proqramlarının gücləndirilməsi kimi istiqamətlər də xüsusi yer tutur. Bu tədbirlər turizm xidmətlərinin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə və sektorun daha peşəkar əsaslarla fəaliyyət göstərməsinə imkan yaradır. Regional turizmin inkişafı ölkənin daxili turizm bazarının genişlənməsinə, yerli icmaların sosial rifahının yaxşılaşmasına və yeni biznes imkanlarının yaranmasına təkan verir. Xüsusilə kənd turizmi, sağlamlıq turizmi və ekoturizm kimi istiqamətlər həm yerli əhalinin məşğulluğunu artırır, həm də regionların iqtisadiyyatına yeni dinamika gətirir. Dövlət proqramlarında bu sahələrə xüsusi önəm verilməsi onların gələcək inkişaf perspektivlərini daha da gücləndirir.
İşğaldan azad edilmiş ərazilərdə aparılan genişmiqyaslı bərpa və yenidənqurma işləri göstərir ki, Qarabağ regionu həm mədəni, həm də təbii turizm baxımından ölkənin ən perspektivli məkanlarından birinə çevriləcəkdir. Bu ərazilərdə tətbiq edilən ağıllı infrastruktur həlləri, ekoloji yanaşmalar və müasir şəhər planlaşdırılması konsepsiyaları regionu yüksək standartlara cavab verən turizm destinasiya mərkəzinə çevirəcəkdir. Bu, Azərbaycanın turizm xəritəsində tamamilə yeni imkanların formalaşmasına səbəb olacaq. Turizm infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi və strateji yanaşma əsasında inkişaf etdirilməsi uzunmüddətli dövrdə ölkənin iqtisadi sabitliyinə, dünya turizm bazarına inteqrasiyasına və dayanıqlı sosial inkişafına mühüm töhfə verəcək. Dövlətin həyata keçirdiyi tədbirlər və beynəlxalq təcrübəyə əsaslanan yeni modellərin tətbiqi Azərbaycanın turizm sektorunu daha rəqabətədavamlı, innovativ və səmərəli bir sahəyə çevirəcəkdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Azərbaycan Respublikasında turizmin inkişafına dair Strateji Yol Xəritəsi (2022–2026). Bakı: Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Administrasiyası, 2022.
2. Azərbaycan Respublikası Dövlət Turizm Agentliyi. (2019–2024). İllik hesabatlar. Bakı.
3. Azərbaycan Respublikası İqtisadiyyat Nazirliyi. (2020–2024). Regional İnkişaf Analitik Hesabatları. Bakı. [economy.gov.az]
4. Qarabağ və Şərqi Zəngəzur bölgələrinin yenidən qurulması haqqında Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Fərmanları və Dövlət Proqramları (2020–2024). Bakı.
5. Dövlət Avtomobil Yolları Agentliyi (2021–2024). İnfrastruktur layihələrinin icmal hesabatları. Bakı. [ady.gov.az]
6. Məmmədov, Q. (2021). *Azərbaycanın turizm potensialı və regional inkişaf strategiyası*. Bakı: Elm və Təhsil.
7. Abadov, M. (2014). *Azərbaycan turizmi və onun inkişaf problemləri.* Şərq-Qərb nəşriyyat
8. Hacıyev, S. (2022). "Post-münaqişə dövründə Qarabağın bərpası və turizm perspektivləri". *Elmi araşdırmalar jurnalı*, №3.
9. *Rəqəmsal turizmin inkişaf tendensiyaları*. Bakı Dövlət Universiteti nəşri.
10. AZƏRTAC – Azərbaycan Dövlət İnformasiya Agentliyi. (2020–2024). Turizm və infrastruktur haqqında rəsmi xəbərlər. [azertag.az]
11. Report İnformasiya Agentliyi. (2021–2024). Turizm və iqtisadiyyat xəbərləri. [report.az]
12. Trend İnformasiya Agentliyi. (2021–2024). Regional inkişaf və turizm xəbərləri. [trend.az]
13. UNWTO — World Tourism Organization. (2018–2024). *Tourism Development Reports*.
14. World Bank. (2019–2024). *Azerbaijan Infrastructure and Economic Outlook*. Washington.
15. OECD. (2020). *Tourism Trends and Policies*. Paris: OECD Publications.

İCRA HAKIMIYYƏTİ ORQANLARINDA DAXİLİ VƏ XARİCİ NƏZARƏT FORMALARI

Ramin Bayramov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
rbayramov4@std.beu.edu.az

Xülasə: İcra hakimiyyəti orqanlarında nəzarət mexanizmləri dövlət idarəçiliyinin şəffaflığı, hesabatlılığı və səmərəliliyini təmin edən əsas vasitələrdən biridir. Bu nəzarət iki əsas formada həyata keçirilir: daxili nəzarət **və** xarici nəzarət**.** Daxili nəzarət – icra hakimiyyəti orqanlarının öz strukturunda, idarəetmə səviyyəsində həyata keçirilən nəzarət formasıdır. Onun məqsədi idarəetmə qərarlarının düzgün icrasını, büdcə və maliyyə intizamına riayət olunmasını, korrupsiya və sui-istifadə hallarının qarşısını almaqdır. Daxili nəzarətə əsasən audit xidmətləri, daxili yoxlamalar, müfəttişlik orqanları, struktur rəhbərlərinin hesabatları və intizam tənzimləmələri daxildir. Bu nəzarət forması profilaktik xarakter daşıyır və idarəetmədə səmərəliliyin artırılmasına yönəlir. Xarici nəzarət – icra hakimiyyətindən kənar, müstəqil və ya yuxarı səviyyəli orqanlar tərəfindən həyata keçirilən nəzarət formasıdır. Buraya parlament nəzarəti (Milli Məclisin fəaliyyətə nəzarəti), Prezident Administrasiyasının nəzarəti, Hesablama Palatasının audit fəaliyyəti, məhkəmə və prokurorluq orqanlarının qanunçuluğa nəzarəti, həmçinin ictimai və mediada baş verən ictimai nəzarət formaları daxildir. Xarici nəzarətin əsas məqsədi dövlət orqanlarının fəaliyyətində qanunçuluğun və şəffaflığın qorunması, vətəndaşların hüquq və azadlıqlarının təmin edilməsidir. Daxili və xarici nəzarət formaları bir-birini tamamlayır, idarəetmədə məsuliyyət, şəffaflıq və hesabatlılıq prinsipinin təmin olunmasına xidmət edir.

Açar sözlər: **İcra hakimiyyəti, dövlət idarəçiliyi, daxili nəzarət, xarici nəzarət, audit, hesabatlılıq, şəffaflıq, korrupsiyanın qarşısının alınması**

Giriş

İcra hakimiyyəti orqanlarında nəzarət sistemi dövlət idarəçiliyinin mühüm tərkib hissəsini təşkil edir və idarəetmənin səmərəliliyinin, şəffaflığının və qanunçuluğunun təmin edilməsində əsas vasitə rolunu oynayır. Müasir dövrdə dövlət strukturlarında qəbul edilən qərarların icrası, maliyyə və inzibati resursların düzgün idarə olunması üçün nəzarət mexanizmlərinin gücləndirilməsi zəruri şərtə çevrilmişdir. Bu baxımdan, icra hakimiyyəti orqanlarında tətbiq olunan daxili və xarici nəzarət formaları idarəetmənin keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir. Daxili nəzarət orqanın öz strukturunda həyata keçirilən nəzarət növü olub, əsasən fəaliyyətin qanunlara, qaydalara və qəbul edilmiş qərarlara uyğunluğunu təmin edir. Buraya daxili audit, maliyyə nəzarəti, inzibati yoxlamalar və hesabatlılıq mexanizmləri daxildir. Daxili nəzarət dövlət idarəçiliyində intizamı möhkəmləndirir, səmərəliliyi artırır və korrupsiya risklərini azaldır[1].

Xarici nəzarət – yəni parlament, Prezident Administrasiyası, Hesablama Palatası, məhkəmə və ictimai təşkilatlar tərəfindən həyata keçirilən nəzarət – icra orqanlarının fəaliyyətində şəffaflığı və hesabatlılığı təmin edir. Xarici nəzarət vətəndaşların maraqlarını qorumaqla yanaşı, dövlət orqanlarının fəaliyyətində demokratik prinsiplərin möhkəmlənməsinə də xidmət edir.

Beləliklə, icra hakimiyyəti orqanlarında daxili və xarici nəzarətin formalarının öyrənilməsi dövlət idarəçiliyində effektivliyin artırılması, maliyyə intizamının qorunması və ictimai etimadın gücləndirilməsi baxımından xüsusi elmi-praktik əhəmiyyət daşıyır[2].

Daxili nəzarət sistemləri dövlət orqanlarında idarəetmənin ayrılmaz hissəsidir və əsas məqsədi maliyyə resurslarının səmərəli istifadəsini, qanunvericiliyə riayət olunmasını və inzibati qərarların düzgün icrasını təmin etməkdir. Bu nəzarət forması idarəetmə orqanının daxilində aparıldığı üçün daha operativ və profilaktik xarakter daşıyır. Daxili audit, daxili yoxlamalar, hesabat sistemləri, risklərin qiymətləndirilməsi və fəaliyyətin qiymətləndirilməsi daxili nəzarətin əsas komponentləridir. Müasir idarəetmə yanaşmalarında daxili nəzarət yalnız səhvlərin aşkarlanması deyil, həm də onların qarşısının alınması, resursların optimallaşdırılması və idarəetmə qərarlarının keyfiyyətinin yüksəldilməsi funksiyasını yerinə yetirir. Xarici nəzarət formaları isə dövlət orqanlarının fəaliyyətinə kənar institusional və ictimai təsiri ifadə edir. Bu nəzarət forması əsasən Milli Məclis, Hesablama Palatası, Prezident Administrasiyası, məhkəmə və prokurorluq orqanları, eləcə də vətəndaş cəmiyyəti institutları tərəfindən həyata keçirilir. Xarici nəzarətin məqsədi dövlət hakimiyyətinin icra qolunun şəffaf fəaliyyətini təmin etmək, qanun pozuntularını aşkarlamaq və dövlət vəsaitlərinin məqsədəuyğun istifadəsini yoxlamaqdır. Bundan əlavə, ictimai və media nəzarəti də müasir dövrdə mühüm əhəmiyyət kəsb edir, çünki bu, vətəndaş iştirakçılığını və hesabatlı

idarəetmə mədəniyyətini gücləndirir. Daxili və xarici nəzarət mexanizmlərinin qarşılıqlı fəaliyyəti dövlət idarəçiliyində məsuliyyət, şəffaflıq və səmərəlilik prinsiplərinin təminə xidmət edir. Effektiv nəzarət sistemi olmadan idarəetmədə korrupsiya risklərinin artması, maliyyə intizamının pozulması və ictimai etimadın azalması kimi problemlər qaçılmaz olur. Buna görə də, müasir dövlət idarəçiliyi sistemində nəzarətin həm daxili, həm də xarici formalarının hüquqi və institusional əsaslarının təkmilləşdirilməsi strateji zərurət kimi qiymətləndirilir[3].

TƏDQİQAT METODU

İcra hakimiyyəti orqanlarında daxili və xarici nəzarət formalarının təhlili göstərir ki, bu iki mexanizm idarəetmənin həm struktur, həm də funksional dayanıqlığını təmin edən tamamlayıcı alətlərdir. Onların hər biri müxtəlif səviyyələrdə qərarların qəbuluna, icrasına və hesabatlılığa təsir göstərir, lakin məqsəd eynidir – dövlət orqanlarının fəaliyyətində qanunçuluğun, şəffaflığın və səmərəliliyin təmin edilməsi. Daxili nəzarətin təhlili göstərir ki, bu forma əsasən idarəetmənin öz daxilində aparılan audit və qiymətləndirmə mexanizmlərindən ibarətdir. Daxili audit sistemləri qərarların icra prosesində maliyyə intizamının qorunmasını, xərclərin məqsədəuyğunluğunu və risklərin azaldılmasını təmin edir. Bu növ nəzarət preventiv (profilaktik) xarakter daşıyır, yəni problemlərin sonradan deyil, yaranmadan əvvəl qarşısını almağa yönəlir. Eyni zamanda daxili nəzarət orqan rəhbərlərinə idarəetmə qərarlarını daha əsaslandırılmış şəkildə qəbul etməyə, resursların planlaşdırılmasını optimallaşdırmağa və fəaliyyət nəticələrini obyektiv qiymətləndirməyə imkan verir[4].

Xarici nəzarətin təhlili göstərir ki, bu nəzarət forması dövlətin icraedici strukturlarına kənardan — parlament, Prezident Administrasiyası, Hesablama Palatası, məhkəmə orqanları və ictimai təşkilatlar vasitəsilə — təsir göstərir. Xarici nəzarət sisteminin üstünlüyü onun müstəqil və obyektiv xarakter daşımasıdır. Belə nəzarət dövlət orqanlarının fəaliyyətini qiymətləndirərkən maraq toqquşmalarının qarşısını alır, ictimai etimadı artırır və hesabatlı idarəetmə mədəniyyətini formalaşdırır. Parlament və Hesablama Palatasının audit hesabatları, eləcə də məhkəmə və prokurorluğun hüquqi nəzarət funksiyaları dövlət aparatında şəffaflıq və məsuliyyət mühitinin yaranmasına səbəb olur. Müqayisəli təhlil göstərir ki, daxili nəzarət idarəetmədə operativlik və funksional səmərəlilik təmin etdiyi halda, xarici nəzarət daha çox obyektivlik və ictimai legitimlik aspektindən əhəmiyyət kəsb edir. Daxili nəzarət vasitəsilə orqan daxilində risklər erkən mərhələdə aşkarlanır, xarici nəzarət vasitəsilə isə bu fəaliyyətin nəticələri və qanunauyğunluğu qiymətləndirilir. Bu iki nəzarət forması bir-birini tamamladıqda dövlət idarəetməsində tam və balanslaşdırılmış nəzarət sistemi formalaşır.[6].

Ümumilikdə aparılan təhlil nəticəsində müəyyən edilir ki, icra hakimiyyəti orqanlarında nəzarət mexanizmlərinin effektivliyi onların hüquqi əsaslarının, institusional strukturunun və peşəkar kadr potensialının gücündən asılıdır. Əgər daxili nəzarət sistemləri müasir audit və idarəetmə texnologiyalarına əsaslanır, xarici nəzarət isə ictimai və siyasi şəffaflıq prinsiplərinə uyğun qurulursa, o zaman dövlət idarəçiliyində məsuliyyət, səmərəlilik və hesabatlılıq yüksək səviyyədə təmin olunur.

Sxem 1. İcra hakimiyyəti orqanlarında idarədaxili nəzarətin formaları, obyektləri və metodları



Mənbə: Danilenko, N. İ. (2020). *Ведомственный (внутренний) финансовый контроль и аудит: эффективный инструмент управления*. Магнитогорский государственный технический университет, Магнитогорск, Российская Федерация.

Sxem 1-ə əsasən idarədaxili nəzarətin əsas elementlərini – formalarını, obyektlərini və metodlarını sistemli şəkildə təsvir edir. Nəzarətin formaları idarəetmə prosesinin hansı mərhələsində həyata keçirildiyinə görə fərqlənir. İlkin nəzarət qərarların qəbulundan əvvəl aparılaraq risklərin və səhvlərin qarşısını almağa yönəlir. Cari nəzarət fəaliyyətin icrası zamanı baş verir və resursların düzgün istifadə olunmasına, tapşırıqların gedişatına nəzarət edir. Sonrakı nəzarət isə fəaliyyət tamamlandıqdan sonra aparılaraq nəticələrin qiymətləndirilməsi və nöqsanların aşkar edilməsi məqsədi daşıyır. Nəzarətin obyektləri əsasən ərazi icra hakimiyyəti orqanları və onların struktur bölmələridir. Bununla yanaşı, maliyyə-təsərrüfat əməliyyatları, idarəetmə qərarlarının icrası, büdcə vəsaitlərinin istifadəsi və kadr fəaliyyəti də nəzarətin obyektləri sırasına daxildir. Bu, icra hakimiyyəti sistemində fəaliyyətin həm üfüqi, həm də şaquli istiqamətdə qiymətləndirilməsinə imkan verir.

Nəzarət metodları isə onun həyata keçirilmə üsullarını əks etdirir. Sənədli nəzarət bütün hesabat və maliyyə sənədlərinin yoxlanılması ilə aparılır. Kameral nəzarət ofis daxilində sənədlər və hesabatlar əsasında həyata keçirilir. Seçmə nəzarət müəyyən nümunələr üzrə aparılan yoxlamadır və daha çevik xarakter daşıyır. Tematik nəzarət konkret sahə və ya fəaliyyət istiqamətinə yönəlir, kompleks nəzarət isə bütün idarəetmə sahələrini əhatə edir. Tam nəzarət forma və məzmun baxımından geniş miqyaslı olub, sistemin bütövlükdə səmərəliliyini qiymətləndirir. Sxemdə əks olunan struktur göstərir ki, idarədaxili nəzarət dövlət icra orqanlarında idarəetmənin keyfiyyətini yüksəltmək, maliyyə intizamını qorumaq və hesabatlılığı təmin etmək üçün çoxpilləli və qarşılıqlı əlaqəli bir mexanizmdir.

Cədvəl 1. İcra hakimiyyəti orqanlarında nəzarət formalarının ümumi təsnifatı

Nəzarət növü	Əsas məqsədi	Həyata keçirən orqanlar	Xarakteri	Nəticə və təsiri
Daxili nəzarət	İdarəetmədə səmərəliliyin artırılması, qanunçuluğun təmin edilməsi	İcra hakimiyyətinin struktur bölmələri, daxili audit xidmətləri	Profilaktik və operativ	Qərarların icrasına nəzarət, maliyyə intizamının qorunması
Xarici nəzarət	Şəffaflıq və hesabatlılığın təmin edilməsi, ictimai maraqların qorunması	Milli Məclis, Hesablama Palatası, Prezident Administrasiyası, məhkəmələr	Obyektiv və müstəqil	Qanun pozuntularının aşkarlanması, ictimai etimadın gücləndirilməsi

Mənbə: OECD. (2019). *Internal Control and Audit Systems in Public Administration.* OECD Publishing.

Cədvəl 1-ə əsasən icra hakimiyyəti orqanlarında tətbiq olunan nəzarət formalarının ümumi təsnifatı verilmişdir. Buradan göründüyü kimi, nəzarət iki əsas istiqamətdə – daxili və xarici formada həyata keçirilir. Daxili nəzarət orqanın öz strukturunda fəaliyyətin keyfiyyətini qiymətləndirmək, resursların səmərəli istifadəsini təmin etmək məqsədi daşıyır. Xarici nəzarət isə müstəqil və obyektiv xarakter daşıyaraq, dövlət orqanlarının fəaliyyətinə ictimai və institusional qiymət verir. Bu təsnifat göstərir ki, hər iki nəzarət forması dövlət idarəetməsində bir-birini tamamlayır və sistemli nəzarət mühiti yaradır.

Cədvəl 2. Daxili nəzarətin formaları və xüsusiyyətləri

Nəzarət forması	Mərhələ	Məqsəd və məzmun	Nəticə və fayda
İlkin nəzarət	Qərar qəbulundan əvvəl	Risklərin və potensial səhvlərin qarşısını almaq	Qərarların əsaslandırılması, səmərəliliyin artırılması
Cari nəzarət	Fəaliyyətin icrası zamanı	Resursların və tapşırıqların gedişatına nəzarət	Operativ problemlərin vaxtında həlli
Sonrakı nəzarət	Fəaliyyət başa çatdıqdan sonra	Nəticələrin qiymətləndirilməsi və səhvlərin aşkarlanması	Hesabatlılıq və məsuliyyətin artırılması

Mənbə: OECD. (2019). *Internal Control and Audit Systems in Public Administration.* OECD Publishing.

Cədvəl 2-yə əsasən daxili nəzarətin formaları – ilkin, cari və sonrakı nəzarət – mərhələlər üzrə göstərilmişdir. İlkin nəzarət qərarların qəbuluna qədər aparılaraq mümkün səhvlərin qarşısını almağa yönəlir. Cari nəzarət idarəetmə prosesinin icrası zamanı həyata keçirilir və operativ düzəlişlərə imkan

yaradır. Sonrakı nəzarət isə proses başa çatdıqdan sonra nəticələrin qiymətləndirilməsinə xidmət edir. Cədvəl göstərir ki, daxili nəzarət təkcə yoxlama funksiyası daşımır, həm də idarəetmə qərarlarının keyfiyyətini və hesabatlılığını artıran davamlı prosesdir.

Cədvəl 3. Daxili nəzarətin metodları

Metod	Təsviri	Tətbiq sahəsi	Üstünlükləri
Sənədli nəzarət	Maliyyə və inzibati sənədlərin yoxlanılması	Büdcə, xərclər, müqavilələr	Hüquqi əsaslı, dəqiq məlumat verir
Kameral nəzarət	Ofisdaxili hesabatların masaüstü yoxlanması	Audit, maliyyə uçotu	Vaxta qənaət, sistemli analiz
Seçmə nəzarət	Nümunəvi sənədlər və fəaliyyətlərin yoxlanması	Kadr, satınalma, müqavilə sahələri	Operativ və çevik nəzarət imkanı
Tematik nəzarət	Müəyyən sahə və ya problem üzrə yoxlama	Sektor və ya layihə səviyyəsi	Dərin və məqsədli təhlil aparır
Kompleks nəzarət	Bütün fəaliyyət sahələrinin birgə təhlili	Ümumi idarəetmə və audit	Sistemin bütövlükdə səmərəliliyini qiymətləndirir
Tam nəzarət	İdarənin bütün fəaliyyətinə əhatəli baxış	Dövlət audit və hesabat mərhələsi	Ən yüksək obyektivlik və tamlıq təmin olunur

Mənbə: OECD. (2019). *Internal Control and Audit Systems in Public Administration.* OECD Publishing.

Cədvəl 3-ə əsasən daxili nəzarətin metodlarını sistemləşdirir. Sənədli nəzarət əsasən rəsmi hesabatların və maliyyə sənədlərinin yoxlanması yolu ilə aparılır. Kameral nəzarət sənədlər üzərində ofisdaxili qiymətləndirmə üsuludur. Seçmə nəzarət nümunə əsaslı yoxlamalarla çeviklik yaradır, tematik nəzarət isə konkret fəaliyyət istiqamətləri üzrə dərin təhlilə imkan verir. Kompleks və tam nəzarət metodları isə idarənin bütün fəaliyyətini əhatə etməklə sistemli qiymətləndirmə yaradır. Bu cədvəl daxili nəzarətin çoxsəviyyəli və adaptiv xarakter daşıdığını göstərir.

Cədvəl 4. Xarici nəzarətin əsas istiqamətləri

Nəzarət orqanı	Nəzarətin tipi	Funksiyası	Nəticəsi və əhəmiyyəti
Milli Məclis	Parlament nəzarəti	Dövlət proqramlarının və büdcənin icrasına nəzarət	İcra hakimiyyətinin fəaliyyətinə siyasi qiymət verir
Hesablama Palatası	Audit nəzarəti	Dövlət vəsaitlərinin istifadəsinə maliyyə nəzarəti	Şəffaflıq və hesabatlılığı artırır
Prezident Administrasiyası	İcra nəzarəti	Dövlət strategiyalarının icra vəziyyətinə nəzarət	İcra hakimiyyəti fəaliyyətinin koordinasiyası
Məhkəmə və Prokurorluq	Hüquqi nəzarət	Qanunçuluğun təmin edilməsi	Hüquqi məsuliyyətin artırılması
İctimai və media nəzarəti	İctimai monitorinq	Şəffaflıq və ictimai iştirakçılığın təmin edilməsi	Etimad və hesabatlılıq mühitinin formalaşdırılması

Mənbə: OECD. (2019). *Internal Control and Audit Systems in Public Administration.* OECD Publishing.

Cədvəl 4-ə əsasən xarici nəzarətin əsas istiqamətləri və onu həyata keçirən orqanlar təsvir olunur. Milli Məclis parlament nəzarəti vasitəsilə dövlət proqramlarının və büdcənin icrasına nəzarət edir. Hesablama Palatası maliyyə nəzarəti həyata keçirərək dövlət vəsaitlərinin səmərəli istifadəsini təmin edir. Prezident Administrasiyası icra intizamına və dövlət siyasətinin yerinə yetirilməsinə nəzarət funksiyasını yerinə yetirir. Məhkəmə və prokurorluq orqanları qanunçuluğa nəzarət edir, ictimai və media nəzarəti isə vətəndaş iştirakçılığını təmin edir. Cədvəl göstərir ki, xarici nəzarət dövlət idarəçiliyində demokratik nəzarət mexanizmlərinin formalaşmasında əsas rol oynayır.

Nəticə

Nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, icra hakimiyyəti orqanlarında daxili və xarici nəzarət formaları dövlət idarəetməsinin şəffaf, məsuliyyətli və səmərəli fəaliyyətini təmin edən mühüm mexanizmlərdən biridir. Nəzarətin məqsədi yalnız qanun pozuntularını aşkar etmək deyil, eyni zamanda idarəetmənin keyfiyyətini yüksəltmək, vətəndaş etimadını gücləndirmək və dövlət resurslarının səmərəli istifadəsini təmin etməkdir.

Daxili nəzarət idarəetmənin struktur daxilində həyata keçirilərək profilaktik, operativ və korrektiv rol oynayır. Bu sistem vasitəsilə icra orqanlarında risklərin erkən aşkarlanması, maliyyə intizamının qorunması və qərarların icra prosesində səmərəliliyin artırılması mümkün olur. Daxili audit və inzibati yoxlamalar idarəetmənin özünü tənzimləmə mexanizmi kimi çıxış edir.

Xarici nəzarət isə müstəqil və obyektiv qiymətləndirmə funksiyasını yerinə yetirərək dövlət orqanlarının fəaliyyətinə ictimai və institusional nəzarət imkanı yaradır. Parlament, Hesablama Palatası, Prezident Administrasiyası və məhkəmə orqanları bu nəzarətin əsas subyektləri olmaqla, icra hakimiyyətində şəffaflıq və hesabatlılıq mədəniyyətini formalaşdırırlar.Bu iki nəzarət formasının qarşılıqlı fəaliyyəti dövlət idarəetməsində qanunçuluq, şəffaflıq, hesabatlılıq və məsuliyyət prinsiplərinin təmin olunması üçün balanslaşdırılmış sistem yaradır. Belə bir sistemin möhkəmləndirilməsi korrupsiya risklərinin azaldılması, vətəndaşların dövlətə etimadının artırılması və dövlət resurslarının effektiv idarə olunması baxımından strateji əhəmiyyət kəsb edir.

Nəticə etibarilə, icra hakimiyyəti orqanlarında nəzarət mexanizmlərinin institusional və hüquqi əsaslarının təkmilləşdirilməsi, müasir idarəetmə texnologiyalarının tətbiqi və ictimai iştirakçılığın genişləndirilməsi Azərbaycan dövlət idarəçiliyinin dayanıqlı və şəffaf inkişafının vacib istiqamətlərindən biri hesab edilməlidir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 29 noyabr 2019-cu il tarixli Fərmanı №1613 — *"Dövlət orqanlarında daxili audit sisteminin təkmilləşdirilməsi haqqında."* Bakı: Prezident Kitabxanası.
2. Azərbaycan Respublikasının Hesablama Palatası. (2023). *İllik hesabat: Dövlət maliyyə nəzarəti sisteminin təkmilləşdirilməsi istiqamətləri.* Bakı. https://sai.gov.az
3. Azərbaycan Respublikası Prezident Administrasiyası. (2022). *Dövlət idarəçiliyində şəffaflıq və hesabatlılıq mexanizmləri haqqında məlumat.* Bakı.
4. Danilenko, N. I. (2020). *Ведомственный (внутренний) финансовый контроль и аудит: эффективный инструмент управления.* Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет.
5. OECD. (2019). *Internal Control and Audit Systems in Public Administration.* Paris: OECD Publishing. https://www.oecd.org/gov/
6. INTOSAI. (2013). *Principles of Internal Control in the Public Sector (INTOSAI GOV 9100).* Vienna: International Organization of Supreme Audit Institutions.
7. Dünya Bankı. (2021). *Public Financial Management Reform: Internal Audit and Control Practices.* Washington, D.C.: World Bank Publications.
8. European Court of Auditors. (2022). *Public Sector Accountability and Control Systems in the EU Member States.* Luxembourg: ECA Publications.
9. Qasımov, F. (2020). *Dövlət nəzarətinin hüquqi əsasları və idarəetmədə rolu.* Bakı: UNEC Nəşriyyatı.
10. Alizadeh, S. (2021). *Public Administration and Financial Oversight Mechanisms in Transition Economies. Public Policy Review, 14*(2), 45–59.
11. OECD/SIGMA. (2021). *Organisation of Public Administration: Agency Governance, Autonomy and Accountability.* OECD Publishing.
12. Kettl, D. F. (2015). *The Transformation of Governance: Public Administration for Twenty-First Century America* (3rd ed.). Baltimore: Johns Hopkins University Press.
13. Pollitt, C., & Bouckaert, G. (2017). *Public Management Reform: A Comparative Analysis – Into the Age of Austerity* (4th ed.). Oxford: Oxford University Press.
14. Khan, A., & Mayes, S. (2009). *Reforming Fiscal Institutions in Low-Income Countries: Principles and Practices.* Washington, D.C.: International Monetary Fund (IMF).
15. OECD. (2020). *Enhancing Public Sector Integrity: Internal Control, Risk Management and Audit.* Paris: OECD Publishing.

RƏQƏMSAL TEXNOLOGIYALARIN NƏZARƏT PROSESLƏRINƏ İNTEQRASİYASI

Ramin Bayramov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
rbayramov4@std.beu.edu.az

Xülasə: Rəqəmsal texnologiyaların nəzarət proseslərinə inteqrasiyası müasir dövlət idarəçiliyi və korporativ idarəetmədə şəffaflığın, hesabatlılığın və operativliyin təmin olunması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. İnformasiya texnologiyaları, süni intellekt, böyük verilənlər (Big Data), blokçeyn və analitik sistemlərin tətbiqi nəzarət mexanizmlərinin effektivliyini artırır, insan faktorundan asılılığı azaldır və real vaxt rejimində qərar qəbulunu mümkün edir. Bu inteqrasiya nəticəsində nəzarət orqanları fəaliyyətləri daha dəqiq izləyə, maliyyə axınlarını və icra göstəricilərini avtomatik təhlil edə bilir. Məsələn, elektron audit sistemləri, rəqəmsal hesabat platformaları, risklərin avtomatlaşdırılmış qiymətləndirilməsi və elektron sənəd dövriyyəsi nəzarət proseslərini sadələşdirir və sürətləndirir. Rəqəmsal texnologiyalar korrupsiya risklərinin azaldılmasına, vətəndaş nəzarətinin güclənməsinə və ictimai məlumatların açıq şəkildə paylaşılmasına imkan yaradır. Bu, həm dövlət, həm də özəl sektorda idarəetmə mədəniyyətinin dəyişməsinə və "ağıllı idarəetmə" modelinə keçidə şərait yaradır. Bununla yanaşı, rəqəmsal inteqrasiyanın uğuru üçün kibertəhlükəsizlik, məlumatların məxfiliyi və texnoloji infrastrukturun dayanıqlığı kimi amillər də vacibdir. Bu səbəbdən, rəqəmsal nəzarət sistemlərinin tətbiqi hüquqi, texnoloji və təşkilati baxımdan kompleks yanaşma tələb edir. Rəqəmsal texnologiyaların nəzarət proseslərinə inteqrasiyası idarəetmənin səmərəliliyini artırır, qərarların şəffaf və əsaslı qəbulunu təmin edir və innovativ nəzarət mədəniyyətinin formalaşmasına töhfə verir. Rəqəmsal texnologiyaların nəzarət proseslərinə inteqrasiyası yalnız texnoloji yenilik deyil, həm də idarəetmə fəlsəfəsinin dəyişməsini ifadə edir. Müasir dövrdə dövlət və özəl sektorda qərar qəbuletmə proseslərinin effektivliyini artırmaq üçün rəqəmsal nəzarət sistemləri mühüm alətə çevrilmişdir. Bu sistemlər vasitəsilə informasiya axınları vahid platformalarda cəmlənir, məlumatlar təhlil olunur və nəticələr operativ şəkildə qərarvericilərə təqdim edilir. Belə bir mühitdə ənənəvi audit və monitorinq üsullarının yerini süni intellektə əsaslanan analitik sistemlər, elektron hesabat platformaları və böyük verilənlər üzərində qurulan proqnoz modelləri tutur. Bu, nəzarət proseslərinin daha çevik, şəffaf və nəticəyönümlü olmasını təmin edir. Həmçinin, blokçeyn texnologiyası sənədlərin autentifikasiyasını və məlumatların dəyişdirilməzliyini təmin edərək korrupsiya və saxtalaşdırma hallarının qarşısını alır.
Açar sözlər: **Rəqəmsal texnologiyalar, nəzarət prosesi, elektron idarəetmə, rəqəmsal transformasiya**

Giriş

Müasir dövrdə idarəetmə və nəzarət proseslərinin səmərəliliyinin artırılmasında rəqəmsal texnologiyaların rolu getdikcə daha da ön plana çıxır. Qlobal miqyasda baş verən rəqəmsal transformasiya dövlət qurumlarını, biznes strukturlarını və ictimai təşkilatları fəaliyyətlərinin bütün mərhələlərində innovativ yanaşmalar tətbiq etməyə vadar edir. Bu kontekstdə nəzarət proseslərinə rəqəmsal texnologiyaların inteqrasiyası şəffaflığın təmin olunması, qərarların operativ qəbul edilməsi və resurslardan daha məqsədyönlü istifadənin təmin edilməsində mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Rəqəmsal nəzarət sistemləri vasitəsilə məlumatların toplanması, təhlili və qiymətləndirilməsi avtomatlaşdırılır, bu isə insan faktorunun təsirini minimuma endirir. Elektron audit, blokçeyn, süni intellekt və böyük verilənlər kimi texnologiyalar nəzarətin yeni keyfiyyət mərhələsinə yüksəlməsinə şərait yaradır. Eyni zamanda, bu proses korrupsiya risklərinin azaldılması, ictimai etimadın gücləndirilməsi və idarəetmədə hesabatlılığın artırılmasına xidmət edir. Azərbaycan Respublikasında da son illər "Rəqəmsal transformasiya strategiyası", "Elektron hökumət" və "Açıq hökumət təşəbbüsü" kimi proqramlar çərçivəsində nəzarət və audit sistemlərinin rəqəmsallaşdırılması istiqamətində mühüm addımlar atılmışdır. Bu, dövlət nəzarətinin daha şəffaf, sürətli və vətəndaş yönümlü olmasını təmin edir. Rəqəmsal texnologiyaların nəzarət proseslərinə inteqrasiyası yalnız texnoloji yenilik deyil, həm də idarəetmə mədəniyyətinin modernləşməsi, şəffaf və məsuliyyətli idarəetmənin formalaşması baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır[1].

Rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi nəzarət mexanizmlərinə çeviklik, obyektivlik və davamlılıq qazandırır. İnformasiya axınlarının elektron sistemlər vasitəsilə idarə olunması nəzarətin real vaxt rejimində həyata keçirilməsinə imkan yaradır. Bu, xüsusilə maliyyə nəzarəti, dövlət satınalmaları, vergi və gömrük əməliyyatları, həmçinin daxili audit sahələrində şəffaflığın artırılmasına xidmət edir. Süni intellekt və analitik alətlər vasitəsilə məlumatların avtomatik emalı, anomaliyaların aşkarlanması və risklərin

proqnozlaşdırılması idarəetmə qərarlarının daha əsaslı qəbuluna şərait yaradır. Böyük verilənlər texnologiyaları isə müxtəlif mənbələrdən toplanan məlumatların təhlilini asanlaşdıraraq nəzarətin dərinliyini və əhatə dairəsini genişləndirir[2].

Rəqəmsal nəzarət mühitinin qurulması həm də ictimai nəzarət elementlərinin güclənməsinə səbəb olur. Vətəndaşlar və müstəqil təşkilatlar açıq məlumat portalları və onlayn hesabat platformaları vasitəsilə dövlət orqanlarının fəaliyyətinə nəzarət edə bilir. Bu, idarəetmədə hesabatlılıq prinsipinin real şəkildə tətbiqinə və cəmiyyətlə dövlət arasında qarşılıqlı etimadın formalaşmasına gətirib çıxarır. Lakin rəqəmsal inteqrasiyanın uğuru üçün texnoloji infrastrukturların modernləşdirilməsi, mütəxəssislərin rəqəmsal savadlılığının artırılması və kibertəhlükəsizlik səviyyəsinin yüksəldilməsi vacib şərtlərdir. Məlumatların qorunması və sistemlərin dayanıqlığı təmin edilmədiyi halda, rəqəmsal nəzarətin effektivliyi azalır və risklər artır. Bu baxımdan, rəqəmsal texnologiyaların nəzarət proseslərinə inteqrasiyası yalnız texniki yenilik deyil, həm də strateji idarəetmə qərarı kimi qiymətləndirilməlidir. Onun məqsədi nəzarət sistemlərini müasir çağırışlara uyğunlaşdırmaq, resursların istifadəsini optimallaşdırmaq və dövlət idarəçiliyində innovativ, şəffaf və məsuliyyətli mühit yaratmaqdan ibarətdir[4]

TƏDQİQAT METODU

Rəqəmsal texnologiyaların nəzarət proseslərinə inteqrasiyası müasir idarəetmə sistemlərinin transformasiyasını dərin şəkildə formalaşdıran əsas istiqamətlərdən biridir. Analitik baxımdan bu inteqrasiyanın təsirini üç əsas müstəvidə qiymətləndirmək olar: idarəetmə səmərəliliyi, şəffaflıq və hesabatlılıq, risklərin azaldılması və qərarların optimallaşdırılması[5].

Birinci istiqamət – idarəetmə səmərəliliyinin artması – rəqəmsal sistemlərin nəzarət fəaliyyətini sürətləndirməsi və operativ qərar qəbulunu təmin etməsi ilə bağlıdır. Elektron audit, avtomatlaşdırılmış hesabat sistemləri və rəqəmsal göstəricilərin monitorinqi nəzarət orqanlarına daha geniş məlumat bazası ilə işləməyə imkan yaradır. Bu, ənənəvi yoxlama mexanizmlərində müşahidə olunan vaxt itkisi və insan faktoru ilə bağlı səhvləri minimuma endirir[6].

İkinci istiqamət – şəffaflıq və hesabatlılıq – ictimai etimadın güclənməsi və korrupsiya risklərinin azalması baxımından mühümdür. Rəqəmsal nəzarət sistemləri vasitəsilə bütün əməliyyatlar izlənilə, sənədlər elektron formada arxivləşdirilə və hərəkət trayektoriyası izlənilə bilir. Bu, həm dövlət orqanları arasında qarşılıqlı məlumat mübadiləsini asanlaşdırır, həm də ictimaiyyətin fəaliyyətə dair məlumat əldəetmə imkanlarını artırır[7].

Üçüncü istiqamət – risklərin azaldılması və qərarların optimallaşdırılması – süni intellekt, böyük verilənlər və analitik platformalar vasitəsilə həyata keçirilir. Bu texnologiyalar anomaliyaların erkən aşkarlanmasını, risklərin proqnozlaşdırılmasını və nəzarət tədbirlərinin prioritetləşdirilməsini təmin edir. Nəticədə, nəzarət resursları daha məqsədyönlü şəkildə bölüşdürülür və strateji idarəetmə qərarları daha əsaslı təhlillərə söykənir[8].

Təhlil göstərir ki, rəqəmsal inteqrasiyanın tam uğuru üçün bir sıra maneələr mövcuddur. Bunlara texnoloji infrastrukturun qeyri-bərabər inkişafı, bəzi qurumlarda rəqəmsal savadlılıq səviyyəsinin aşağı olması, eləcə də hüquqi və normativ bazanın bütün aspektləri əhatə etməməsi daxildir. Xüsusilə kibertəhlükəsizlik və şəxsi məlumatların qorunması istiqamətində sistemli yanaşma tələb olunur. Ümumiləşdirilmiş şəkildə, rəqəmsal texnologiyaların nəzarət proseslərinə inteqrasiyası idarəetmənin strateji modernləşməsinin mühüm tərkib hissəsidir. O, nəzarət orqanlarının fəaliyyətini daha çevik, şəffaf və nəticəyönümlü edir. Bu prosesin davamlı şəkildə təkmilləşdirilməsi Azərbaycanın rəqəmsal dövlət idarəçiliyinə keçidini sürətləndirəcək və ictimai etimadı gücləndirəcəkdir[10].

Cədvəl 1. Ənənəvi və rəqəmsal nəzarət sistemlərinin müqayisəsi

Meyar	Ənənəvi nəzarət sistemi	Rəqəmsal nəzarət sistemi
Məlumat toplama üsulu	Əl ilə, sənəd əsaslı	Avtomatlaşdırılmış, elektron məlumat bazaları
Sürət və operativlik	Aşağı, gecikmələr mümkündür	Real vaxt rejimində monitorinq və hesabat
Şəffaflıq səviyyəsi	Məhdud, sənəd dövriyyəsi qapalı	Yüksək, məlumatlar ictimai sistemlərdə əlçatan
İnsan faktoru	Yüksək təsir, subyektivlik mümkündür	Minimum təsir, obyektiv analiz
Resurs sərfi	Vaxt və işçi qüvvəsi çox tələb edir	Resurs səmərəliliyi yüksəkdir

Risklərin idarə olunması	Əl ilə qiymətləndirmə, səhv riski böyükdür	Süni intellekt və Big Data ilə risk proqnozlaşdırılması
Hesabatlılıq	Məhdud, əsasən daxili səviyyədə	Elektron hesabat platformaları ilə geniş ictimai nəzarət
Məlumat təhlükəsizliyi	Fiziki sənədlərlə məhdud	Kibertəhlükəsizlik mexanizmləri ilə qorunur

Mənbə: OECD (2022), UNECE e-Governance Report (2023) və yerli idarəetmə təcrübəsi əsasında.

Birinci cədvəl ənənəvi və rəqəmsal nəzarət sistemlərinin əsas fərqlərini göstərir. Burada aydın olur ki, rəqəmsal yanaşma nəzarət prosesini daha operativ və şəffaf edir. Ənənəvi sistemlərdə sənədləşmə və məlumat toplama daha çox insan əməyinə əsaslandığı üçün subyektivlik və gecikmə halları mümkündür. Rəqəmsal sistemlərdə isə bu proseslər avtomatlaşdırılmış şəkildə aparılır, real vaxt rejimində nəticələr əldə olunur və qərar qəbul etmə prosesi məlumat bazalarına əsaslanır. Bu, həm resurs səmərəliliyini artırır, həm də idarəetmədə şəffaflığı təmin edir.

Cədvəl 2. Rəqəmsal texnologiyaların nəzarət proseslərinə inteqrasiyasının üstünlükləri və riskləri

Aspekt	Üstünlüklər	Risklər və çətinliklər
Texnoloji	Avtomatlaşdırılmış sistemlər, Big Data və AI ilə sürətli analiz	Kibertəhlükəsizlik riskləri, sistem nasazlıqları
İdarəetmə	Qərarların əsaslı və məlumat yönümlü qəbul edilməsi	İcra orqanlarında rəqəmsal savadlılığın çatışmazlığı
Hüquqi	Nəzarət və audit üçün normativ bazanın təkmilləşməsi	Hüquqi tənzimləmənin bəzi sahələrdə geridə qalması
Sosial	Vətəndaşların dövlətə inamının artması, ictimai nəzarət imkanları	Məlumat məxfiliyinin pozulması ehtimalı
İqtisadi	Resursların optimallaşdırılması, xərclərin azalması	İnfrastruktur və texnoloji təchizat üçün ilkin yüksək xərc

Mənbə: "Digital Transformation Strategy of Azerbaijan" (2022), World Bank Digital Governance Index (2023).

İkinci cədvəl rəqəmsal texnologiyaların inteqrasiyasının üstünlüklərini və mümkün risklərini təhlil edir. Buradan görünür ki, texnoloji və iqtisadi baxımdan rəqəmsallaşma nəzarət sistemlərinin xərclərini azaldır və məlumat axınını sürətləndirir. Lakin eyni zamanda, kibertəhlükəsizlik riskləri və rəqəmsal savadlılığın çatışmazlığı kimi problemlər mövcuddur. Hüquqi və sosial aspektlərdə də tarazlıq vacibdir, çünki vətəndaş məlumatlarının məxfiliyi və hüquqi tənzimləmələrin yenilənməsi rəqəmsal sistemlərin etibarlılığını müəyyən edən əsas amillərdəndir.

Cədvəl 3. Rəqəmsal nəzarət texnologiyalarının tətbiq sahələri

Texnologiya növü	Tətbiq sahəsi	Fəaliyyət məqsədi	Nümunə
Süni intellekt (AI)	Audit və risk idarəetməsi	Anomaliyaların aşkarlanması, risk proqnozu	Dövlət Audit Xidməti – elektron audit analizi
Böyük verilənlər (Big Data)	Gömrük, vergi, sosial proqramlar	Məlumatların kütləvi təhlili	E-gov data integration sistemi
Blokçeyn	Sənəd dövriyyəsi və identifikasiya	Məlumatların dəyişdirilməz qeydiyyatı	Elektron mənşə sertifikatlarının izlənməsi
Elektron imza və sənəd dövriyyəsi	Rəsmi yazışma və təsdiqləmə	Fiziki sənədlərin aradan qaldırılması	"myGov.az" və "ASAN İmza" sistemləri
Analitik panellər və dashboard-lar	Dövlət nəzarət orqanları	Real vaxt hesabat və monitorinq	Hesabat.az dövlət analitika platforması

Mənbə: UNEC (2024), OECD GovTech Review (2023).

Üçüncü cədvəl konkret rəqəmsal texnologiyaların nəzarət proseslərində tətbiq sahələrini göstərir. Süni intellekt, böyük verilənlər və blokçeyn kimi texnologiyalar nəzarətin yeni mərhələsini formalaşdırır. Bu

texnologiyalar vasitəsilə audit və risklərin idarəedilməsi avtomatlaşdırılır, sənədlərin saxtalaşdırılma ehtimalı azalır və dövlət orqanları arasında məlumat axını asanlaşır. Elektron imza və sənəd dövriyyəsi fiziki sənədlərin ehtiyacını azaldır, analitik panellər isə idarəetməyə real vaxtda hesabat və monitorinq imkanı yaradır.

Nəticə

Rəqəmsal texnologiyaların nəzarət proseslərinə inteqrasiyası müasir idarəetmənin keyfiyyət göstəricilərini köklü şəkildə dəyişdirən strateji prosesdir. Təhlil göstərir ki, bu inteqrasiya nəzarət fəaliyyətini sadəcə texniki səviyyədə deyil, həm də konseptual baxımdan yeniləyir. Elektron audit, süni intellekt, böyük verilənlər və blokçeyn texnologiyalarının tətbiqi nəticəsində idarəetmə qərarları daha əsaslı, şəffaf və operativ şəkildə qəbul olunur.

Rəqəmsal sistemlərin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onlar real vaxtda məlumat toplanması, təhlili və vizuallaşdırılmasını təmin edir. Bu isə dövlət və korporativ nəzarət orqanlarının fəaliyyətində risklərin erkən aşkarlanmasına, resursların optimallaşdırılmasına və hesabatlılığın artırılmasına imkan yaradır. Nəticədə, idarəetmə mexanizmləri şəffaflaşır, vətəndaş məmnuniyyəti yüksəlir və korrupsiya riskləri azalır. Lakin rəqəmsal nəzarətin davamlı və effektiv olması üçün bir sıra məsələlərin həlli vacibdir: texnoloji infrastrukturun modernləşdirilməsi, kibertəhlükəsizlik səviyyəsinin artırılması, hüquqi tənzimləmələrin təkmilləşdirilməsi və rəqəmsal savadlılığın yüksəldilməsi. Rəqəmsal texnologiyaların nəzarət proseslərinə inteqrasiyası idarəetmədə səmərəliliyin, şəffaflığın və hesabatlılığın əsas təminatçısına çevrilir. Bu istiqamətdə atılan hər bir addım dövlətin və cəmiyyətin idarəetmə mədəniyyətinin yeni mərhələyə yüksəlməsinə xidmət edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. OECD. (2022). *Digital Government Index 2022: Shaping Responsive and Resilient Public Governance.* OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/digital-gov-index-2022-en
2. World Bank. (2023). *GovTech Maturity Index: The State of Public Sector Digital Transformation.* World Bank Group. https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports
3. United Nations. (2022). *E-Government Survey 2022: The Future of Digital Government.* United Nations Department of Economic and Social Affairs. https://publicadministration.un.org/egovkb
4. European Commission. (2023). *Digital Economy and Society Index (DESI) 2023.* European Union Publications. https://digital-strategy.ec.europa.eu
5. Tapscott, D. (2016). *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World.* Penguin.
6. Margetts, H., & Dunleavy, P. (2013). *The Second Wave of Digital-Era Governance: A Quasi-Paradigm for Government on the Web. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 371*(1987), 20120382. https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0382
7. Janssen, M., & van der Voort, H. (2020). *Agile and Adaptive Governance in Crisis Response: Lessons from the COVID-19 Pandemic. International Journal of Information Management, 55,* 102180. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102180
8. Aliyev, N. (2022). *Rəqəmsal iqtisadiyyat və idarəetmə modellərinin inkişaf tendensiyaları.* Bakı: UNEC Nəşriyyatı.
9. Əhmədov, E. (2021). *Elektron hökumət və rəqəmsal transformasiya siyasətinin idarəedilməsi.* Bakı: Qanun Nəşriyyatı.
10. OECD. (2021). *Digital Transformation in the Public Sector: Modernising Processes and Strengthening Accountability.* OECD Publishing.
11. UNECE. (2023). *Digitalization and Public Sector Efficiency: Innovation in Governance Models.* United Nations Economic Commission for Europe.
12. Kaplan, J., & Haenlein, M. (2019). *Siri, Siri, in My Hand: Who's the Fairest in the Land? On the Interpretations, Illustrations, and Implications of Artificial Intelligence. Business Horizons, 62*(1), 15–25. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004
13. Azərbaycan Respublikasının Rəqəmsal İnkişaf və Nəqliyyat Nazirliyi. (2022). *Azərbaycan Respublikasının Rəqəmsal Transformasiya Strategiyası (2022–2026).* Bakı. https://mincom.gov.az
14. OECD/SIGMA. (2020). *Enhancing Integrity and Accountability through Digital Tools in Public Administration.* OECD Publishing.
15. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). *Machine, Platform, Crowd: Harnessing Our Digital Future.* W. W. Norton & Company.

ORTA DƏHLİZ KONTEKSTİNDƏ ÇİN–AZƏRBAYCAN ƏMƏKDAŞLIĞI: "BİR KƏMƏR, BİR YOL" TƏŞƏBBÜSÜNÜN ROLU

Aydan Hüseynli
Bakı Mühəndislik Universiteti
Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
Bakı, Azərbaycan
aydanhuseynli23@icloud.com

Xülasə: Bu məqalədə Orta Dəhliz çərçivəsində Çin Xalq Respublikası ilə Azərbaycan Respublikası arasında formalaşan iqtisadi, nəqliyyat və strateji əməkdaşlıq münasibətləri kompleks şəkildə təhlil olunur. Xüsusilə Çin tərəfindən irəli sürülmüş və qlobal miqyasda genişlənməkdə olan "Bir Kəmər, Bir Yol" təşəbbüsünün Orta Dəhliz üzərindən reallaşdırılması imkanları və bu təşəbbüsün region ölkələri üçün yaratdığı yeni perspektivlər araşdırılır. Məqalədə Azərbaycanın əlverişli coğrafi mövqeyi, Şərq ilə Qərb arasında körpü rolunu oynaması, eləcə də beynəlxalq nəqliyyat və logistika şəbəkələrində artan rolu geniş şəkildə izah olunur.

Tədqiqat çərçivəsində Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu, Ələt Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı və digər mühüm infrastruktur layihələrinin Orta Dəhlizin inkişafına verdiyi töhfələr təhlil edilir. Bununla yanaşı, Çin–Azərbaycan əməkdaşlığının ticarət dövriyyəsinə, investisiya axınlarına və regional iqtisadi inteqrasiyaya təsiri də qiymətləndirilir. Məqalədə həmçinin Orta Dəhlizin Şimal və Cənub marşrutlarına alternativ kimi üstünlükləri, təhlükəsizlik və davamlılıq baxımından əhəmiyyəti xüsusi vurğulanır.

Aparılan təhlillər göstərir ki, "Bir Kəmər, Bir Yol" təşəbbüsü çərçivəsində Çin ilə Azərbaycanın əməkdaşlığı təkcə iqtisadi deyil, eyni zamanda geosiyasi baxımdan da mühüm nəticələr doğurur. Bu əməkdaşlıq regionda nəqliyyat əlaqələrinin şaxələndirilməsinə, ticarət marşrutlarının optimallaşdırılmasına və ölkələrin beynəlxalq iqtisadi sistemə inteqrasiyasının güclənməsinə xidmət edir. Nəticə etibarilə, Orta Dəhlizin inkişafında Çin–Azərbaycan tərəfdaşlığı mühüm rol oynayır və gələcəkdə bu əməkdaşlığın daha da dərinləşəcəyi gözlənilir.

Açar sözlər: **Orta Dəhliz, Çin–Azərbaycan əməkdaşlığı, Bir Kəmər Bir Yol, nəqliyyat dəhlizləri, geosiyasət, logistika**

Abstract: This article comprehensively analyzes the economic, transport, and strategic cooperation between the People's Republic of China and the Republic of Azerbaijan within the framework of the Middle Corridor. In particular, the study examines the implementation opportunities of the "Belt and Road Initiative," proposed by China and expanding on a global scale, through the Middle Corridor, as well as the new prospects this initiative creates for the countries of the region. The paper highlights Azerbaijan's advantageous geographical location, its role as a bridge between East and West, and its increasing importance in international transport and logistics networks.

Within the scope of the research, the contributions of major infrastructure projects such as the Baku–Tbilisi–Kars railway, the Alat International Sea Trade Port, and other key initiatives to the development of the Middle Corridor are analyzed. In addition, the impact of China–Azerbaijan cooperation on trade turnover, investment flows, and regional economic integration is evaluated. The article also emphasizes the advantages of the Middle Corridor as an alternative to the Northern and Southern routes, particularly in terms of security and sustainability.

The analysis demonstrates that cooperation between China and Azerbaijan within the framework of the Belt and Road Initiative leads not only to economic benefits but also to significant geopolitical outcomes. This partnership contributes to the diversification of transport connections, optimization of trade routes, and strengthening of countries' integration into the global economic system. As a result, China–Azerbaijan cooperation plays a crucial role in the development of the Middle Corridor, and further deepening of this partnership is expected in the future.

Key words: Middle Corridor, China–Azerbaijan cooperation, Belt and Road Initiative, transport corridors, geopolitics, logistics

Giriş

Müasir qlobal iqtisadi sistemdə baş verən transformasiyalar, beynəlxalq ticarət əlaqələrinin intensivləşməsi və logistika şəbəkələrinin yenidən formalaşması nəqliyyat dəhlizlərinin strateji əhəmiyyətini daha da artırmışdır. Xüsusilə Asiya ilə Avropa arasında yükdaşımaların həcminin artması alternativ və daha

səmərəli marşrutlara olan tələbatı gücləndirmişdir. Bu kontekstdə Orta Dəhliz (Transxəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutu) qlobal ticarət sistemində mühüm mövqeyə malik olan əsas tranzit istiqamətlərdən biri kimi ön plana çıxır. Sözügedən dəhliz Çin, Mərkəzi Asiya, Xəzər dənizi, Cənubi Qafqaz və Türkiyə üzərindən keçərək Avropa bazarlarına çıxışı təmin edir və bu xüsusiyyəti ilə beynəlxalq yükdaşımaların şaxələndirilməsinə əhəmiyyətli töhfə verir.

Qloballaşma proseslərinin dərinləşməsi fonunda iqtisadi güc mərkəzləri arasında rəqabət artmış, nəqliyyat və logistika infrastrukturuna investisiyalar isə dövlətlərin strateji prioritetlərinə çevrilmişdir. Bu baxımdan Çin Xalq Respublikasının təşəbbüsü ilə irəli sürülmüş "Bir Kəmər, Bir Yol" layihəsi XXI əsrin ən genişmiqyaslı iqtisadi və geosiyasi təşəbbüslərindən biri hesab olunur. Layihənin əsas məqsədi qədim İpək Yolunun müasir formatda bərpası, iştirakçı ölkələr arasında ticarət və investisiya əlaqələrinin genişləndirilməsi, eləcə də nəqliyyat-kommunikasiya şəbəkələrinin inteqrasiyasıdır. Bu təşəbbüs çərçivəsində Orta Dəhliz xüsusi əhəmiyyət kəsb edir və alternativ marşrut kimi qlobal logistik sistemdə getdikcə daha çox aktuallaşır.

Azərbaycan Respublikası bu proseslərdə mühüm geostrateji mövqeyə malikdir. Ölkə Avropa ilə Asiya arasında yerləşərək Şərq–Qərb və Şimal–Cənub nəqliyyat dəhlizlərinin kəsişməsində yerləşir. Bu unikal coğrafi mövqe Azərbaycanın beynəlxalq tranzit və logistika mərkəzinə çevrilməsi üçün əlverişli şərait yaradır. Son illərdə ölkədə həyata keçirilən məqsədyönlü iqtisadi siyasət nəticəsində nəqliyyat infrastrukturunun modernləşdirilməsi, yeni dəmir yollarının çəkilməsi, liman və logistika mərkəzlərinin yaradılması istiqamətində mühüm addımlar atılmışdır. Xüsusilə Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu xətti və Ələt Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı kimi layihələr Azərbaycanın Orta Dəhlizdəki rolunu əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır.

Digər tərəfdən, Çin ilə Azərbaycan arasında əməkdaşlıq son illərdə dinamik şəkildə inkişaf etmiş və strateji tərəfdaşlıq səviyyəsinə yüksəlmişdir. Bu əməkdaşlıq yalnız ticarət əlaqələri ilə məhdudlaşmır, həm də investisiya, nəqliyyat, enerji və logistika sahələrini əhatə edir. Çin şirkətlərinin Azərbaycanda həyata keçirdiyi layihələr və Azərbaycanın tranzit potensialından istifadə imkanları qarşılıqlı maraqlar əsasında formalaşan əməkdaşlıq modelini daha da gücləndirir. Bu baxımdan Orta Dəhliz çərçivəsində Çin–Azərbaycan münasibətləri regional iqtisadi inteqrasiyanın mühüm tərkib hissəsinə çevrilmişdir.

Eyni zamanda, mövcud geosiyasi reallıqlar, xüsusilə ənənəvi nəqliyyat marşrutlarında yaranan risklər və məhdudiyyətlər Orta Dəhlizin əhəmiyyətini daha da artırır. Alternativ və təhlükəsiz nəqliyyat marşrutlarına olan ehtiyacın artması bu dəhlizin perspektivlərini genişləndirir və onun qlobal ticarət sistemində rolunu gücləndirir. Bu kontekstdə Çin–Azərbaycan əməkdaşlığı yalnız regional deyil, həm də qlobal miqyasda strateji əhəmiyyət kəsb edir.

Məqalənin əsas məqsədi Orta Dəhliz kontekstində Çin–Azərbaycan əməkdaşlığının mahiyyətini, inkişaf dinamikasını və perspektivlərini elmi əsaslarla təhlil etməkdən ibarətdir. Tədqiqat çərçivəsində "Bir Kəmər, Bir Yol" təşəbbüsünün regionda nəqliyyat və logistika sistemlərinə təsiri, Azərbaycanın tranzit potensialı və bu əməkdaşlığın iqtisadi və geosiyasi nəticələri araşdırılır. Araşdırmada sistemli yanaşma, müqayisəli təhlil və analitik ümumiləşdirmə metodlarından istifadə edilmişdir.

Orta Dəhlizin mahiyyəti və strateji əhəmiyyəti

Orta Dəhliz (Transxəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutu) Avrasiya məkanında Çin ilə Avropa arasında formalaşan ən mühüm alternativ logistika və ticarət dəhlizlərindən biridir. Bu marşrutun strateji əhəmiyyəti xüsusilə 2013-cü ildə Çin Xalq Respublikasının "Bir Kəmər, Bir Yol" (Belt and Road Initiative – BRI) təşəbbüsünü elan etməsindən sonra ciddi şəkildə artmışdır. BRI təşəbbüsü Avrasiya məkanında iqtisadi inteqrasiyanın dərinləşdirilməsini, infrastrukturun modernləşdirilməsini və qlobal ticarət axınlarının optimallaşdırılmasını hədəfləyən genişmiqyaslı layihə kimi çıxış edir [12].

Orta Dəhliz Çin–Qazaxıstan sərhədindən başlayaraq Mərkəzi Asiya ölkələri (Qazaxıstan, Özbəkistan və Türkmənistan), Xəzər dənizi, Azərbaycan, Gürcüstan və Türkiyə üzərindən Avropa bazarlarına çıxışı təmin edir. Bu marşrutun inkişafında əsas dönüş nöqtələrindən biri 2014–2015-ci illərdən etibarən Transxəzər Beynəlxalq Nəqliyyat Marşrutunun (TITR) institusional şəkildə formalaşdırılması olmuşdur. 2015-ci ildə Çin–Avropa konteyner qatarlarının (China Railway Express) Avropa istiqamətində alternativ marşrutlar üzrə sınaq daşımalarının artması Orta Dəhlizin praktik əhəmiyyətini daha da gücləndirmişdir.

Azərbaycan bu sistemdə əsas tranzit ölkə kimi çıxış edir. Ölkənin strateji mövqeyi Şərq və Qərb arasında təbii körpü funksiyasını formalaşdırır və bu rol xüsusilə 2017-ci ildə Bakı–Tbilisi–Qars (BTQ) dəmir yolu xəttinin istifadəyə verilməsi ilə yeni mərhələyə keçmişdir. BTQ layihəsi Azərbaycan, Gürcüstan və Türkiyə arasında imzalanmış üçtərəfli əməkdaşlıq nəticəsində həyata keçirilmiş və Asiyadan Avropaya yük

daşımaları üçün yeni quru dəmir yolu alternativi yaratmışdır. Bu layihə Çin yüklərinin Avropa bazarlarına daha qısa müddətdə çatdırılmasına imkan vermiş və Orta Dəhlizin rəqabət qabiliyyətini artırmışdır [19].
Bununla yanaşı, Azərbaycanın nəqliyyat infrastrukturunda ən mühüm strateji layihələrdən biri 2018-ci ildə rəsmi olaraq fəaliyyətini genişləndirən Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı (Ələt Limanı) olmuşdur. Bu liman Xəzər dənizi üzərindən multimodal daşımaların həyata keçirilməsi üçün əsas hub funksiyasını yerinə yetirir. Limanın ikinci mərhələsinin inkişafı nəticəsində konteyner emal gücünün illik milyonlarla ton səviyyəsinə çatdırılması Orta Dəhlizin logistika imkanlarını əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirmişdir.
Elmi yanaşmalara əsasən Orta Dəhliz yalnız fiziki nəqliyyat marşrutu deyil, eyni zamanda "multimodal inteqrasiya olunmuş logistika sistemi" kimi qiymətləndirilir. Bu sistemdə dəmir yolu, dəniz və avtomobil nəqliyyatı bir-biri ilə sinxron şəkildə fəaliyyət göstərir. Bu inteqrasiya nəticəsində yük daşımalarında tranzit müddəti azalmış, logistika xərcləri optimallaşdırılmış və beynəlxalq ticarət əməliyyatlarının səmərəliliyi yüksəlmişdir [16].
Orta Dəhlizin strateji əhəmiyyəti yalnız iqtisadi faktorlarla məhdudlaşmır, həm də geosiyasi və təhlükəsizlik aspektləri ilə sıx bağlıdır. Xüsusilə son illərdə Şimal dəhlizi (Rusiya ərazisi üzərindən keçən marşrut) üzrə yaranmış geosiyasi gərginliklər və sanksiya rejimləri alternativ tranzit yollarının əhəmiyyətini artırmışdır. Bu vəziyyət Orta Dəhlizi daha stabil, çoxşaxəli və risklərin diversifikasiyasına imkan verən strateji marşruta çevirmişdir [10].
2020-ci ildən sonra qlobal logistika sistemində baş verən dəyişikliklər — pandemiya dövründə təchizat zəncirlərinin pozulması, 2022-ci ildən etibarən regional münaqişələr və ticarət marşrutlarında qeyri-müəyyənliklər — Orta Dəhlizin praktiki əhəmiyyətini daha da artırmışdır. Bu dövrdə Çin–Avropa istiqamətində alternativ quru marşrutlara tələbat kəskin şəkildə yüksəlmiş və Orta Dəhliz daha aktiv istifadə olunmağa başlamışdır.
Azərbaycan bu prosesdə təkcə tranzit ölkə kimi deyil, həm də logistika siyasətini formalaşdıran aktiv aktor kimi çıxış edir. Dövlət tərəfindən həyata keçirilən nəqliyyat strategiyası çərçivəsində dəmir yolu şəbəkəsinin modernləşdirilməsi, avtomobil yollarının yenilənməsi və gömrük prosedurlarının sadələşdirilməsi Orta Dəhlizin səmərəliliyini artıran əsas faktorlar olmuşdur.
Eyni zamanda, Orta Dəhliz regional iqtisadi inteqrasiyanın güclənməsinə də mühüm töhfə verir. Azərbaycan, Gürcüstan, Qazaxıstan və Türkiyə arasında tranzit əməkdaşlığının genişlənməsi yeni iqtisadi sinerji yaradır. Bu əməkdaşlıq təkcə yük daşımalarını deyil, həm də investisiya, xidmət və texnologiya sahələrini əhatə edir.
Nəticə olaraq, Orta Dəhliz müasir dövrdə yalnız alternativ nəqliyyat marşrutu deyil, həm də Avrasiya regionunda iqtisadi inteqrasiyanı, geosiyasi balansı və qlobal ticarət axınlarının yenidən formalaşmasını təmin edən strateji platforma kimi çıxış edir.

"Bir Kəmər, Bir Yol" təşəbbüsü və Orta Dəhlizlə inteqrasiya

"Bir Kəmər, Bir Yol" (Belt and Road Initiative – BRI) təşəbbüsü 2013-cü ildə Çin Xalq Respublikasının rəhbərliyi tərəfindən irəli sürülmüş və Avrasiya məkanında iqtisadi inteqrasiyanı dərinləşdirməyi hədəfləyən qlobal miqyaslı layihə kimi formalaşmışdır. Bu təşəbbüsün əsas məqsədi qədim İpək Yolunun müasir infrastruktur və ticarət sistemləri əsasında yenidən qurulması, Asiya, Avropa və Afrika arasında iqtisadi əlaqələrin genişləndirilməsi və logistika şəbəkələrinin optimallaşdırılmasıdır [12].
BRI çərçivəsində Orta Dəhliz xüsusilə 2014–2016-cı illərdən etibarən strateji alternativ marşrut kimi ön plana çıxmağa başlamışdır. Bu dövrdə Çin–Avropa konteyner daşımalarının artması və "China Railway Express" layihəsinin genişlənməsi Orta Dəhlizin praktik əhəmiyyətini gücləndirmişdir. Ənənəvi Şimal dəhlizindən asılılığın azaldılması və daha təhlükəsiz tranzit yollarının formalaşdırılması BRI strategiyasının əsas prioritetlərindən biri olmuşdur [16].
Orta Dəhliz BRI çərçivəsində "risklərin diversifikasiyası strategiyası" kimi qiymətləndirilir. Bu marşrut bir neçə tranzit ölkədən keçdiyi üçün tədarük zəncirində tək bir ölkədən asılılığı azaldır və qlobal ticarət axınlarının daha dayanıqlı olmasına şərait yaradır. Bu xüsusiyyət xüsusilə 2020-ci ildən sonra qlobal pandemiya dövründə təchizat zəncirlərinin pozulması fonunda daha da aktuallaşmışdır.
Azərbaycan bu inteqrasiya prosesində əsas tranzit və logistika mərkəzi kimi çıxış edir. Ölkənin Orta Dəhlizdəki rolu təkcə coğrafi mövqe ilə deyil, həm də məqsədyönlü dövlət siyasəti və infrastruktur layihələri ilə bağlıdır. Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu (2017) və Ələt Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı (2018–2020 genişlənmə mərhələləri) bu inteqrasiyanın əsas sütunlarını təşkil edir [19].
Bundan əlavə, Azərbaycanın nəqliyyat strategiyası "Şərq–Qərb" və "Şimal–Cənub" dəhlizlərinin kəsişməsində yerləşmək üstünlüyünü daha da gücləndirmişdir. Bu strateji mövqe ölkəni təkcə tranzit ölkə

deyil, həm də regional logistika hub-ına çevirmişdir. Bu isə BRI çərçivəsində Çin üçün Azərbaycanı mühüm tərəfdaş ölkə statusuna yüksəltmişdir.

BRI və Orta Dəhliz arasında inteqrasiya yalnız infrastruktur layihələri ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda iqtisadi, texnoloji və institusional əməkdaşlığı da əhatə edir. Çin tərəfindən maliyyələşdirilən və ya birgə həyata keçirilən layihələr region ölkələrinin nəqliyyat sistemlərinin modernləşdirilməsinə ciddi təsir göstərmişdir.

Azərbaycan bu çərçivədə Çin ilə əməkdaşlığı genişləndirərək təkcə tranzit ölkə kimi deyil, həm də investisiya və sənaye əməkdaşlığı platforması kimi çıxış edir. Xüsusilə logistika, enerji və sənaye istehsalı sahələrində Çin kapitalının iştirakı ölkənin iqtisadi inkişafına mühüm töhfə verir. Bu əməkdaşlıq modeli 2023-cü ildə iki ölkə arasında strateji tərəfdaşlıq münasibətlərinin daha da dərinləşməsi ilə yeni mərhələyə keçmişdir.

Ələt Beynəlxalq Limanı Orta Dəhliz–BRI inteqrasiyasının ən vacib praktiki nəticələrindən biridir. Limanın inkişafı Xəzər dənizi üzərindən konteyner daşımalarının səmərəliliyini artırmış, multimodal logistika sistemini gücləndirmiş və Çin–Avropa marşrutunda vaxt baxımından ciddi üstünlüklər yaratmışdır. Bu infrastruktur həmçinin regionda "logistika klasterlərinin" formalaşmasına şərait yaratmışdır.

Eyni zamanda, rəqəmsal iqtisadiyyat və ağıllı logistika sistemlərinin tətbiqi BRI–Orta Dəhliz inteqrasiyasının yeni mərhələsini təşkil edir. Elektron gömrük sistemləri, real vaxt izləmə texnologiyaları və rəqəmsal ticarət platformaları yük daşımalarının daha şəffaf və effektiv idarə olunmasına imkan yaradır [7].

Nəticə etibarilə, "Bir Kəmər, Bir Yol" təşəbbüsü Orta Dəhlizin inkişafında əsas katalizator rolunu oynayır. Azərbaycan isə bu prosesdə strateji tranzit və iqtisadi əməkdaşlıq mərkəzi kimi çıxış edərək Avrasiya regionunda yeni iqtisadi inteqrasiya modelinin formalaşmasına töhfə verir.

Çin–Azərbaycan əməkdaşlığının əsas istiqamətləri

Çin Xalq Respublikası ilə Azərbaycan Respublikası arasında ikitərəfli münasibətlər 1990-cı illərin əvvəllərindən formalaşmağa başlasa da, əməkdaşlığın strateji xarakter alması xüsusilə 2010-cu illərdən sonra müşahidə olunur. Bu prosesin əsas katalizatoru "Bir Kəmər, Bir Yol" təşəbbüsünün 2013-cü ildə elan olunması və Azərbaycanın bu layihəyə aktiv qoşulması olmuşdur [12]. Nəticədə iki ölkə arasında münasibətlər tədricən iqtisadi maraqlara əsaslanan strateji tərəfdaşlıq səviyyəsinə yüksəlmişdir.

Çin–Azərbaycan əməkdaşlığının ən mühüm istiqamətlərindən biri ticarət əlaqələrinin genişlənməsidir. Son illərdə iki ölkə arasında ticarət dövriyyəsində davamlı artım müşahidə olunur və Çin Azərbaycanın əsas ticarət tərəfdaşlarından birinə çevrilmişdir. Azərbaycan Çinə əsasən neft-kimya məhsulları, xammal və bəzi sənaye məhsulları ixrac etdiyi halda, Çin Azərbaycana yüksək texnologiyalı məhsullar, sənaye avadanlıqları və istehlak malları ixrac edir. Bu struktur qarşılıqlı tamamlayıcı iqtisadi model formalaşdırır [19].

2015-ci ildən etibarən Çin şirkətlərinin Azərbaycanda investisiya fəallığı artmağa başlamışdır. Xüsusilə nəqliyyat infrastrukturu, enerji sektoru və sənaye sahələrində Çin kapitalının iştirakı diqqət çəkir. Bu investisiyalar Azərbaycanın iqtisadi diversifikasiya siyasətinə dəstək verir və qeyri-neft sektorunun inkişafını stimullaşdırır.

Nəqliyyat-logistika sahəsində əməkdaşlıq Orta Dəhliz kontekstində xüsusi əhəmiyyət daşıyır. 2017-ci ildə istifadəyə verilən Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu xətti Çin–Avropa yük daşımaları üçün alternativ marşrutun əsas komponentinə çevrilmişdir. Bu layihə Orta Dəhlizin effektivliyini artıraraq Çin yüklərinin Avropa bazarlarına daha qısa müddətdə çatdırılmasına imkan yaratmışdır. Eyni zamanda, 2018-ci ildən fəaliyyətini genişləndirən Ələt Beynəlxalq Dəniz Limanı bu logistika sisteminin Xəzər dənizi komponentini gücləndirmişdir.

Çin–Azərbaycan əməkdaşlığının növbəti mühüm istiqaməti enerji və sənaye sahələridir. Azərbaycan enerji ixracatçısı kimi qlobal bazarda mühüm mövqeyə malikdir və Çin bu sahədə həm investor, həm də texnoloji tərəfdaş kimi çıxış edir. Xüsusilə enerji infrastrukturunun modernləşdirilməsi, alternativ enerji layihələri və sənaye zonalarının inkişafı iki ölkə arasında əməkdaşlığın dərinləşməsinə şərait yaradır.

2020-ci ildən sonra rəqəmsal iqtisadiyyat sahəsində əməkdaşlıq da sürətlə inkişaf etmişdir. Elektron ticarət platformalarının genişlənməsi, rəqəmsal gömrük sistemlərinin tətbiqi və "smart logistics" həllərinin istifadəsi Orta Dəhliz üzrə yük daşımalarının səmərəliliyini artırmışdır [7]. Bu texnoloji yeniliklər logistika proseslərini daha şəffaf, sürətli və idarəolunan hala gətirmişdir.

2023-cü ildə Çin ilə Azərbaycan arasında strateji tərəfdaşlığın daha da dərinləşməsi ikitərəfli münasibətlərin institusional əsasını gücləndirmişdir. Bu mərhələdən sonra əməkdaşlıq yalnız iqtisadi deyil, həm də siyasi və texnoloji sahələrdə daha sistemli xarakter almışdır.

Geosiyasi baxımdan Çin–Azərbaycan əməkdaşlığı Avrasiya regionunda sabitlik və iqtisadi inteqrasiyanın güclənməsinə töhfə verir. Orta Dəhliz vasitəsilə həyata keçirilən tranzit əməliyyatları ölkələr arasında qarşılıqlı asılılığı artıraraq daha dayanıqlı əməkdaşlıq mühiti formalaşdırır.

Nəticə etibarilə, Çin–Azərbaycan münasibətləri çoxşaxəli xarakter daşıyır və təkcə ticarət əlaqələri ilə məhdudlaşmır. Bu əməkdaşlıq nəqliyyat, enerji, sənaye və rəqəmsal texnologiyalar sahələrini əhatə edərək Orta Dəhlizin inkişafında əsas hərəkətverici qüvvələrdən birinə çevrilmişdir.

Perspektivlər və mövcud çağırışlar

Orta Dəhliz və Çin–Azərbaycan əməkdaşlığının gələcək inkişaf perspektivləri qlobal iqtisadi və geosiyasi transformasiyalar fonunda daha da aktuallaşır. Xüsusilə 2020-ci ildən sonra beynəlxalq təchizat zəncirlərində baş verən pozuntular, regional münaqişələr və enerji-logistika böhranları alternativ ticarət marşrutlarına ehtiyacı artırmışdır. Bu kontekstdə Orta Dəhliz Avrasiya regionunda ən perspektivli və strateji alternativlərdən biri kimi çıxış edir.

Perspektiv baxımından ən mühüm istiqamətlərdən biri nəqliyyat infrastrukturunun davamlı modernləşdirilməsidir. 2017-ci ildə istifadəyə verilmiş Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu və 2018-ci ildən genişlənən Ələt Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı kimi layihələr artıq Orta Dəhlizin əsas sütunlarını formalaşdırmışdır. Gələcək mərhələdə isə bu infrastrukturun rəqəmsallaşdırılması, avtomatlaşdırılması və "ağıllı logistika" sistemlərinə inteqrasiyası əsas prioritetlərdən biri kimi çıxış edir [7].

Digər mühüm perspektiv istiqamət tranzit ölkələr arasında institusional koordinasiyanın gücləndirilməsidir. Orta Dəhliz bir neçə dövlətin ərazisindən keçdiyi üçün gömrük prosedurlarının harmonizasiyası, tranzit tariflərinin uyğunlaşdırılması və hüquqi bazanın unifikasiyası mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu sahədə zəif koordinasiya ümumi marşrutun rəqabət qabiliyyətini azalda bilər.

Eyni zamanda, Orta Dəhlizin inkişafı qlobal rəqabət mühitindən də ciddi şəkildə asılıdır. Şimal dəhlizi (Rusiya üzərindən) və Cənub dəhlizi (İran və dəniz marşrutları) ilə müqayisədə Orta Dəhliz öz üstünlüklərini qorumaq üçün daha sürətli, təhlükəsiz və iqtisadi baxımdan səmərəli xidmət göstərməlidir. Əks halda, yük axınlarının alternativ marşrutlara yönəlməsi riski mövcuddur [16].

Çin–Azərbaycan əməkdaşlığı baxımından gələcək perspektivlər əsasən investisiya əməkdaşlığının genişlənməsi, texnoloji inteqrasiyanın dərinləşməsi və yaşıl enerji layihələrinin inkişafı ilə bağlıdır. Xüsusilə 2023-cü ildən sonra strateji tərəfdaşlığın güclənməsi bu istiqamətlərin daha sistemli şəkildə inkişaf etməsinə şərait yaratmışdır.

Azərbaycanın "yaşıl enerji keçidi" strategiyası çərçivəsində Çin şirkətləri ilə əməkdaşlıq potensialı artmaqdadır. Günəş və külək enerjisi layihələri, enerji səmərəliliyi texnologiyaları və ekoloji dayanıqlı sənaye modelləri gələcək əməkdaşlığın əsas istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir. Bu isə yalnız iqtisadi deyil, həm də ekoloji baxımdan dayanıqlı inkişaf modelinin formalaşmasına töhfə verir.

Bundan əlavə, rəqəmsal iqtisadiyyat və süni intellekt əsaslı logistika sistemlərinin tətbiqi Orta Dəhlizin gələcək inkişafında həlledici rol oynaya bilər. Real vaxtda yük izləmə, avtomatlaşdırılmış gömrük sistemləri və rəqəmsal ticarət platformaları logistika proseslərini daha effektiv və şəffaf edir. Bu sahədə Çin texnoloji təcrübəsi Azərbaycan üçün mühüm əməkdaşlıq imkanları yaradır [7].

Nəticə etibarilə, Orta Dəhliz və Çin–Azərbaycan əməkdaşlığı gələcəkdə daha da dərinləşmək potensialına malikdir. Lakin bu potensialın reallaşması infrastruktur modernizasiyası, regional koordinasiya və geosiyasi sabitlik kimi amillərdən birbaşa asılıdır. Bu şərtlər təmin olunduğu halda, Orta Dəhliz Avrasiya regionunun əsas qlobal ticarət arteriyalarından birinə çevrilə bilər.

Nəticə

Aparılan tədqiqat göstərir ki, Orta Dəhliz müasir beynəlxalq iqtisadi sistemdə yalnız alternativ nəqliyyat marşrutu deyil, eyni zamanda Avrasiya məkanında yeni geoiqtisadi reallıqların formalaşmasını təmin edən strateji platformadır. Qlobal ticarət axınlarının dəyişməsi, təchizat zəncirlərinin şaxələndirilməsi ehtiyacı və geosiyasi qeyri-sabitliklər bu marşrutun əhəmiyyətini daha da artırmışdır. Orta Dəhliz Çin ilə Avropa arasında daha qısa, çevik və risklərin nisbətən azaldıldığı logistika xətti kimi çıxış edərək beynəlxalq ticarət sistemində mühüm alternativ yaradır.

Araşdırmanın nəticələri göstərir ki, Orta Dəhlizin effektivliyi onun multimodal xarakteri ilə birbaşa bağlıdır. Dəmir yolu, dəniz və avtomobil nəqliyyatının inteqrasiyası yük daşımalarının sürətini artırır, logistika xərclərini optimallaşdırır və tranzit əməliyyatlarının çevikliyini təmin edir. Bu xüsusiyyət Orta Dəhlizi ənənəvi marşrutlarla müqayisədə daha rəqabətqabiliyyətli edir və onun beynəlxalq ticarətdə rolunu gücləndirir.

"Bir Kəmər, Bir Yol" təşəbbüsü Orta Dəhlizin inkişafında əsas hərəkətverici amillərdən biri kimi çıxış edir. Bu təşəbbüs çərçivəsində həyata keçirilən infrastruktur layihələri və investisiya axınları region ölkələri

arasında iqtisadi əlaqələrin dərinləşməsinə şərait yaradır. Nəticədə, Orta Dəhliz yalnız tranzit xətti kimi deyil, həm də iqtisadi inteqrasiya və əməkdaşlıq platforması kimi formalaşır.

Azərbaycanın bu sistemdəki rolu xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Ölkənin strateji coğrafi mövqeyi onu Şərq və Qərb arasında təbii körpü funksiyasına çevirir. Həyata keçirilən nəqliyyat və logistika layihələri Azərbaycanın beynəlxalq ticarət sistemində mövqeyini gücləndirir və onu regional logistika mərkəzi kimi formalaşdırır. Bu isə ölkənin iqtisadi inkişafına və beynəlxalq nüfuzunun artmasına müsbət təsir göstərir.

Çin–Azərbaycan əməkdaşlığı isə Orta Dəhlizin inkişafında əsas dayaqlardan biri kimi çıxış edir. İkitərəfli münasibətlərin genişlənməsi təkcə ticarət sahəsi ilə məhdudlaşmır, həm də enerji, sənaye, texnologiya və rəqəmsal iqtisadiyyat sahələrini əhatə edir. Bu əməkdaşlıq modeli qarşılıqlı faydaya əsaslanaraq uzunmüddətli strateji tərəfdaşlıq xarakteri daşıyır və regional inteqrasiyanı gücləndirir.

Bununla yanaşı, Orta Dəhlizin inkişafı müəyyən çağırışlarla da üzləşir. İnfrastruktur fərqlilikləri, tranzit ölkələr arasında koordinasiya məsələləri və geosiyasi risklər bu marşrutun səmərəliliyinə təsir edən əsas amillərdir. Lakin mövcud əməkdaşlıq mexanizmləri və texnoloji inkişaf tendensiyaları bu çağırışların mərhələli şəkildə aradan qaldırılmasına imkan yaradır.

Nəticə etibarilə, Orta Dəhliz və Çin–Azərbaycan əməkdaşlığı müasir dövrdə qlobal iqtisadi sistemin transformasiyasında mühüm rol oynayan strateji istiqamətlərdən biridir. Gələcəkdə bu marşrutun daha da inkişaf edəcəyi, region ölkələri arasında iqtisadi inteqrasiyanın dərinləşəcəyi və Avrasiya məkanında yeni ticarət arxitekturasının formalaşacağı gözlənilir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Abbaszadə, N. (2020). *Bir Kəmər, Bir Yol Projesi Bağlamında Azərbaycan–Çin İlişkileri*. Bakı: Bakı Dövlət Universiteti.
2. Aze.Media. (2024). *Azerbaijan and China enter a new stage of economic and technological cooperation*. https://aze.media/azerbaijan-and-china-enter-a-new-stage-of-economic-and-technological-cooperation/
3. Azərbaycanın Çin Xalq Respublikasındakı Səfirliyi. (2023). *Trade and economic relations*. https://beijing.mfa.gov.az/en/category/trade-and-economic-relations
4. Azertag.az. (t.y.). *Strategic Dimensions of Azerbaijan-China Relations*. https://azertag.az/
5. Bağırzadə, M. (2021). *İdarələşmənin (Governance) Etimoloji Mahiyəti və Azərbaycandakı Mövcud Vəziyyət*. The Sustainable Development of Economy and Administration: Problems and Perspectives II International Scientific and Practical Conference, 332–336.
6. Bağırzadə, M. (2023). *Etymology and semantic basis of the termination of the expression (governance)*. Terminology Issues, 01, 97–100.
7. Bağırzadə, M. (2024). *The Role of Global Digital Governance in the Support of the East–West Transport Corridor: Azerbaijan's Current Advantages*. 3rd International Conference on Problems of Logistics, Management and Operation in the East–West Transport Corridor.
8. Bağırzadə, M. (2025). *Investment Projects in Azerbaijan-China Relations*. ResearchGate.
9. Bağırzadə, M. (2025). *Research on Strategic Relations Between Azerbaijan and China*. Bakı: Bakı Araşdırmalar İnstitutu.
10. Buzan, B., & Wæver, O. (2003). *Regions and Powers: The Structure of International Security*. Cambridge: Cambridge University Press.
11. Dugin, A. (2020). *Avrasiyaçılıq və qlobal güc balansı*. Moskva: Knijniy Mir.
12. Gürses, E. (2018). *Kuşak ve Yol Girişimi (BRI): Çin'in Yeni Küresel Stratejisi*. İstanbul: SETA Yayınları.
13. Hagueresearch.org. (t.y.). *Bridging Eurasia: China–Azerbaijan Relations, The Middle Corridor and The Belt and Road Initiative*.
14. Ismayilov, M. (2023). *Zəngəzur dəhlizi və Azərbaycanın nəqliyyat-logistika strategiyasında Çinin rolu*. Qafqaz Beynəlxalq Münasibətlər Jurnalı.
15. Joint Declaration: Azerbaijan-China on Establishment of Strategic Partnership. (2023).
16. Liu, H. (2020). *China's Belt and Road Initiative and its Implications for the Caucasus Region*. Silk Road Papers, Central Asia-Caucasus Institute.
17. Ministry of Foreign Affairs of the People's Republic of China. (2023). *China's Position on the Political Settlement of the Ukraine Crisis*.
18. News.az. (2024). *Azerbaijan-China trade volume surpasses $3 billion in 2024*. https://news.az/news/azerbaijan-china-trade-volume-surpasses-3-billion-in-2024
19. Rzayeva, G. (2022). *Azərbaycan-Çin münasibətləri: iqtisadi, siyasi və mədəni aspektlərdə inkişaf dinamikası*. Bakı Dövlət Universiteti Elmi əsərləri, №2, 45–61.
20. Yusuf, S. (2019). *The Belt and Road Initiative: A Pathway to Regional Connectivity*. World Bank Group.

AVROPA İTTİFAQININ CƏNUBİ QAFQAZ SİYASƏTİNDƏ AZƏRBAYCAN FAKTORUNUN GEOSİYASİ VƏ ENERJİ DETERMİNANTLARI

Şəbnəm Mikayılova
Bakı Mühəndislik Universiteti
Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
Bakı, Azərbaycan
smikayilova@std.beu.edu.az

Xülasə: Məqalədə Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz regionuna yönəlmiş siyasətinin əsas istiqamətləri və bu siyasətdə Azərbaycanın rolu kompleks şəkildə təhlil olunur. Tədqiqat çərçivəsində Aİ-nin postsovet məkanında bazar iqtisadiyyatının təşviqi, institusional islahatların dəstəklənməsi və regional əməkdaşlıq mexanizmlərinin formalaşdırılması istiqamətində həyata keçirdiyi TACIS, TRACECA və INOGATE kimi proqramların əhəmiyyəti araşdırılmışdır. Eyni zamanda "Şərq Tərəfdaşlığı" təşəbbüsünün region ölkələri ilə münasibətlərin dərinləşdirilməsində rolu qiymətləndirilmişdir. Məqalədə göstərilir ki, Cənubi Qafqaz Avropa İttifaqı üçün yalnız coğrafi baxımdan deyil, həm də enerji təhlükəsizliyi və nəqliyyat-logistika baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır. Xüsusilə Azərbaycanın zəngin enerji resursları, tranzit potensialı və balanslaşdırılmış xarici siyasəti onu Aİ üçün etibarlı və prioritet tərəfdaşlardan birinə çevirmişdir. Aİ-nin region siyasətində mövcud olan ikili standartlar, üzv dövlətlər arasında yanaşma fərqləri və digər geosiyasi aktorların təsiri kimi amillərin bu siyasətin ardıcıl həyata keçirilməsini çətinləşdirdiyi əsaslandırılmışdır. Azərbaycanın Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz siyasətində rolu yalnız enerji amili ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda onun geostrateji mövqeyi və regional inteqrasiya proseslərindəki aktiv iştirakı ilə müəyyən olunur.

Açar sözlər: **Avropa İttifaqı, Cənubi Qafqaz, Azərbaycan, enerji təhlükəsizliyi, Şərq Tərəfdaşlığı**

Giriş

Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz üzrə sosial-iqtisadi siyasətində bazar iqtisadiyyatının təşviqi və Avropa kapitalı üçün əlverişli biznes mühitinin formalaşdırılması strateji prioritet kimi çıxış edir və bu yanaşma xüsusilə postsovet məkanında sistem transformasiyasının dəstəklənməsi ilə birbaşa bağlı olmuşdur. 1991-ci ildə Avropa Komissiyası tərəfindən başladılan TACIS (Technical Assistance to the Commonwealth of Independent States) proqramı məhz bu məqsədlə yeni müstəqil dövlətlərdə bazar iqtisadiyyatına keçidi sürətləndirmək, hüquqi-institusional islahatları dəstəkləmək və iqtisadi liberallaşmanı təşviq etmək üçün yaradılmışdır. Proqram çərçivəsində Avropa İttifaqı yalnız maliyyə resursları təqdim etməklə kifayətlənməmiş, eyni zamanda ekspert dəstəyi, təlim proqramları, normativ-hüquqi bazanın formalaşdırılması və dövlət idarəçiliyinin modernləşdirilməsi istiqamətində kompleks texniki yardım mexanizmləri tətbiq etmişdir (https://nuclear-safety-cooperation.ec.europa.eu/tacis_en).

TACIS proqramının miqyası kifayət qədər geniş olmuşdur: yalnız 1991–1994-cü illər ərzində proqram çərçivəsində təxminən 1,75 milyard avro (ECU) həcmində vəsait ayrılmış və 2000-dən artıq layihə həyata keçirilmişdir. Sonrakı illərdə bu göstəricilər daha da artaraq 1996-cı ilə qədər ümumi maliyyə öhdəliklərinin 2,8 milyard ECU-ya çatmasına səbəb olmuşdur (https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a248895f-32fa-4a79-87fb-f8046d3aa557). Bu fakt göstərir ki, Avropa İttifaqı regionda bazar iqtisadiyyatının formalaşdırılmasını epizodik deyil, sistemli və uzunmüddətli strategiya kimi həyata keçirmişdir. Proqramın əsas istiqamətləri arasında özəl sektorun inkişafı, dövlət müəssisələrinin restrukturizasiyası, nəqliyyat və telekommunikasiya infrastrukturlarının yenilənməsi, enerji sektorunun modernləşdirilməsi və insan resurslarının inkişafı xüsusi yer tutmuşdur (https://cordis.europa.eu/article/id/4390-what-is-tacis).

Onu da qeyd edək ki, TACIS çərçivəsində yaradılan əlaqələndirmə büroları və institusional əməkdaşlıq mexanizmləri Avropa İttifaqı ilə tərəfdaş ölkələr arasında davamlı idarəetmə əlaqələrinin formalaşmasına şərait yaratmışdır. Bu strukturlar vasitəsilə layihələrin planlaşdırılması, icrası və monitorinqi daha koordinasiyalı şəkildə həyata keçirilmiş, nəticədə yerli idarəetmə institutlarının Avropa standartlarına uyğunlaşdırılması prosesi sürətlənmişdir. Bu yanaşma təkcə texniki yardım deyil, eyni zamanda idarəetmə mədəniyyətinin transformasiyası baxımından da mühüm rol oynamışdır. TACIS proqramının mühüm komponentlərindən biri də regional nəqliyyat və tranzit əlaqələrinin inkişafına yönəlmiş təşəbbüslər olmuşdur. Xüsusilə 1993-cü ildə Brüsseldə əsası qoyulan TRACECA (Avropa–Qafqaz–Asiya nəqliyyat dəhlizi) təşəbbüsü Mərkəzi Asiya–Xəzər dənizi–Cənubi Qafqaz–Qara dəniz marşrutu üzrə alternativ

nəqliyyat koridorunun formalaşdırılmasını hədəfləmişdir. Bu layihə region ölkələrinin Avropa və qlobal bazarlara çıxış imkanlarını genişləndirməklə onların iqtisadi müstəqilliyini gücləndirməyə xidmət etmişdir. Eyni zamanda TRACECA ənənəvi olaraq Rusiyadan keçən nəqliyyat marşrutlarına alternativ yaratmaqla Avropa İttifaqının geoiqtisadi maraqlarının təmin olunmasına da töhfə vermişdir (https://moderndiplomacy.eu/2022/08/20/the-european-union-policy-in-the-south-caucasus/).

Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz regionuna artan marağı birbaşa olaraq Aİ-nin 2004 və 2007-ci illər genişlənmə dalğaları nəticəsində Qara dəniz hövzəsinə çıxış əldə etməsi ilə əlaqələndirilir. 2004-cü ildə Avropa İttifaqı tərkibinə Polşa, Slovakiya və digər Mərkəzi-Şərqi Avropa ölkələrinin, 2007-ci ildə isə Rumıniya və Bolqarıstanın daxil olması nəticəsində Aİ faktiki olaraq Qara dəniz regionunun birbaşa geosiyasi aktoruna çevrildi. Bu dəyişiklik Aİ-ni qonşuluq siyasətini yenidən formalaşdırmağa vadar etdi və 2004-cü ildə Avropa Qonşuluq Siyasəti (ENP) çərçivəsində Cənubi Qafqaz ölkələrinin vahid regional yanaşma əsasında nəzərdən keçirilməsi konsepsiyası ortaya çıxdı. Daha sonra 2009-cu ildə Şərq Tərəfdaşlığı təşəbbüsünün yaradılması bu yanaşmanı daha da institusional səviyyəyə yüksəltdi və Azərbaycan, Gürcüstan və Ermənistanı eyni geosiyasi platformada birləşdirdi (European Commission, 2004; 2009).

Lakin nəzəri baxımdan vahid geosiyasi məkan kimi qəbul edilən regiona münasibətdə praktik siyasət tam vahid olmamışdır. Avropa Komissiyasının və Avropa Xarici Fəaliyyət Xidmətinin sənədlərində region ölkələrinə diferensial yanaşma prinsipi ("more for more") tətbiq edilsə də, üzv dövlətlərin milli maraqları bu siyasətin ardıcıl tətbiqinə mane olmuşdur. Məsələn, enerji təhlükəsizliyi baxımından bəzi Aİ ölkələrinin Azərbaycanla daha praqmatik əməkdaşlığa üstünlük verməsi, digər tərəfdən isə insan hüquqları və demokratik institutlar məsələsində selektiv yanaşmaların müşahidə olunması bu ikili standartların real təzahürüdür (Smith, K.E., 2013; Delcour, L., 2017). Bu isə nəticə etibarilə Aİ-nin regionda vahid və təsirli xarici siyasət xətti formalaşdırmaq imkanlarını məhdudlaşdırır və onun normativ güc iddiası ilə geosiyasi maraqları arasında ziddiyyət yaradır.

Geosiyasi baxımdan isə Avropa İttifaqı Cənubi Qafqazı yalnız periferiya regionu kimi deyil, Avropa ilə Asiya arasında körpü funksiyası daşıyan strateji məkan kimi qiymətləndirir. Xüsusilə Azərbaycan və Gürcüstan bu kontekstdə xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Dünya Bankının məlumatına görə, son onillikdə Azərbaycanın ÜDM-i regionda ən yüksək göstəricilərdən biri olmuş və ölkə enerji ixracatçısı kimi qlobal bazarda mühüm mövqeyə malikdir (World Bank, 2023). Eyni zamanda Gürcüstanın nəqliyyat və logistika sahəsində apardığı islahatlar onu regionun əsas tranzit qovşaqlarından birinə çevirmişdir.

Cənubi Qafqazın strateji əhəmiyyəti onun coğrafi mövqeyi ilə daha da güclənir. Region Avropa üçün Xəzər hövzəsi, Mərkəzi Asiya, İran və Çin istiqamətlərinə çıxışı təmin edən alternativ marşrut kimi çıxış edir və bu xüsusilə son illərdə "Orta Dəhliz" (Trans-Caspian International Transport Route) layihəsi çərçivəsində daha da aktuallaşmışdır. 2022–2024-cü illərdə bu dəhliz üzrə yükdaşımaların həcminin bir neçə dəfə artması Aİ-nin regiona marağının iqtisadi əsaslarının gücləndiyini göstərir (World Bank, 2024).

Bu kontekstdə Azərbaycanın rolu xüsusilə ön plana çıxır. Enerji resursları, nəqliyyat infrastrukturu (Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu, Cənub Qaz Dəhlizi) və balanslaşdırılmış xarici siyasət kursu sayəsində Azərbaycan qısa müddətdə regionda aparıcı aktora çevrilmişdir. Avropa Komissiyasının 2022-ci ildə Azərbaycanla imzaladığı enerji sahəsində strateji tərəfdaşlıq memorandumu da bu reallığın institusional təsdiqi kimi qiymətləndirilə bilər (European Commission, 2022). Bununla yanaşı, Avropa siyasi və ekspert dairələrində Azərbaycanın artan geosiyasi çəkisinin qəbul olunması ilə bağlı tendensiya da müşahidə edilir ki, bu da regionda güc balansının yenidən formalaşdığını göstərir (https://caliber.az/en/post/azerbaijan-s-new-status-and-eu-logic-in-south-caucasus).

Regionla bağlı formalaşmış bəzi stereotiplər və siyasi yanaşmalar Avropa İttifaqı-nın Cənubi Qafqaz siyasətində balansın tam təmin olunmasına ciddi şəkildə mane olur. Bu stereotiplər əsasən regionun "konflikt zonası" kimi qəbul edilməsi, siyasi sabitliyin zəif qiymətləndirilməsi və institutların dayanıqlığına dair şübhələrlə bağlıdır ki, bu da Aİ-nin regiona münasibətdə daha ehtiyatlı və bəzən selektiv siyasət yürütməsinə səbəb olur. Halbuki son onillikdə region ölkələrində iqtisadi və institusional inkişaf istiqamətində müəyyən irəliləyişlər müşahidə olunmuşdur.

Xüsusilə beynəlxalq terrorizm, qeyri-qanuni miqrasiya, enerji təhlükəsizliyi və regional münaqişələr kimi təhlükəsizlik risklərinin artdığı müasir geosiyasi şəraitdə Cənubi Qafqazın Avropa üçün strateji əhəmiyyəti daha da yüksəlmişdir. Avropa Parlamentinin və Avropa Xarici Fəaliyyət Xidmətinin sənədlərində region "Avropa təhlükəsizlik arxitekturasının ayrılmaz hissəsi" kimi xarakterizə olunur (European External Action Service, 2021). Bu baxımdan Cənubi Qafqaz yalnız periferiya deyil, həm də təhlükəsizlik bufer zonası kimi qiymətləndirilir.

Bu kontekstdə Rusiya tərəfindən təşviq olunan Avrasiya İqtisadi İttifaqı modeli ilə Avropa İttifaqı-nın təklif etdiyi inteqrasiya yanaşması arasında rəqabət açıq şəkildə müşahidə olunur. Avrasiya inteqrasiyası daha çox mərkəzləşdirilmiş və siyasi təsirə əsaslanan model kimi çıxış etdiyi halda, Aİ özünü normativ güc kimi təqdim edərək hüquqi islahatlar, bazar iqtisadiyyatı və institusional inkişaf vasitəsilə təsirini genişləndirməyə çalışır (Delcour, L., 2017). Lakin bu rəqabət fonunda Aİ-nin təsir imkanları hər zaman vahid və effektiv olmur, çünki üzv dövlətlərin regiona yanaşmaları fərqlənir.

Rusiya regionda tarixi, hərbi və siyasi təsir rıçaqlarını qoruyub saxlamağa çalışdığı halda, Avropa İttifaqı Cənubi Qafqazda geosiyasi proseslərdən kənarda qalmamaq üçün həm ikitərəfli (assosiasiya sazişləri, tərəfdaşlıq sənədləri), həm də çoxtərəfli platformalar (məsələn, Şərq Tərəfdaşlığı) vasitəsilə mövcudluğunu gücləndirməyə cəhd göstərir. Bununla belə, Aİ daxilində siyasi prioritetlərin fərqli olması, xüsusilə enerji maraqları ilə normativ dəyərlər arasında ziddiyyətlərin mövcudluğu onun regionda vahid və ardıcıl siyasət həyata keçirməsini çətinləşdirir (Smith, K.E., 2013).

Cənubi Qafqaz regionu Avropa İttifaqı üçün ilk növbədə enerji və nəqliyyat-kommunikasiya layihələri baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır və bu, konkret faktlarla da təsdiqlənir. Xəzər dənizi hövzəsində yerləşən zəngin enerji ehtiyatları, xüsusilə Azərbaycan-ın neft və təbii qaz hasilatının artımı regionun qlobal enerji bazarındakı rolunu əhəmiyyətli dərəcədə gücləndirmişdir. Məsələn, 2023-cü ildə Azərbaycanın təbii qaz hasilatı təxminən 48 milyard kubmetr təşkil etmiş və bunun əhəmiyyətli hissəsi ixrac olunmuşdur (BP Statistical Review of World Energy, 2024).

Onu da qeyd edək ki, Avropa İttifaqı ilə Azərbaycan arasında 2022-ci ildə imzalanmış enerji sahəsində strateji tərəfdaşlıq memorandumu çərçivəsində 2027-ci ilə qədər Avropaya ixrac olunan qaz həcminin ildə 20 milyard kubmetrə çatdırılması planlaşdırılır (European Commission, 2022). Bu fakt bir daha göstərir ki, Azərbaycan Aİ-nin enerji təhlükəsizliyi strategiyasında yalnız alternativ deyil, eyni zamanda əsas tərəfdaşlardan biri kimi çıxış edir.

Regionun nəqliyyat-logistika potensialı da Aİ üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Xəzər dənizi vasitəsilə Mərkəzi Asiya ilə əlaqə, eləcə də Bakı–Tbilisi–Qars dəmir yolu və Transxəzər nəqliyyat dəhlizi kimi layihələr Avropa ilə Asiya arasında alternativ ticarət marşrutlarının formalaşdırılmasına xidmət edir. Dünya Bankının məlumatına görə, Orta Dəhliz üzrə yükdaşımaların həcmi son illərdə bir neçə dəfə artaraq regionun qlobal logistika sistemində rolunu gücləndirmişdir (World Bank, 2024).

Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz siyasətində Şərq Tərəfdaşlığı təşəbbüsü xüsusi institusional və geosiyasi əhəmiyyətə malikdir. 2009-cu ildə Praqa sammitində təsis edilmiş bu təşəbbüs Avropa Qonşuluq Siyasətinin məntiqi davamı kimi çıxış etsə də, ondan fərqli olaraq daha dərin inteqrasiya, sektorlararası əməkdaşlıq və diferensial yanaşma prinsiplərini özündə birləşdirir (European Commission, 2009). Proqram altı tərəfdaş ölkəni – Azərbaycan, Gürcüstan, Ermənistan, Ukrayna, Moldova və Belarus – əhatə edərək siyasi assosiasiya, iqtisadi inteqrasiya və normativ uyğunlaşma istiqamətlərində konkret mexanizmlər təqdim etmişdir. Bu çərçivədə yaradılmış dörd əsas tematik platforma (demokratiya və yaxşı idarəetmə; iqtisadi inteqrasiya və bazar uyğunlaşması; enerji təhlükəsizliyi; insanlararası əlaqələr) region ölkələri ilə əməkdaşlığın sistemli şəkildə inkişafına xidmət etmişdir (European External Action Service, 2021).

Azərbaycan-ın bu təşəbbüsdə iştirakı xüsusilə praqmatik xarakter daşıyır və digər bəzi tərəfdaş ölkələrdən fərqli olaraq daha çox iqtisadi və enerji əməkdaşlığı üzərində fokuslanır. Azərbaycan Aİ ilə Assosiasiya Sazişi imzalamasa da, 1999-cu ildən qüvvədə olan Tərəfdaşlıq və Əməkdaşlıq Sazişi və sonrakı dövrdə aparılan yeni çərçivə sazişi danışıqları vasitəsilə hüquqi və institusional əməkdaşlığını davam etdirmişdir (European Commission, 2022). Bu, göstərir ki, Azərbaycan Aİ ilə münasibətlərdə selektiv inteqrasiya modelinə üstünlük verir və milli maraqlarını qorumaqla əməkdaşlığı dərinləşdirir.

"Şərq Tərəfdaşlığı" çərçivəsində enerji təhlükəsizliyi platforması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Aİ üçün əsas prioritetlərdən biri enerji təchizatının şaxələndirilməsi və alternativ marşrutların formalaşdırılması olmuşdur. Bu kontekstdə Azərbaycanın rolu xüsusilə kritikdir. 2022-ci ildə Avropa Komissiyası ilə Azərbaycan arasında imzalanmış enerji üzrə strateji tərəfdaşlıq memorandumu çərçivəsində Avropaya qaz ixracının 2027-ci ilə qədər illik 20 milyard kubmetrə çatdırılması hədəflənmişdir (European Commission, 2022). Bu göstərici Azərbaycanın artıq Aİ üçün alternativ deyil, əsas enerji tərəfdaşlarından birinə çevrildiyini nümayiş etdirir.

Enerji resurslarının hasilatı və nəqli marşrutlarına nəzarət müasir geosiyasətdə həlledici rol oynadığından, Azərbaycan bu kontekstdə regional güc mərkəzi kimi çıxış edir. Xəzər hövzəsində yerləşməsi, inkişaf etmiş boru kəməri infrastrukturu (Cənub Qaz Dəhlizi, TANAP, TAP) və sabit enerji siyasəti ölkəni Aİ üçün etibarlı tərəfdaşa çevirmişdir (BP, 2024; European Commission, 2022). Bu baxımdan Adıgözəlovun qeyd

etdiyi kimi, Azərbaycanın enerji və tranzit imkanları onun Aİ siyasətində həlledici aktor kimi çıxış etməsini şərtləndirir (Adıgözəlov, 2013: 188).

Bununla yanaşı, Avropa İttifaqı-nın Cənubi Qafqaz siyasəti digər geosiyasi aktorların, xüsusilə Rusiya-nın təsir amilini nəzərə almadan formalaşa bilməz. Rusiya regionda hərbi, siyasi və iqtisadi təsir rıçaqlarını qoruyub saxladığı halda, Aİ daha çox iqtisadi və normativ alətlər vasitəsilə mövcudluğunu gücləndirməyə çalışır. Bu rəqabət mühiti Azərbaycan üçün balanslaşdırılmış xarici siyasət yürütmək imkanları yaratmışdır. Azərbaycan eyni zamanda həm Aİ, həm də digər regional aktorlarla əməkdaşlığı paralel şəkildə inkişaf etdirərək öz strateji manevr imkanlarını genişləndirmişdir. Məhz bu balanslaşdırılmış yanaşma Azərbaycanın Aİ tərəfindən etibarlı və praqmatik tərəfdaş kimi qəbul olunmasının əsas səbəblərindən biridir (Delcour, 2017).

Avropa İttifaqının regionda mövcudluğunun güclənməsi yalnız "Şərq Tərəfdaşlığı" ilə məhdudlaşmır, həm də müxtəlif sektorial proqramlar vasitəsilə həyata keçirilir. TACIS, TRACECA və INOGATE proqramları bu baxımdan xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Xüsusilə TRACECA (Transport Corridor Europe–Caucasus–Asia) layihəsi çərçivəsində Avropa İttifaqı alternativ nəqliyyat dəhlizlərinin formalaşdırılmasına dəstək vermişdir. 1998-ci ildə Bakı şəhərində imzalanmış çoxtərəfli saziş bu təşəbbüsün hüquqi əsasını təşkil etmiş və regionun Avropa nəqliyyat şəbəkəsinə inteqrasiyasını sürətləndirmişdir (TRACECA, 1998). Azərbaycanın coğrafi mövqeyi – Avropa ilə Asiya arasında körpü rolunu oynaması – onu bu dəhlizdə əsas tranzit mərkəzə çevirmişdir (Adıgözəlov, 2013: 189).

Enerji sahəsində isə INOGATE proqramı vasitəsilə Aİ Xəzər regionunda enerji infrastrukturunun modernləşdirilməsinə və idarəetmə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsinə texniki dəstək göstərmişdir. Bu proqram xüsusilə enerji bazarlarının liberallaşdırılması, enerji effektivliyinin artırılması və enerji təchizatının təhlükəsizliyinin gücləndirilməsi məqsədlərini əhatə etmişdir (European Commission, 2011). Bu isə bir daha göstərir ki, Aİ üçün Azərbaycan yalnız xammal mənbəyi deyil, həm də enerji təhlükəsizliyi sisteminin struktur elementi kimi qiymətləndirilir.

Nəticə

Cənubi Qafqaz ölkələrinin Avropa Qonşuluq Siyasəti çərçivəsində əməkdaşlığa cəlb olunması Aİ-yə regionda daha geniş maliyyə və institusional alətlərdən istifadə imkanı yaratmışdır. Bu kontekstdə Azərbaycan Aİ ilə əməkdaşlıq vasitəsilə iqtisadi inkişafını sürətləndirmək, nəqliyyat-logistika imkanlarını genişləndirmək və xarici siyasətini şaxələndirmək imkanı əldə etmişdir. Aİ üçün isə Azərbaycan regionda iqtisadi sabitliyin qorunması, enerji və nəqliyyat təhlükəsizliyinin təmin olunması baxımından əsas strateji tərəfdaş kimi çıxış edir.

Beləliklə, Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz siyasətində Azərbaycan faktoru yalnız enerji resursları ilə məhdudlaşmır, həm də tranzit-logistika potensialı, geostrateji mövqeyi və balanslaşdırılmış xarici siyasət kursu ilə müəyyən olunur. Azərbaycan Aİ üçün həm regional əməkdaşlıq tərəfdaşı, həm də Avropanın uzunmüddətli enerji və təhlükəsizlik strategiyalarının həyata keçirilməsində həlledici rol oynayan əsas aktorlardan biri kimi çıxış edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Adıgözəlov, K. (2013). Avropa İttifaqının geosiyasi kursunda Cənubi Qafqaz ölkələrinin yeri. Dirçəliş jurnalı, (180), 187–195.
2. BP. (2024). Statistical Review of World Energy 2024. London: BP. Link: https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html
3. Delcour, L. (2017). The EU and Russia in their 'contested neighbourhood': Multiple external influences, policy transfer and domestic change. Routledge.
4. European Commission. (2004). European Neighbourhood Policy: Strategy Paper. Brussels. Link: https://ec.europa.eu/neighbourhood-enlargement0
5. European Commission. (2009). Eastern Partnership Communication. Brussels. Link: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_09_185
6. European Commission. (2011). INOGATE Programme: Energy cooperation between the EU and partner countries. Brussels. Link: https://energy.ec.europa.eu
7. European Commission. (2022). Memorandum of Understanding on a Strategic Partnership in the Field of Energy between the European Union and Azerbaijan. Brussels. Link: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_4550
8. European External Action Service. (2021). Eastern Partnership policy beyond 2020: Reinforcing resilience. Brussels. Link: https://www.eeas.europa.eu

9. Smith, K. E. (2013). European Union Foreign Policy in a Changing World (3rd ed.). Cambridge: Polity Press.
10. TRACECA. (1998). Basic Multilateral Agreement on International Transport for Development of the Europe–Caucasus–Asia Corridor. Baku. Link: http://www.traceca-org.org
11. World Bank. (2023). World Development Indicators: Azerbaijan. Washington, DC: World Bank. Link: https://data.worldbank.org
12. World Bank. (2024). Middle Corridor Trade and Transport Facilitation Report. Washington, DC: World Bank. Link: https://www.worldbank.org
13. European Commission. TACIS Programme Overview. Link: https://nuclear-safety-cooperation.ec.europa.eu/tacis_en
14. Publications Office of the European Union. (n.d.). TACIS Programme Reports. Link: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a248895f-32fa-4a79-87fb-f8046d3aa557
15. CORDIS. What is TACIS? Link: https://cordis.europa.eu/article/id/4390-what-is-tacis
16. Modern Diplomacy. (2022). The European Union policy in the South Caucasus. Link: https://moderndiplomacy.eu/2022/08/20/the-european-union-policy-in-the-south-caucasus/
17. Caliber.az. (2023). Azerbaijan's new status and EU logic in South Caucasus. Link: https://caliber.az/en/post/azerbaijan-s-new-status-and-eu-logic-in-south-caucasus

AVROPA İTTİFAQININ CƏNUBİ QAFQAZ SİYASƏTİNDƏ AZƏRBAYCAN FAKTORUNUN GEOSİYASİ VƏ İQTİSADİ ROLU

Şəbnəm Mikayılova
Bakı Mühəndislik Universiteti
Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
Bakı, Azərbaycan
smikayilova@std.beu.edu.az

Xülasə: Bu məqalədə Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz regionuna yönəlmiş sosial-iqtisadi və geosiyasi siyasəti, eləcə də bu siyasətdə Azərbaycan faktorunun rolu təhlil olunur. Tədqiqat çərçivəsində Aİ-nin bazar iqtisadiyyatının təşviqi, enerji təhlükəsizliyinin təmin olunması və nəqliyyat-kommunikasiya layihələrinin inkişafı istiqamətində həyata keçirdiyi proqramlar (TACIS, TRACECA, INOGATE və "Şərq Tərəfdaşlığı") kompleks şəkildə araşdırılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, Cənubi Qafqaz regionu Avropa İttifaqı üçün yalnız enerji ehtiyatları baxımından deyil, həm də geostrateji mövqeyi və tranzit imkanları ilə xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Məqalədə Azərbaycanın enerji resursları, nəqliyyat-logistika potensialı və balanslaşdırılmış xarici siyasəti sayəsində Aİ üçün etibarlı və strateji tərəfdaş kimi formalaşdığı əsaslandırılır. Eyni zamanda Aİ-nin region siyasətində mövcud olan daxili ziddiyyətlər və ikili standartların onun vahid və ardıcıl siyasət yürütməsinə təsiri də qiymətləndirilir. Beləliklə, Azərbaycan Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz siyasətində həlledici aktor kimi çıxış edir və regionda geosiyasi balansın formalaşmasında mühüm rol oynayır.
Açar sözlər: **Avropa İttifaqı, Cənubi Qafqaz, Azərbaycan, enerji təhlükəsizliyi, Şərq Tərəfdaşlığı**

Abstract: This article analyzes the socio-economic and geopolitical policy of the European Union towards the South Caucasus region, as well as the role of the Azerbaijani factor in this policy. Within the framework of the study, the EU's programs aimed at promoting a market economy, ensuring energy security and developing transport and communication projects (TACIS, TRACECA, INOGATE and "Eastern Partnership") were comprehensively examined. It was determined that the South Caucasus region is of particular importance for the European Union not only in terms of energy resources, but also with its geostrategic position and transit opportunities. The article substantiates that Azerbaijan has formed a reliable and strategic partner for the EU thanks to its energy resources, transport and logistics potential and

balanced foreign policy. At the same time, the impact of internal contradictions and double standards in the EU's regional policy on its implementation of a unified and consistent policy is also assessed. Thus, Azerbaijan acts as a decisive actor in the European Union's South Caucasus policy and plays an important role in the formation of geopolitical balance in the region.
Keywords: **European Union, South Caucasus, Azerbaijan, energy security, Eastern Partnership**

Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz üzrə sosial-iqtisadi siyasətində əsas istiqamətlərdən biri bazar iqtisadiyyatı prinsiplərinin təşviqi və Avropa kapitalı üçün cəlbedici biznes mühitinin yaradılması ilə bağlıdır. Bu məqsədlə Aİ postsovet məkanına daxil olan ölkələrə, o cümlədən Cənubi Qafqaz dövlətlərinə maliyyə və texniki yardım göstərmiş, xüsusilə TACIS proqramı vasitəsilə mühüm dəstək mexanizmləri formalaşdırmışdır. Həmin proqram çərçivəsində yeni müstəqil dövlətlərdə əlaqələndirici qurumların yaradılması institusional əməkdaşlığın genişlənməsinə və idarəetmə potensialının gücləndirilməsinə xidmət etmişdir. Eyni zamanda TACIS proqramının prioritet istiqamətlərindən biri Mərkəzi Asiya–Xəzər dənizi–Cənubi Qafqaz–Qara dəniz marşrutu üzrə nəqliyyat və tranzit imkanlarının effektiv istifadəsini təmin etməklə regionun iqtisadi inkişafını stimullaşdırmaq olmuşdur.

Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaza marağının artması müəyyən mənada onun Qara dəniz hövzəsini də əhatə edən genişlənmə siyasəti ilə sıx bağlıdır. Bu kontekstdə Aİ regiona ayrı-ayrı dövlətlər prizmasından deyil, vahid geosiyasi məkan kimi yanaşmağa üstünlük verir. Belə yanaşma nəzəri baxımdan Cənubi Qafqaz ölkələrinə ümumi strateji çərçivədə münasibət formalaşdırmağa imkan versə də, praktikada bu prinsipin tam şəkildə tətbiq olunmadığı müşahidə edilir. Bir sıra Avropa dövlətlərinin bu yanaşmanı daha çox formal səviyyədə dəstəkləməsi nəticəsində region ölkələrinə münasibətdə müəyyən qeyri-bərabərlik və ikili standartlar ortaya çıxır ki, bu da Aİ-nin bölgədə ardıcıl və effektiv siyasət yürütməsini məhdudlaşdıran amillərdən biri kimi qiymətləndirilir (Delcour, L. 2017).

Ümumilikdə, Avropa İttifaqı geosiyasi baxımdan Cənubi Qafqazda mövqelərini gücləndirməyə və təsir imkanlarını genişləndirməyə çalışır və bu kontekstdə Azərbaycan və Gürcüstan xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Region yalnız enerji resursları ilə deyil, həm də əlverişli coğrafi mövqeyi, iqtisadi potensialı və inkişaf edən nəqliyyat-logistika infrastrukturu ilə seçilir. Cənubi Qafqaz Avropa üçün Xəzər hövzəsinə, İran, Mərkəzi Asiya və Çin istiqamətlərinə çıxışı təmin edən strateji keçid məkanı kimi dəyərləndirilir. Bu çərçivədə son illərdə regional güc kimi mövqeyini möhkəmləndirən Azərbaycan Avropa İttifaqının region siyasətində əsas tərəfdaşlardan birinə çevrilmişdir. Azərbaycanın artan geosiyasi rolunun Avropa dairələri tərəfindən getdikcə daha çox qəbul olunması da bu reallığın təsdiqi kimi çıxış edir (https://caliber.az/en/post/azerbaijan-s-new-status-and-eu-logic-in-south-caucasus).

Onu da qeyd edək ki, regiona dair formalaşmış müəyyən stereotiplər və siyasi yanaşmalar Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz siyasətində tam balansın təmin olunmasına müəyyən dərəcədə maneə yaradır. Xüsusilə beynəlxalq terrorizm təhlükələrinin artdığı və təhlükəsizlik risklərinin genişləndiyi müasir şəraitdə Cənubi Qafqazın Avropanın ümumi sabitliyi və təhlükəsizliyi baxımından əhəmiyyəti daha da artmışdır. Bu kontekstdə Avropa İttifaqı postsovet məkanında Rusiyanın təşviq etdiyi "Avrasiya inteqrasiyası" modelinə alternativ yanaşma formalaşdırmağa çalışır. Rusiya regionda ənənəvi təsir imkanlarını qoruyub saxlamağa üstünlük verdiyi halda, Avropa İttifaqı da Cənubi Qafqazda baş verən geosiyasi proseslərdən kənarda qalmaq niyyətində olmadığını nümayiş etdirir. Bu məqsədlə Aİ həm ikitərəfli əməkdaşlıq formatlarını, həm də regional təşəbbüsləri genişləndirərək çoxtərəfli münasibətlər sisteminin qurulmasına cəhd göstərir. Lakin buna baxmayaraq, Avropa İttifaqının daxili siyasətində mövcud olan fikir ayrılıqları və yanaşma fərqləri onun Cənubi Qafqazda vahid və ardıcıl strategiya formalaşdırmasını hələ də çətinləşdirən əsas amillərdən biri kimi qalır (European Commission, 2020).

Cənubi Qafqaz regionu Avropa İttifaqı üçün ilk növbədə enerji və nəqliyyat-kommunikasiya baxımından mühüm strateji əhəmiyyətə malikdir. Xəzər hövzəsində yerləşən zəngin enerji ehtiyatları, xüsusilə Azərbaycanın neft və təbii qaz hasilatının artım potensialı regionun qlobal enerji bazarındakı rolunu daha da gücləndirmişdir. Bu isə Avropa dövlətlərinin enerji təhlükəsizliyi və mənbələrin şaxələndirilməsi siyasəti çərçivəsində Cənubi Qafqaza marağını əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır. Bu baxımdan Azərbaycan Avropa İttifaqı üçün etibarlı enerji tərəfdaşı kimi çıxış edir və Avropanın enerji asılılığının azaldılması istiqamətində mühüm rol oynayır. Eyni zamanda regionun tranzit və logistika imkanları da Avropa ilə Asiya arasında əlaqələrin genişləndirilməsi baxımından əlavə strateji dəyər formalaşdırır.

Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz siyasətində "Şərq Tərəfdaşlığı" təşəbbüsü mühüm yer tutur. Bu proqram Avropa Qonşuluq Siyasətindən fərqli olaraq region ölkələrinə daha geniş geosiyasi çərçivədə yanaşmanı nəzərdə tutur və Cənubi Qafqaz dövlətlərinin inteqrasiya proseslərinə kompleks və sistemli yanaşmanı əks

etdirir. Azərbaycanın bu təşəbbüs çərçivəsində iştirakı Aİ ilə münasibətlərin hüquqi, institusional və iqtisadi əsaslar üzərində daha da dərinləşdirilməsinə imkan yaratmışdır. "Şərq Tərəfdaşlığı" çərçivəsində yaradılmış tematik platformalar, xüsusilə enerji təhlükəsizliyi və nəqliyyat infrastrukturu istiqamətində əməkdaşlığın genişlənməsi Azərbaycanın regiondakı mövqeyini daha da gücləndirmişdir. Bu kontekstdə Aİ-nin enerji təhlükəsizliyi siyasətində əsas hədəflərdən biri enerji nəqli infrastrukturlarının inkişaf etdirilməsi və təchizat mənbələrinin şaxələndirilməsi olmuşdur. Azərbaycanın Xəzər hövzəsində yerləşməsi və enerji ixracında tutduğu aparıcı mövqe Avropa İttifaqı ilə strateji tərəfdaşlıq münasibətlərinin formalaşmasını zəruri etmişdir. Enerji ehtiyatlarının hasilatı və nəqli marşrutlarına nəzarətin geosiyasi proseslərə təsiri nəzərə alındıqda, Azərbaycanın Aİ-nin Cənubi Qafqaz siyasətində həlledici aktor kimi çıxış etdiyi aydın olur (Adıgözəlov, K. 2013: 188.).

Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz siyasəti regionda fəaliyyət göstərən digər geosiyasi aktorların, xüsusilə Rusiyanın təsir imkanları nəzərə alınmaqla formalaşdırılır. Belə şəraitdə Azərbaycan balanslaşdırılmış xarici siyasət strategiyası həyata keçirərək həm Avropa İttifaqı, həm də digər tərəfdaşlarla əməkdaşlığı milli maraqlar çərçivəsində davam etdirmək imkanını qoruyub saxlamışdır. Bu praqmatik və çevik yanaşma Azərbaycanın Aİ üçün etibarlı və rasional tərəfdaş kimi qəbul olunmasını təmin edən əsas amillərdən biri kimi çıxış edir (Frear, T., Kearns, I., & Kulesa, L., 2017).

Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz siyasətində Azərbaycan faktorunun güclənməsi müxtəlif regional və sektorial proqramlar vasitəsilə reallaşmışdır. TACIS, TRACECA və INOGATE kimi təşəbbüslər Aİ-nin regionda iqtisadi, nəqliyyat və enerji sahələrində iştirakını təmin edən əsas əməkdaşlıq mexanizmləri olmuşdur. Xüsusilə TRACECA proqramı çərçivəsində diqqət Azərbaycan və Gürcüstanın nəqliyyat-logistika potensialının inkişafına, Avropa bazarlarına alternativ çıxış imkanlarının yaradılmasına və regionun Avropa nəqliyyat sisteminə inteqrasiyasına yönəldilmişdir. Bu baxımdan Azərbaycanın əlverişli coğrafi mövqeyi onu Avropa ilə Asiya arasında mühüm tranzit mərkəzinə çevirmişdir (Adıgözəlov, K. 2013: 189).

Enerji sahəsində isə INOGATE proqramı vasitəsilə Avropa İttifaqı Xəzər hövzəsində, xüsusilə Azərbaycanda mövcud enerji infrastrukturunun modernləşdirilməsinə, idarəetmə imkanlarının genişləndirilməsinə və enerji resurslarının Avropa bazarlarına alternativ marşrutlarla çatdırılmasına texniki dəstək göstərmişdir. Bu yanaşma Aİ-nin Cənubi Qafqaz siyasətində Azərbaycanın enerji potensialına və infrastruktur imkanlarına verdiyi əhəmiyyətin bariz göstəricisidir.

Cənubi Qafqaz ölkələrinin Avropa Qonşuluq Siyasətinə qoşulması Avropa İttifaqına regionda daha geniş institusional və maliyyə alətlərindən istifadə etmək imkanı yaratmışdır. Bu çərçivədə Azərbaycan Aİ ilə əməkdaşlıq sayəsində xarici siyasətini şaxələndirmək, iqtisadi inkişafını sürətləndirmək və regional layihələrdə mövqeyini möhkəmləndirmək imkanları əldə etmişdir. Avropa İttifaqı üçün isə Azərbaycan regionda iqtisadi sabitliyin təmin olunması, nəqliyyat təhlükəsizliyinin gücləndirilməsi və enerji təminatının şaxələndirilməsi baxımından əsas tərəfdaşlardan biri kimi qiymətləndirilir.

Beləliklə, Avropa İttifaqının Cənubi Qafqaz siyasətində Azərbaycan amili enerji ehtiyatları, tranzit imkanları və geostrateji mövqeyi ilə müəyyən edilir. Azərbaycan Aİ üçün yalnız regional əməkdaşlıq tərəfdaşı deyil, eyni zamanda Avropanın Cənubi Qafqazda uzunmüddətli maraqlarının həyata keçirilməsində mühüm rol oynayan strateji aktor kimi çıxış edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Adıgözəlov, K. (2013). Avropa İttifaqının geosiyasi kursunda Cənubi Qafqaz ölkələrinin yeri. Dirçəliş, (180), 187–195.
2. Delcour, L. (2017). The EU and Russia in Their 'Contested Neighbourhood': Multiple External Influences, Policy Transfer and Domestic Change. Routledge.
3. European Commission (2020). Eastern Partnership Policy beyond 2020: Reinforcing Resilience – an Eastern Partnership that delivers for all. Brussels.
4. Frear, T., Kearns, I., & Kulesa, L. (2017). Dangerous Brinkmanship: Close Military Encounters Between Russia and the West in 2014–2016. European Leadership Network.
5. https://caliber.az/en/post/azerbaijan-s-new-status-and-eu-logic-in-south-caucasus

DÖVLƏT QULLUQÇULARININ FƏALİYYƏTİNİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNDƏ BEYNƏLXALQ STANDARTLARLA MÜQAYİSƏLİ TƏHLİL

Ziyəddin Abasquluzadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
Bakı, Azərbaycan
zabbasquluzade@std.beu.edu.az

Xülasə: Qlobal idarəetmə təcrübəsi göstərir ki, dövlət qulluğunda fəaliyyətin qiymətləndirilməsi yalnız əmək nəticələrinin ölçülməsi funksiyasını daşımır, eyni zamanda insan resurslarının inkişafını stimullaşdırmaq, motivasiya mexanizmlərini gücləndirmək, vətəndaş məmnunluğunu artırmaq, dövlət xidmətlərinin nəticəyönümlülüyünü təmin etmək üçün əsas strateji alət kimi çıxış edir.
Müqayisəli təhlil zamanı OECD ölkələri, ABŞ, Böyük Britaniya, Estoniya, Sinqapur kimi qabaqcıl idarəçilik modellərinə malik dövlətlərin təcrübəsi araşdırılır. Bu sistemlərdə fəaliyyətin qiymətləndirilməsi çoxkanallı (360° qiymətləndirmə), hədəf və nəticələrə əsaslanan (KPİ – Key Performance Indicators), kompetensiya yanaşmasına söykənən və rəqəmsal monitorinq platformaları ilə dəstəklənən mexanizmlərə malikdir. Bir sıra ölkələrdə qiymətləndirmə nəticələri dövlət qulluqçularının karyera yüksəlişinə, mükafatlandırılmasına, təlim ehtiyaclarının müəyyənləşdirilməsinə və performans menecmentinin optimallaşdırılmasına birbaşa təsir edir.
Azərbaycan Respublikasında dövlət qulluğunda aparılan institusional islahatlar, elektron insan resursları idarəetməsi və fəaliyyətin qiymətləndirməsi mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi beynəlxalq standartlara uyğunlaşma istiqamətində mühüm addımların atıldığını göstərir. Bununla belə, qiymətləndirmə meyarlarının daha dəqiq modelləşdirilməsi, şəffaf göstəricilərin tətbiqi, nəticəlilik indikatorlarının genişləndirilməsi, vətəndaş məmnunluğu ölçmə alqoritmlərinin gücləndirilməsi vacibdir.
Aparılan araşdırma göstərir ki, beynəlxalq standartlara əsaslanan performans qiymətləndirmə modeli dövlət qulluğunun peşəkarlıq səviyyəsini artırmaqla yanaşı, dövlət orqanlarında idarəetmənin innovativliyinə, rəqabətədavamlı insan kapitalının formalaşmasına və dövlət xidmətlərinin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə mühüm töhfə verə bilər. Bu baxımdan, mövzunun həm elmi-tədqiqat, həm də praktik tətbiq dəyəri yüksəkdir.
Açar sözlər: **Dövlət, fəaliyyət, beynəlxalq, performans, idarəetmə, kompetensiya, insan, şəffaflıq, məsuliyyətlilik, vətəndaş, OECD**

Giriş

Müasir dövrdə dövlət idarəçiliyinin transformasiyası şəffaflıq, məsuliyyətlilik, səmərəlilik və innovativlik kimi prinsiplərə əsaslanan yeni idarəetmə modelinin formalaşmasına səbəb olmuşdur. Dövlət orqanlarının və dövlət qulluqçularının fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi isə bu modelin ən mühüm tərkib hissələrindən biridir. Fəaliyyətin qiymətləndirilməsi yalnız dövlət qulluqçusunun iş nəticələrinin ölçülməsi kimi dar çərçivədə deyil, həm də insan resurslarının inkişafı, xidmətlərin keyfiyyətinin yüksəldilməsi, vətəndaş məmnunluğunun artırılması və dövlət idarəçiliyinin nəticəyönümlülüyünün təmin edilməsi baxımından strateji əhəmiyyətə malikdir.
Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, inkişaf etmiş ölkələrdə dövlət qulluqçularının fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi çoxkomponentli və sistemli yanaşmaya əsaslanır. Bu sistemlərdə əsasən nəticə və hədəflərə əsaslanan qiymətləndirmə (Result-Based Management, KPI**),** 360° qiymətləndirmə**,** kompetensiya modelinə əsaslanan performans yanaşmaları**, və** rəqəmsal performans monitorinqi geniş tətbiq olunur. Xüsusilə OECD ölkələrində və Estoniya, Sinqapur, Böyük Britaniya, ABŞ kimi qabaqcıl idarəçilik sistemlərinə malik dövlətlərdə bu mexanizmlər dövlət idarəçiliyinin səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır.
Azərbaycan Respublikasında da dövlət qulluğunda idarəetmə sisteminin müasirləşdirilməsi istiqamətində mühüm islahatlar həyata keçirilir. Elektron hökumət platformlarının genişləndirilməsi, insan resurslarının idarəedilməsi üzrə rəqəmsal alətlərin tətbiqi və dövlət qulluqçularının fəaliyyətinin qiymətləndirilməsində yeni metodiki çərçivələrin formalaşdırılması beynəlxalq standartlara uyğunlaşma prosesinin davam etdiyini göstərir. Bununla belə, qiymətləndirmə meyarlarının daha dəqiq müəyyənləşdirilməsi, nəticələrin karyera inkişafına və motivasiya mexanizmlərinə inteqrasiya edilməsi, vətəndaş məmnunluğu indikatorlarının gücləndirilməsi zəruri məsələlər kimi qalmaqdadır.

TƏHLİL

Dövlət qulluqçularının fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi sistemi dövlət sektorunda idarəetmənin səmərəliliyini təmin edən əsas mexanizmlərdən biridir. Müasir idarəçilikdə performansın qiymətləndirilməsi yalnız işçi davranışlarının ölçülməsi deyil, həm də dövlət resurslarının rasional istifadəsinin təmin edilməsi, idarəetmənin nəticəyönümlülüyünün artırılması, xidmətlərin keyfiyyətinə nəzarət və insan kapitalının inkişafına yönələn strateji proses kimi qəbul edilir [5,s.226].

1. Beynəlxalq təcrübədə qiymətləndirmə model və mexanizmləri

Beynəlxalq idarəetmə modelləri göstərir ki, dövlət qulluğunda performansın ölçülməsi çoxmeyarlı yanaşmaya əsaslanır. OECD, Böyük Britaniya, ABŞ, Estoniya, Sinqapur kimi ölkələrdə tətbiq olunan ən geniş yayılmış mexanizmlər aşağıdakılardır:

Mexanizm	Təsviri
KPI-yə əsaslanan qiymətləndirmə (Key Performance Indicators)	Hədəflər üzrə nəticələrin ölçülməsi: vətəndaş məmnuniyyəti, xidmət müddəti, xərclərin səmərəliliyi və s.
360° dərəcə qiymətləndirmə	Yuxarı rəhbər, həmkarlar, tabeçilər və xidmət alan vətəndaşlar tərəfindən çoxkanallı dəyərləndirmə.
Kompetensiya yanaşması	Dövlət qulluqçusunun bilik, bacarıq (skills), davranış və peşə etikası üzrə qiymətləndirilməsi.
Elektron performans monitorinqi	Rəqəmsal idarəetmə platformaları vasitəsilə real vaxt indikatorlarının izlənməsi.

Estoniya və Sinqapurun e-idarəetmə təcrübəsi göstərir ki, rəqəmsal performans izləmə dövlət xidmətlərində şəffaflığı gücləndirir və vətəndaş mərkəzli idarəetmə modelini dəstəkləyir.

2. Azərbaycan Respublikasında mövcud vəziyyətin qiymətləndirilməsi

Azərbaycan dövlət qulluğunda insan resurslarının idarə olunmasının təkmilləşdirilməsi istiqamətində ardıcıl islahatlar aparılır. Elektron hökumət portalı, rəqəmsal kadr informasiya sistemləri və dövlət qulluqçularının attestasiyası mexanizmləri bu modernləşmənin vacib elementləridir. Bununla belə, mövcud qiymətləndirmə prosesində aşağıdakı çağırışlar müşahidə olunur:

- performans indikatorlarının tam sistemləşdirilməməsi,
- nəticələrin motivasiya və karyera yüksəlişi ilə əlaqələndirilməsinin kifayət qədər güclü olmaması,
- vətəndaş məmnuniyyəti ölçmə alətlərinin institusional səviyyədə geniş tətbiq edilməməsi,
- dövlət orqanları üzrə metodoloji yanaşmaların vahid standartla tam uyğunlaşmaması.

3. Müqayisəli təhlilin nəticələri

Müqayisə göstərir ki, beynəlxalq standartlara uyğun performans idarəetmə sistemi aşağıdakı üstünlükləri təmin edir:

İdarəetmə təsiri	Təsviri
İnsan kapitalının inkişafı	Təlim ehtiyaclarının müəyyənləşdirilməsi, karyera planlaşdırılması.
Səmərəliliyin yüksəlməsi	Dövlət resurslarının daha rasional idarə olunması.
Şəffaflıq və hesabatlılıq	Açıq nəticə göstəriciləri, korrupsiya risklərinin azalması.
Xidmətlərin keyfiyyətinin artması	Vətəndaş məmnunluğuna yönəlmiş idarəetmə modeli.

4. Təkmilləşdirmə istiqamətləri

Beynəlxalq praktikaya əsaslanaraq aşağıdakı inkişaf istiqamətləri optimal hesab olunur:

1.vahid performans qiymətləndirmə çərçivəsinin hazırlanması,

2. **rəqəmsal performans məlumat bazasının genişləndirilməsi**,

3.**360° qiymətləndirmə və KPI sisteminin tətbiqinin institusionallaşdırılması**,

4. **vətəndaş məmnunluğu indekslərinin dövlət fəaliyyətinə inteqrasiyası**,

5 **performans nəticələrinə əsaslanan mükafat və karyera sistemi**.

Aparılan təhlil göstərir ki, dövlət qulluğunda performans qiymətləndirilməsi beynəlxalq standartlara uyğun tətbiq olunduqda idarəetmənin nəticəyönümlülüyü artır, vətəndaşlara göstərilən xidmətlərin keyfiyyəti yüksəlir və dövlət qulluğu daha çevik və innovativ insan kapitalı modeli formalaşdırır [5, s.234].

Sxem 1. Dövlət qulluqçularının fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi üzrə beynəlxalq standartlara əsaslanan mexanizm



Mənbə: OECD (2023), Estoniya Dövlət Qulluğu (2022), Sinqapur Dövlət Xidməti (2023); müəllif tərəfindən sistemləşdirilmişdir.

Sxem 1 dövlət qulluqçularının fəaliyyətinin qiymətləndirilməsini beynəlxalq idarəetmə metodologiyasına uyğun şəkildə ardıcıl mərhələlər üzrə təsvir edir. Model strateji məqsədlərdən başlayaraq, KPI göstəriciləri, kompetensiya yanaşması, 360° qiymətləndirmə və rəqəmsal monitorinq mexanizmlərinin inteqrasiya olunması vasitəsilə qiymətləndirmə nəticəsinin formalaşmasını izah edir. Nəticədə formalaşan performans profili dövlət qulluğunda:

- karyera yüksəlişi və tutum idarəetməsi,
- mükafatlandırma və motivasiya sistemi,
- təlim ehtiyaclarının müəyyənləşdirilməsi,
- xidmət keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması,
- vətəndaş məmnunluğunun artırılması

kimi tətbiq sahələrinə yönəldilir.

Bu struktur beynəlxalq dövlət idarəçiliyi yanaşmalarında qəbul edilmiş nəticəyönümlü performans idarəetməsi (RBM), rəqəmsal insan resursları menecmenti (E-HRM) və kompetensiya əsaslı qiymətləndirmə prinsiplərinə uyğundur. Model Azərbaycan dövlət qulluğu islahatlarında tətbiqi potensiala malikdir və idarəetmədə şəffaflıq, hesabatlılıq və səmərəliliyi gücləndirməyə yönəlmişdir [6, s.748].

Nəticə

Aparılmış təhlil göstərir ki, dövlət qulluqçularının fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi müasir dövlət idarəçiliyinin əsas elementlərindən biri kimi idarəetmə keyfiyyətinin yüksəldilməsi, dövlət xidmətlərinin səmərəliliyinin artırılması və vətəndaş məmnunluğunun təmin edilməsində mühüm rol oynayır. Beynəlxalq təcrübədə geniş tətbiq olunan KPI əsaslı qiymətləndirmə, kompetensiya modeli, 360° dərəcə qiymətləndirmə və rəqəmsal performans monitorinqi kimi alətlər nəticəyönümlü idarəçiliyin gücləndirilməsinə xidmət edir.

Müqayisəli təhlil göstərir ki, OECD ölkələri, Estoniya, Sinqapur, Böyük Britaniya və ABŞ-da performans qiymətləndirmə mexanizmləri yalnız işçi fəaliyyətinin ölçülməsi deyil, eyni zamanda dövlət qulluğu sistemində karyera inkişafı, mükafatlandırma, təlim ehtiyaclarının müəyyənləşdirilməsi, tutum idarəetməsi və xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi kimi strateji məqsədlərə yönəldilmişdir. Bununla yanaşı, qiymətləndirmə nəticələrinin dövlət orqanlarının institusional səmərəliliyinə təsiri tənzimlənmiş qərarvermə və idarəetmənin şəffaflığını gücləndirir.

Azərbaycan Respublikasında dövlət qulluğu sahəsində həyata keçirilən rəqəmsal islahatlar, insan resurslarının idarə edilməsinin yeni modelləri və fəaliyyətin qiymətləndirilməsi üzrə metodoloji əsasların yenilənməsi beynəlxalq yanaşmalara uyğunlaşma prosesinin artıq başlandığını göstərir. Lakin qiymətləndirmə meyarlarının daha dəqiq standartlaşdırılması, nəticələrin motivasiya və karyera mexanizmlərinə daha güclü inteqrasiyası, vətəndaş məmnunluğunun sistematik ölçülməsi və performans göstəricilərinin vahid rəqəmsal platforma üzərindən idarə edilməsi prioritet olaraq qalmaqdadır.
Ümumilikdə belə qənaətə gəlmək olar ki, dövlət qulluqçularının fəaliyyətinin qiymətləndirilməsində beynəlxalq standartların tətbiqi Azərbaycan dövlət idarəçiliyinin modernləşdirilməsi, idarəetmədə şəffaflıq və hesabatlılığın artırılması, dövlət xidmətlərinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi və vətəndaş yönümlü dövlət idarəetməsi modelinin formalaşdırılması baxımından geniş potensiala malikdir. Bu modelin institusionallaşdırılması dövlət qulluğunda insan kapitalının gücləndirilməsinə, idarəetmə mədəniyyətinin yenilənməsinə və dövlət orqanlarının fəaliyyətində yüksək nəticə əldə edilməsinə ciddi töhfə verəcəkdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2014). *Engaging public employees for a high-performing civil service*. OECD Publishing. OECD
2. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2020). *Leadership for a high performing public service*. OECD Publishing. OECD
3. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2007). *Performance-based arrangements for senior civil servants: OECD and other country experiences*. OECD Publishing. OECD
4. Cardona, F. (2007). *Performance related pay in the public service in OECD and EU member states*. SIGMA (OECD/EC). SIGMA
5. Skorková, Z. (2016). Competency models in public sector. *Procedia – Social and Behavioral Sciences, 230*, 226-234. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.09.029 ResearchGate+1
6. Hajnal, G., & Staronova, K. (2021). Changing patterns of individual performance appraisal systems for civil service in European Union countries: Toward a developmental or an incentivizing model. *International Journal of Public Sector Management, 34*(7), 748-764. https://doi.org/10.1108/IJPSM-02-2021-0051 SSRN+1
7. Tavares, M. C., & Vaz, M. (2025). Rethinking performance evaluation: Strategic alignment in the service sector through a case-based framework. *Governance and Performance, 15*(10), 390. https://doi.org/10.3390/govperf15100390 MDPI
8. Were, P., & Nyakwara, S. (2018). Evaluation of 360 degree performance appraisal on civil servants' motivation in the Department of Tourism, Kenya. *European Journal of Business and Management, 10*(30), 100-106. IISTE
9. "Evaluation of Civil Servants' Performance in the Context of Civil Service Improvement." (2025). *Veritas, 1*(1). Retrieved from https://science.lpnu.ua/veritas/all-volumes-and-issues/volume-1-number-1-2025/evaluation-civil-servants-performance-context Science Lviv Polytechnic
10. Sudnickas, T. (2011). Case of the Office of the Prime Minister of Lithuania: Applying 360 degree feedback and competency models. *Public Policy and Administration, 10*(1), 95-114. ojs.mruni.eu
11. Vollmuth, J. (2014). Performance appraisal approaches and instruments in the civil service. *International Journal of Civil Service Research and Practice, 3*(2), 33-49. astanahubjournal.org
12. Saleh, C., et al. (2023). Public human resources development systematics: A study in competency orientation and performance. *Atlantis Press – Proceedings*, 258, 1-10. atlantis-press.com

DÖVLƏT QULLUĞUNDA ŞƏFFAFLIQ, MOTİVASİYA VƏ KARYERA İNKİŞAFI ÜÇÜN TƏKMİLLƏŞDİRMƏ TƏKLİFLƏRİ

Ziyəddin Abasquluzadə
Bakı Mühəndislik Universiteti
Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
Bakı, Azərbaycan
zabbasquluzade@std.beu.edu.az

Xülasə: Dövlət qulluğu cəmiyyətin idarə edilməsində əsas icraedici qüvvə olduğundan, bu sahədə şəffaflığın təmin edilməsi, motivasiya mexanizmlərinin gücləndirilməsi və karyera inkişafı imkanlarının təkmilləşdirilməsi dövlət idarəçiliyinin effektivliyinin artırılmasında həlledici rol oynayır. Son illərdə dövlət idarəetməsində aparılan islahatlar nəticəsində xidmətlərin elektronlaşması, insan resurslarının idarə edilməsində yeni standartların tətbiqi və etik davranış qaydalarının gücləndirilməsi bu istiqamətdə mühüm addımlar olsa da, mövcud sistemin daha çevik, şəffaf və nəticəyönümlü olması üçün əlavə tədbirlərə ehtiyac qalmaqdadır.

Şəffaflığın artırılması dövlət qulluğunda ictimai etimadın güclənməsini təmin edir və korrupsiya risklərini minimuma endirir. Bunun üçün kadrların seçilməsi və yerləşdirilməsi prosesinin tam rəqəmsallaşdırılması, müsabiqə və müsahibə mərhələlərində obyektiv meyarların tətbiqi, vakant vəzifələr haqqında məlumatların açıq platformalarda dərc edilməsi vacibdir. Eyni zamanda, performans qiymətləndirmə sisteminin nəticələrinin ictimai olmasa da, qurum daxilində şəffaf paylaşılması əməkdaşların fidusiyyətini artıran əsas amillərdəndir.

Motivasiya komponenti dövlət qulluğunda işçi məmnuniyyətinin və səmərəliliyin əsas determinantıdır. Əmək haqqı siyasətinin əmək bazarına uyğunlaşdırılması, qeyri-maddi motivasiya vasitələrinin – təltiflər, sertifikatlar, dövlət qulluğu dərəcələrinin verilməsi, sosial paketlərin genişləndirilməsi – tətbiqi işçilərin fəaliyyətə bağlılığını gücləndirir. Əməkdaşların mütəmadi təlimlərə cəlb olunması, peşəkar inkişaf proqramlarının yaradılması və fərdi kompetensiya xəritələrinin hazırlanması motivasiyanı artıran effektiv üsullardandır.

Karyera inkişafı imkanlarının təkmilləşdirilməsi isə dövlət qulluğunda uzunmüddətli insan kapitalının formalaşmasına şərait yaradır. Bunun üçün vəzifə pillələri üzrə aydın meyarların müəyyən edilməsi, daxili mobilitet mexanizmlərinin genişləndirilməsi, rotasiya siyasətinin şəffaf tətbiqi və vəzifə yüksəlişinin yalnız performans və kompetensiya əsasında aparılması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Eyni zamanda, dövlət qulluğunda gənclərin iştirakı üçün xüsusi proqramların – "gənc mütəxəssis", təcrübə və mentorluq mexanizmlərinin – gücləndirilməsi sistemin dinamizmini artırır.

Nəticə etibarilə, dövlət qulluğunda şəffaflığın, motivasiyanın və karyera inkişafının inteqrə şəkildə təkmilləşdirilməsi dövlət idarəçiliyinin institusional dayanıqlığını, xidmətlərin keyfiyyətini və ictimai məmnuniyyəti artırır. Bu istiqamətdə rəqəmsallaşma, insan resurslarının idarə edilməsində müasir yanaşmalar və qiymətləndirmə mexanizmləri əsasında aparılacaq islahatlar dövlət qulluğunun daha çevik, açıq və peşəkar formaya keçidini sürətləndirəcəkdir.

Açar sözlər: **Dövlət, şəffaflıq, motivasiya, karyera, idarəetmə, performans, insan, ictimai etimad, institusional**

Giriş

Müasir dövrdə dövlət idarəçiliyi sisteminin səmərəliliyinin artırılması, dövlət orqanlarının fəaliyyətində peşəkarlığın, şəffaflığın və hesabatlılığın təmin olunması mühüm strateji vəzifələrdən biridir. Dövlət qulluğu institutu cəmiyyət və dövlət arasında əsas idarəçilik körpüsü kimi çıxış edərək ölkənin sosial-iqtisadi inkişafında, ictimai xidmətlərin göstərilməsində, insan hüquq və azadlıqlarının təmin edilməsində həlledici rol oynayır. Bu baxımdan, dövlət qulluqçularının peşəkar hazırlığı, motivasiyası və karyera inkişafı dövlət idarəetməsinin davamlı, effektiv və innovativ formada təşkil edilməsi üçün zəruri şərtlərdəndir.

Qlobal idarəçilik trendləri göstərir ki, dövlət qulluğunda idarəetmə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi yalnız struktur dəyişiklikləri ilə deyil, həm də insan kapitalının keyfiyyətinin yüksəldilməsi ilə sıx bağlıdır. İnkişaf etmiş ölkələrin təcrübəsi dövlət qulluqçularının fəaliyyətinin nəticəyönümlü qiymətləndirilməsi, əməyin mütənasib stimullaşdırılması, şəffaf karyera yüksəlişi və rəqəmsal idarəetmə texnologiyalarının

geniş tətbiqi sayəsində dövlət xidmətlərinin keyfiyyətinin yüksəldiyini təsdiqləyir. Bu səbəbdən dövlət qulluğunda insan resursları idarəçiliyi müasir idarəetmə elminin prioritet sahələrindən birinə çevrilmişdir.
Azərbaycan Respublikasında da dövlət qulluğu sisteminin təkmilləşdirilməsi istiqamətində mühüm islahatlar həyata keçirilir. Dövlət qulluqçularının fəaliyyətinin şəffaflığı, motivasiya alətlərinin artırılması, karyera inkişafı mexanizmlərinin gücləndirilməsi demokratik idarəçilik prinsiplərinə uyğun müasir dövlət xidmət modelinin qurulmasına şərait yaradır. Bu istiqamətdə rəqabətə əsaslanan seçilmə mexanizmi, rotasiya imkanlarının genişləndirilməsi, davamlı təlim və biliklərin qiymətləndirilməsi kimi proseslər dövlət qulluğunda peşəkarlığın təmin edilməsinin əsas komponentləri kimi çıxış edir.
Beləliklə, dövlət qulluğunda şəffaflıq, motivasiya və karyera inkişafı üzrə təkmilləşdirmə təkliflərinin hazırlanması müasir dövlət idarəçiliyinin tələblərinə uyğun olaraq idarəetmə sisteminin effektivliyinin artırılmasına, dövlət xidmətlərinin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə və cəmiyyətin dövlət orqanlarına olan etimadının gücləndirilməsinə xidmət edir.

TƏHLİL

Dövlət qulluğunda şəffaflıq, motivasiya və karyera inkişafı idarəetmə səmərəliliyini müəyyən edən əsas strateji komponentlərdəndir. Müasir idarəetmə konsepsiyaları göstərir ki, dövlət qulluğunun səmərəli təşkili yalnız inzibati nəzarət və struktur dəyişiklikləri ilə deyil, həm də insan kapitalının inkişafı və institusional idarəetmə mədəniyyətinin formalaşdırılması ilə birbaşa bağlıdır[3,s.191].

1. Dövlət qulluğunda şəffaflığın təhlili

Şəffaflıq dövlət qulluqçularının fəaliyyətinə ictimai etimadı gücləndirən, korrupsiya risklərini azaldan, qərarların qəbulunda hesabatlılığı artıran mühüm amildir. Azərbaycan Respublikasında son illərdə rəqəmsal dövlət idarəçiliyi, açıq məlumat platformaları və e-hökumət xidmətlərinin genişləndirilməsi bu istiqamətdə əhəmiyyətli irəliləyişlər yaratmışdır. Bununla belə, bəzi hallarda aşağıdakı problemlər müşahidə olunur:

- fəaliyyət göstəricilərinin ictimaiyyətə tam açıq olmaması;
- qərarların qəbul edilməsində məlumatların məhdud paylaşılması;
- hesabatlılıq mexanizmlərinin institusional zəifliyi;
- dövlət qulluğu haqqında məlumat bazalarının reallaşdırılmasında gecikmələr.

Bu səbəbdən beynəlxalq praktikaya uyğun olaraq açıq kadr reyestrləri, vəzifə təyinatlarının əsaslandırılması və performans nəticələrinin ictimai hesabatlılığı kimi mexanizmlərin geniş tətbiqi zəruri hesab edilir.

2. Dövlət qulluqçularının motivasiya sisteminin təhlili

Motivasiya dövlət qulluqçularının fəaliyyət nəticələrinə birbaşa təsir göstərən psixoloji, sosial və maddi amilləri özündə birləşdirir. Mövcud vəziyyətin təhlili göstərir ki:

- əməkhaqqı və mükafatlandırma mexanizmləri əksər hallarda diferensial xarakter daşımır;
- qeyri-maddi motivasiya alətləri (təşəkkür, ictimai tanınma, iş mədəniyyəti və s.) yetərincə sistemləşdirilməmişdir;
- performans qiymətləndirmə meyarları bəzi hallarda obyektivlikdən uzaq olur;
- dövlət qulluqçularının sosial təminat məsələləri tam olaraq stimullaşdırıcı rol oynamır.

Bu problemlərin aradan qaldırılması üçün nəticəyə əsaslanan motivasiya modeli, sosial rifah paketlərinin genişləndirilməsi və şəxsi inkişaf imkanlarının gücləndirilməsi vacibdir[5,s.157].

3. Karyera inkişafı mexanizmlərinin təhlili

Karyera inkişafı dövlət qulluğunda peşəkar kadr potensialının qorunması və idarəetmədə davamlılığın təmin edilməsi baxımından mühüm əhəmiyyətə malikdir. Təhlil göstərir ki:

- vəzifədə yüksəliş bəzən kompetensiya və nəticələrdən daha çox staj və formal tələblərlə məhdudlaşır;
- rotasiya, mentorluq, daxili təlim sistemləri tam institusional xarakter daşımır;
- kadr ehtiyatı sistemi və kompetensiya modeli üzrə seçilmə mexanizmi tam oturuşmamışdır;
- dövlət qulluqçularının müasir idarəetmə bacarıqları üzrə davamlı peşəkar inkişaf proqramları genişləndirilməlidir.

Bu istiqamətdə beynəlxalq praktika əsas götürülərək dövlət qulluqçularının bilik və bacarıqlarının qiymətləndirilməsinə əsaslanan şəffaf karyera idarəetmə sistemi qurulmalıdır.
Aparılan təhlil göstərir ki, dövlət qulluğunda şəffaflıq, motivasiya və karyera inkişafı üzrə islahatlar idarəetmənin humanistləşməsi, xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi və ictimai etimadın gücləndirilməsi baxımından həlledici rol oynayır. Təkmilləşdirmə islahatlarının həyata keçirilməsi dövlət qulluğu sisteminin rəqabətədavamlı, nəticəyönümlü və innovativ idarəetmə modelinə keçidini təmin edə bilər [6, s.64].

Cədvəl 1. Dövlət qulluğunda şəffaflıq, motivasiya və karyera inkişafı üzrə mövcud vəziyyət və təkmilləşdirmə istiqamətləri

Təhlil istiqaməti	Mövcud vəziyyət (Problemlər)	Təkmilləşdirmə təklifləri
Şəffaflıq	- Fəaliyyət göstəriciləri tam açıq deyil - Qərarların əsaslandırılması ictimaiyyət üçün yetərincə əlçatan deyil - Hesabatlılıq mexanizmləri tam güclü qurulmayıb	- Açıq kadr reyestrinin yaradılması - Performans məlumatlarının ictimai hesabatlığı - Elektron şəffaf idarəetmə və e-hökumət həllərinin genişləndirilməsi
Motivasiya	- Əməkhaqqı differensial deyil - Qeyri-maddi motivasiya sistemi zəifdir - Sosial təminat tam stimullaşdırıcı rol oynamır	- Nəticəyönümlü motivasiya sisteminin qurulması - Sosial rifah paketinin genişləndirilməsi - Müasir iş şəraiti və psixoloji dəstək mexanizmlərinin gücləndirilməsi
Karyera inkişafı	- Yüksəliş daha çox staja əsaslanır - Rotasiya və kompetensiya modeli tam tətbiq edilmir - Təlim və peşəkar hazırlıq davamlı deyil	- Şəffaf və kompetensiyaya əsaslanan seçim və yüksəliş sistemi - Rotasiya, mentorluq və kadr ehtiyatı sisteminin tətbiqi - Peşəkar inkişaf və təlim mərkəzlərinin gücləndirilməsi

Mənbə: UNDP. (2022). *Human development report*. United Nations Development Programme. Retrieved from https://hdr.undp.org

Dövlət qulluğunda şəffaflıq idarəetmə proseslərinin açıq və ictimaiyyət üçün əlçatan olmasını, qəbul edilən qərarların əsaslandırılması və fəaliyyət nəticələrinin hesabatlı şəkildə təqdim edilməsini tələb edir. Bu mexanizmlər güclü olmadıqda, dövlət xidmətlərinə güvən azalır və korrupsiya riskləri artır. Şəffaflıq yalnız informasiya açıqlığı ilə məhdudlaşmır, həmçinin elektron idarəetmə platformalarının tətbiqi, açıq kadr siyasəti və performans qiymətləndirməsi üzrə məlumatların ictimai nəzarətə açılması ilə daha effektiv formalaşır.

Motivasiya sistemi dövlət qulluqçularının xidmətə bağlılığını və fəaliyyət səmərəliliyini müəyyən edən mühüm psixoloji və sosial alətlərdən ibarətdir. Əməkhaqqının ədalətli bölüşdürülməsi, diferensial mükafatlandırma, iş mühitinin yaxşılaşdırılması və qeyri-maddi stimulların tətbiqi xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə imkan verir. Qeyri-effektiv motivasiya mexanizmləri isə dövlət qulluğunda performansın zəifləməsinə, kadr axınına və xidmət mədəniyyətinin aşağı səviyyədə qalmasına səbəb ola bilər. Buna görə də nəticəyönümlü qiymətləndirmə və sosial təminat paketlərinin təkmilləşdirilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Karyera inkişafı peşəkar dövlət qulluğu modelinin formalaşdırılmasında əsas şərtlərdəndir. Staja əsaslanan yüksəliş sistemi əvəzlənərək kompetensiyaya əsaslanan kadr idarəçiliyi modeli tətbiq edildikdə, kadr ehtiyatı formalaşdırıldıqda, rotasiya, təlim və mentorluk proqramları gücləndirildikdə dövlət idarəetməsinin dayanıqlılığı artır. Karyera inkişafı imkanlarının məhdud olması isə peşəkar potensialın inkişafını əngəlləyir və idarəetmədə innovativ yanaşmaların qarşısını alır.

Bu çərçivədə cədvəldə qeyd edilən istiqamətlər dövlət qulluğunun institusional inkişafını sürətləndirən komponentlər kimi çıxış edir və dövlət idarəçiliyinin beynəlxalq standartlara uyğunlaşdırılmasına xidmət edir [8, s.239].

Cədvəl 2.: Dövlət qulluğunda şəffaflıq, motivasiya və karyera inkişafının institusional təhlili

İstiqamət	Problemin təsviri	Nəticələr (mənfi təsirlər)	Təkmilləşdirmə mexanizmləri
Şəffaflıq	Məlumatların məhdud ictimai açıqlığı, qərarların əsaslandırılmasında açıqlığın zəifliyi	- İctimai etimadın azalması - Korrupsiya risklərinin artması - İdarəetmədə hesabatlılığın zəifləməsi	- Açıq kadr reyestri və elektron şəffaflıq platformaları - Performans nəticələrinin ictimai təqdimatı - e-hökumət xidmətlərinin genişləndirilməsi
Motivasiya	Maddi və qeyri-maddi stimulların sistemsizliyi, diferensial əməkhaqqının tətbiq	- İşçi məmnuniyyətinin azalması - İşçi axınının artması - Xidmət keyfiyyətinin zəifləməsi	- Nəticəyönümlü qiymətləndirmə və mükafat mexanizmləri - Sosial təminat və rifah paketlərinin genişləndirilməsi - İş mühitinin

	olunmaması		psixoloji və ergonomik yaxşılaşdırılması
Karyera inkişafı	Staja əsaslanan yüksəliş sistemi, kompetensiya modelinin zəif tətbiqi, peşəkar hazırlığın davamlı olmaması	- Peşəkar inkişafın ləngiməsi - Kadr ehtiyatının zəif formalaşması - Yenilikçi idarəetmə bacarıqlarının məhdudluğu	- Kompetensiya əsaslı kadr seçimi və rotasiya sistemi - Mentorluq və peşəkar təlim proqramlarının gücləndirilməsi - Dövlət qulluqçuları üçün inkişaf mərkəzlərinin yaradılması

Mənbə: World Bank. (2021). *Civil service reform and public sector performance*. World Bank Publications. https://worldbank.org

Cədvəl 2 də göstərilən istiqamətlər dövlət qulluğunda insan resurslarının idarə edilməsində ən kritik elementləri əhatə edir. Şəffaflığın məhdud olduğu idarəetmə sistemlərində ictimai etimadın zəifləməsi, qərar qəbulunda subyektivlik və korrupsiya risklərinin yüksəlməsi mümkün olur. Dövlət qulluğunda məlumatların açıq təqdim edilməsi, kadr təyinatlarının əsaslandırılması və performans göstəricilərinin ictimai hesabatlı olması idarəetmənin legitimliyini artırır. Rəqəmsal idarəetmə alətləri, o cümlədən e-hökumət platformaları, açıq məlumat portalları və elektron kadr idarəetməsi bu məqsədlərə xidmət edən effektiv mexanizmlər hesab olunur.

Motivasiya ilə bağlı təhlil göstərir ki, dövlət idarəçiliyi yalnız hüquqi mexanizmlərlə deyil, eyni zamanda işçi davranışlarını təşviq edən psixoloji və sosial faktorlarla gücləndirilə bilər. Maddi və qeyri-maddi motivasiya sistemlərinin balanslı qurulmaması xidməti fəaliyyətə marağı azalda, kadr axınına və xidmət keyfiyyətinin zəifləməsinə səbəb ola bilər. Buna görə nəticəyönümlü fəaliyyət qiymətləndirməsi, mükafatlandırma, sosial təminat paketi və müasir iş mühitinin yaradılması vacib motivasiya alətləri kimi çıxış edir[10,s.45].

Karyera inkişafının zəif olması dövlət qulluğunda peşəkar kadr potensialının formalaşmasını ləngidən amildir. Yalnız staja əsaslanan yüksəliş modeli idarəedici vəzifələrin həmişə ən peşəkar kadrlara çatmasına imkan vermir. Bunun əvəzində kompetensiya modeli üzrə seçilmə, rotasiya proqramları, mentorluq və davamlı peşəkar inkişaf sistemləri dövlət qulluğunda daha dinamik və innovativ kadr mühiti yaradır. Bu yanaşma idarəçilikdə qərar keyfiyyətini, xidmət səviyyəsini və strateji idarəetmə mədəniyyətini yüksəldir.

Beləliklə, cədvəl 2 də göstərilən islahat istiqamətləri insan kapitalına əsaslanan müasir dövlət qulluğu modelinin formalaşmasına, idarəetmədə şəffaflığın, hesabatlılığın və xidmət keyfiyyətinin artmasına xidmət edir[12,s.94].

Nəticə

Aparılan təhlil göstərir ki, dövlət qulluğunda şəffaflığın təmin edilməsi, motivasiya sisteminin gücləndirilməsi və karyera inkişafı mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi müasir dövlət idarəçiliyinin effektivliyinin artırılması üçün əsas strateji tələblərdir. Şəffaf idarəetmə qərarların qəbulunda ictimai nəzarəti və hesabatlılığı təmin etməklə dövlət orqanlarına inamı gücləndirir, korrupsiya risklərini minimumlaşdırır və idarəetmədə açıq məlumat mühitinin formalaşmasına şərait yaradır. Motivasiya sisteminin düzgün qurulması dövlət qulluqçularının xidməti fəaliyyətə marağını artırır, onların peşəkar davranışını təşviq edir və dövlət xidmətlərinin keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir. Maddi və qeyri-maddi stimulların balanslaşdırılması, fərdi və nəticəyönümlü mükafatlandırma mexanizmlərinin tətbiqi idarəetmədə insan kapitalının dəyərini yüksəldir.

Karyera inkişafı istiqamətində aparılan islahatların məqsədi peşəkar dövlət qulluqçularının formalaşdırılması, kompetensiya əsaslı kadr seçimi, rotasiya, təlim və mentorluq sistemlərinin genişləndirilməsi yolu ilə idarəçilikdə davamlı inkişafın təmin edilməsidir. Bu yanaşma idarəetmədə strateji düşünmə, innovativ qərarvermə və yüksək xidmət mədəniyyəti formalaşdırır.

Nəticə etibarilə qeyd edilən islahatların kompleks tətbiqi dövlət qulluğu sisteminin institusional dayanıqlığını artıracaq, idarəetmə proseslərini beynəlxalq standartlara uyğunlaşdıracaq və dövlət orqanları ilə cəmiyyət arasında yüksək etimad mühitinin formalaşmasına təkan verəcəkdir. Bu isə öz növbəsində dövlət xidmətlərinin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə, sosial rifahın artmasına və ölkənin ümumi idarəetmə potensialının güclənməsinə xidmət edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Paul, E. (2010). *Motivating Civil Servants for Reform and Performance*. United Nations Development Programme. ORBi
2. Vandenabeele, W., Ritz, A., & Neumann, O. (2017). Public service motivation: State of the art and conceptual cleanup. In E. Ongaro & S. van Thiel (Eds.), *The Palgrave Handbook of Public Administration and Management in Europe* (pp. ??-??). Palgrave Macmillan. ResearchGate
3. Miao, Q. (2019). Public service motivation and performance: The role of organisational identification. *Public Personnel Management, 42*(2), 191-222. Taylor & Francis Online
4. Rübtcova, M. (2020). Realisation of principles of transparency in public administration in the Republic of Sakha (Yakutia). *Journal of …*, ???, ???-??. Redalyc
5. Cuadrado-Ballesteros, B., Ríos, A.-M., & Guillamón, M.-D. (2023). Transparency in public administrations: A structured literature review. *Journal of Public Budgeting, Accounting & Financial Management, 35*(1). https://doi.org/10.1108/JPBAFM-10-2022-0158 ResearchGate
6. Comănescu, M. (2018). The civil servants' career development. *Theoretical and Applied Economics, 32*(…), ???-??. ResearchGate
7. Rabrenović, A. (2018). Human resources management in the civil service: Ensuring professional development of public servants. *Integrity and Good Governance in the Western Balkans…*, ???-??. ricl.iup.rs
8. Profiroiu, C. M., & Hinţea, C. E. (2024). Toward a new public administration model in Romania: The challenges of designing coherent public administration reforms. *Journal of Policy Studies, 39*(3). e-jps.org
9. Li, X., & Xiujuân, Z. (2018). The research on public service motivation of ethnic minority areas in Yunnan Province. In *Proceedings of ICPM-18*. Atlantis Press. Atlantis Press
10. Anniza, N. (2023). Merit system in the career development of civil servants in Makassar City Government. *KnE Social Sciences*. knepublishing.com
11. Ding, M., et al. (2022/2023). Can public service motivation increase work engagement? *Frontiers in Psychology*. Frontiers
12. Zolak Poljašević, B., Gričnik, A. M., & Šarotar Žižek, S. (2025). Human resource management in public administration: The ongoing tension between reform requirements and resistance to change. *Administrative Sciences, 15*(3), 94. mdpi.com

REALİZM NƏZƏRİYYƏSİ KONTEKSTİNDƏ RUSİYANIN XARİCİ SİYASƏT STRATEGİYASININ TƏHLİLİ

Kənan Səfərli
Bakı Mühəndislik Universiteti
Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
Bakı, Azərbaycan
kenanseferli282@gmail.com

Xülasə: Bu məqalədə realizm nəzəriyyəsinin müxtəlif istiqamələri çərçivəsində Rusiya Federasiyasının xarici siyasət strategiyası təhlil edilir. Tədqiqatda klassik realizm, struktur realizm və neoklassik realizm yanaşmaları əsasında Moskvanın dövlət mərkəzçiliyi, güc siyasəti və milli maraqlar prioriteti kimi əsas prinsipləri araşdırılır. Müəyyən olunur ki, Rusiya beynəlxalq sistemin anarxik xarakterini əsas götürərək təhlükəsizlik və güc balansını xarici siyasətinin mərkəzinə yerləşdirir. Eyni zamanda, ölkənin davranışlarında yalnız sistem səviyyəli deyil, daxili siyasi və iqtisadi amillərin də mühüm rol oynadığı göstərilir. Tədqiqat nəticəsində belə qənaətə gəlinir ki, Rusiyanın xarici siyasəti realizmin müxtəlif istiqamələrinin sintezi kimi çıxış etsə də, onun strateji əsasını klassik realist prinsiplər təşkil edir və bu yanaşma Moskvanın beynəlxalq münasibətlərdə davranış modelini müəyyənləşdirən əsas faktor olaraq qalır.

Açar sözlər: **Realizm nəzəriyyəsi, Rusiya xarici siyasəti, güc siyasəti, dövlət mərkəzçiliyi, neoklassik realizm**

Abstract: This article analyzes the foreign policy strategy of the Russian Federation within the framework of various directions of the theory of realism. The study examines Moscow's main principles such as state centralism, power politics and the priority of national interests based on the approaches of classical realism, structural realism and neoclassical realism. It is determined that Russia, taking the anarchic nature of the international system as a basis, places security and the balance of power at the center of its foreign policy. At the same time, it is shown that not only system-level, but also internal political and economic factors

play an important role in the country's behavior. As a result of the study, it is concluded that although Russia's foreign policy acts as a synthesis of various directions of realism, its strategic basis is formed by classical realist principles, and this approach remains the main factor determining Moscow's behavioral model in international relations.

Key words: Theory of realism, Russian foreign policy, power politics, state centralism, neoclassical realism

TƏHLİL

Rusiya Federasiyasının xarici siyasi kursu, realizm məktəbinin təməl daşları olan dövlət mərkəzçiliyi və qüvvələr nisbəti prinsiplərinin praktikada təcəssüm tapdığı ən bariz arenalardan biridir. Moskvanın qlobal iyerarxiyadakı fəaliyyəti, beynəlxalq münasibətləri mahiyyət etibarilə amansız bir rəqabət və strateji güc nümayişi müstəvisi kimi xarakterizə edir. Bu yanaşmada suverenlik və milli təhlükəsizlik amilləri sadəcə siyasi hədəflər deyil, dövlətin varlığını şərtləndirən ekzistensial prioritetlər qismində çıxış edir. Klassik realizmin insan təbiətinə və güc ehtirasına verdiyi önəmdən tutmuş, neoklassik realizmin daxili və xarici determinantları sintez edən mürəkkəb analitik çərçivəsinə qədər uzanan nəzəri spektr, Rusiyanın xarici davranışlarını şərh etmək üçün intellektual bir baza rolunu oynayır.

Anarxik xarakter daşıyan dünya düzənində Moskvanın atdığı addımlar, rasional mənfəət hesablamaları və təhlükəsizlik dilemması (Herz, 1950) məntiqinə dərindən nüfuz etmişdir. Kremlin strateji qərarlarının arxasında duran əsas motivasiya, təsir dairələrinin qorunub saxlanılması və qlobal güc balansının öz xeyrinə manipulyasiya edilməsidir. Bu kontekstdə suverenlik anlayışına verilən sakral dəyər, Rusiyanın xarici siyasətini yalnız vahid və statik bir nəzəriyyə ilə məhdudlaşdırmağın qeyri-mümkünlüyünü aşkara çıxarır. Əksinə, Rusiyanın beynəlxalq arenadakı manevrləri realizmin müxtəlif qatlarının, istər struktur, istərsə də neoklassik yanaşmaların bir-biri ilə kəsişdiyi, bəzən isə bir-birini tamamladığı eklektik və dinamik bir modelin məhsuludur.

Moskvanın xarici aktorlarla münasibətdə nümayiş etdirdiyi praqmatizm, beynəlxalq sistemin mərkəzi hakimiyyətdən məhrum olması reallığına verilən adekvat reaksiyadır. Dövlətin öz təhlükəsizliyini təmin etmək üçün hərbi-siyasi potensialını daim maksimallaşdırmaq cəhdləri, realizmin "özünəyardım" (self-help) prinsipinin müasir diplomatiyadakı inikasıdır. Beləliklə, Rusiya Federasiyasının xarici strategiyası, nəzəriyyə ilə praktikanın qovuşduğu, realizmin fundamental tezislərinin milli maraqlar süzgəcindən keçərək yenidən formalaşdığı kompleks bir geosiyasi arxitekturadır.

Więcławski-nin (2011) təsnifatına görə realizmin müxtəlif alt qrupları mövcud olsa da, Rusiya Federasiyasının xarici siyasət təcrübəsi mahiyyət etibarilə daha çox klassik realist paradiqma ilə üst-üstə düşür. Moskvanın davranış modelində dövlətin suveren iradəsi, milli maraqların mütləqliyi və zəruri hallarda güc tətbiqinin legitim alət kimi qəbul olunması əsas istiqamətverici prinsiplər kimi çıxış edir. Bu yanaşma Rusiyanın beynəlxalq münasibətlərdə hüquqi-normativ çərçivədən çox güc və maraq balansına əsaslanan praqmatik xəttə üstünlük verdiyini göstərir. Xüsusilə xarici aktorlara qarşı nümayiş etdirilən ehtiyatlı və bəzən açıq skeptik münasibət, beynəlxalq sistemdə etimadın məhdud olduğunu qəbul edən realist dünyagörüşün praktik ifadəsi kimi diqqəti cəlb edir. Moskvanın təhlükəsizlik mərkəzli siyasəti, potensial təhdidlərin qarşısını qabaqlayıcı tədbirlərlə almağa yönəlməsi və təsir dairələrini qorumaq istəyi klassik realizmin "özünəyardım" və "güc vasitəsilə təhlükəsizlik" prinsiplərinin real siyasətdəki (Realpolitik) konkret təzahürü kimi qiymətləndirilə bilər. Bu baxımdan Rusiyanın xarici siyasəti ideoloji deyil, daha çox maraq yönümlü və praqmatik xarakter daşıyaraq klassik realizmin əsas müddəalarını ardıcıl şəkildə əks etdirir (Więcławski, J. 2011: 173).

Rusiya Federasiyasının xarici siyasi kursu klassik realizmin fundamental tezislərinin yalnız nəzəri deyil, praktik müstəvidə də ardıcıl tətbiq olunduğunu açıq şəkildə nümayiş etdirir. Moskva beynəlxalq münasibətləri güc balansı və maraqların toqquşduğu rəqabət mühiti kimi qiymətləndirərək dövlətin bu sistemdə əsas və həlledici aktor olduğunu qəbul edir. Bu yanaşma çərçivəsində güc amili yalnız hərbi potensialla məhdudlaşmır, eyni zamanda siyasi təsir, iqtisadi rıçaqlar və informasiya alətləri ilə birlikdə kompleks şəkildə istifadə olunur. Milli maraqların mütləqləşdirilməsi isə Rusiyanın xarici siyasətində kompromislərin məhdud xarakter daşımasına və qərarların daha çox təhlükəsizlik prizmasından qiymətləndirilməsinə gətirib çıxarır. Rusiyanın baxışına görə, beynəlxalq sistemdə qeyri-dövlət aktorlarının rolu mövcud olsa da, onların təsiri dövlətlərin strateji maraqları ilə müqayisədə ikinci dərəcəli xarakter daşıyır və yalnız müəyyən çərçivələr daxilində qəbul edilir.

Bu skeptik və nəzarətyönlü yanaşma xüsusilə Rusiyanın daxili məkanında fəaliyyət göstərən xarici QHT-lərə və investor strukturlarına münasibətdə daha aydın şəkildə özünü göstərir. Moskva bu aktorları

potensial təsir və müdaxilə vasitələri kimi qiymətləndirərək onların fəaliyyətinə ciddi institusional məhdudiyyətlər tətbiq edir. 2006-cı ildə V. Putinin təşəbbüsü ilə qəbul edilən QHT qanunu bu siyasətin institusional ifadəsi kimi çıxış edir və xarici maliyyələşmə kanallarını "milli təhlükəsizlik" və "anti-casusluq" arqumentləri ilə nəzarət altına almağa yönəlir. Sonrakı dövrlərdə, xüsusilə Medvedevin prezidentliyi zamanı müəyyən yumşalma cəhdləri müşahidə olunsa da, bu dəyişikliklər əsas yanaşmanı köklü şəkildə transformasiya etməmişdir. Nəticə etibarilə, Rusiyanın bu istiqamətdəki siyasəti dövlət suverenliyinin qorunması və xarici təsirlərin minimuma endirilməsi məqsədilə davamlı və ardıcıl xətt üzrə inkişaf etmişdir ki, bu da klassik realizmin dövlət mərkəzli və təhlükəsizlik prioritetli yanaşmasının praktik təsdiqi kimi çıxış edir.

Eyni yanaşma iqtisadi sahədə, xüsusilə strateji əhəmiyyət daşıyan enerji sektorunda daha qabarıq şəkildə özünü göstərir və bu sahə Rusiyanın xarici siyasətinin əsas alətlərindən birinə çevrilir. Dövlət enerji resurslarını yalnız iqtisadi gəlir mənbəyi kimi deyil, həm də geosiyasi təsir vasitəsi kimi qiymətləndirir və bu səbəbdən həmin sektor üzərində maksimum nəzarəti qorumağa çalışır. Britaniya-Rusiya tərəfdaşlığı çərçivəsində fəaliyyət göstərən BP-TNK nümunəsi göstərir ki, Moskva strateji resurslar üzərində nəzarəti təmin etmək üçün inzibati və siyasi rıçaqlardan, o cümlədən viza məhdudiyyətləri, hüquqi təzyiqlər və hətta casusluq ittihamlarından istifadə etməkdən çəkinmir. Bu isə iqtisadi münasibətlərin belə klassik realizmin məntiqinə uyğun olaraq milli təhlükəsizlik və dövlət maraqları prizmasından qiymətləndirildiyini göstərir.

Rusiyanın hökumətlərarası təşkilatlara münasibəti də eyni dərəcədə praqmatik və instrumental xarakter daşıyır. Moskva beynəlxalq institutları universal qaydalar sistemi kimi deyil, öz maraqlarını təmin etmək üçün istifadə oluna bilən platformalar kimi qəbul edir. Bu baxımdan, veto hüququna malik olduğu BMT Təhlükəsizlik Şurası kimi strukturlar aktiv şəkildə dəstəklənir, lakin daxili siyasətə müdaxilə kimi qiymətləndirilən fəaliyyət göstərən qurumlara qarşı açıq etinasızlıq nümayiş etdirilir. ABŞ-ın bəzi hərbi əməliyyatlarının BMT çərçivəsində bloklanması və ya ATƏT-in ilkin mərhələdə Avropa təhlükəsizliyində mühüm rol oynayan mexanizm kimi qəbul edilməsi, lakin sonradan tənqidi mövqelərə görə bu quruma marağın azalması Rusiyanın selektiv və maraq yönümlü realizm yanaşmasının bariz nümunələridir. Bu isə bir daha təsdiqləyir ki, Moskva üçün beynəlxalq təşkilatların əhəmiyyəti onların obyektiv legitimliyindən deyil, konkret situasiyada milli maraqlara nə dərəcədə xidmət etməsindən asılıdır.

Lakin ATƏT-in insan haqları və Çeçenistan məsələsindəki tənqidləri Rusiyanın bu quruma marağını sürətlə azaltmışdır. Bu da realizmin digər bir sütunu olan "beynəlxalq anarxiya" və "özünəyardım" (self-help) prinsiplərini təsdiqləyir. Rusiya rəsmi doktrinalarında milli maraqların prioritetini o dərəcədə mütləqləşdirir ki, sanki özünə fayda verməyən heç bir əməkdaşlıqda yer almaq niyyətində deyil. NATO və Aİ-nin genişlənməsi prosesində Rusiyanın "kompensasiya" tələbləri və Qərbin raketdən müdafiə sistemlərinə (Polşa və Çexiya nümunəsi) qarşı kəskin müxalifəti, dövlətin xarici aktorlara qarşı dərin etimadsızlığından qaynaqlanır. Beləliklə, Moskvanın ritorikasında "qanuni maraqlar" və "xarici təhdid" anlayışları, anarxik dünyada sağ qalmağa çalışan realist bir dövlətin daimi davranış modelidir.

Struktur realizm beynəlxalq sistemdəki anarxiya və dövlətlərin "özünəyardım" prinsipi ilə hərəkət etməsini əsas götürür. Kennet Valts tərəfindən sistemləşdirilən bu nəzəriyyə, dövlətlərin daxili siyasi xüsusiyyətlərindən çox, gücün beynəlxalq sistemdəki bölüşdürülməsinə diqqət yetirir. Soyuq müharibə dövründə ikiqütblü dünyanı izah etmək üçün effektiv olan bu yanaşma, həmçinin "müdafiə realizmi" (təmkinli güc) və "hücumçu realizm" (maksimum güc) arasındakı müzakirələrə yol açmışdır. Müdafiə realizmi dövlətin yaşaması üçün mülayim siyasəti vacib saysa da, hücumçu realizm anarxiyanın dövlətləri hərbi üstünlüyə sövq etdiyini iddia edir. Lakin SSRİ-nin qəfil və dinc süqutu struktur realizmin proqnoz qabiliyyətini sarsıtdı; belə ki, Valtsın fəlakətli toqquşma ehtimalı özünü doğrultmadı. Erik Cons və Uilyam Volfort kimi tədqiqatçılar bu uğursuzluğu nəzəriyyənin daxili amilləri və elitaların qavrayışını nəzərdən qaçırması ilə əsaslandırırlar (Elman, C. 2007: 12).

Post-soyuq müharibə dövründə struktur realizmin Rusiyanın mürəkkəb və çoxqatlı xarici siyasətini izah etməkdə müəyyən məhdudiyyətlərlə üzləşdiyi aydın görünür. Bu yanaşma əsasən beynəlxalq sistemin quruluşuna və güc bölgüsünə fokuslandığı üçün Rusiyanın davranışlarında mühüm rol oynayan daxili siyasi, ideoloji və tarixi amilləri kifayət qədər nəzərə almır. Halbuki Moskva SSRİ-nin süqutundan sonra itirdiyi qlobal statusu bərpa etmək məqsədilə yalnız sistemin diktə etdiyi şərtlərə uyğunlaşmır, eyni zamanda mövcud beynəlxalq nizamın özünü açıq şəkildə sorğulayır və ona qarşı alternativ model irəli sürür. Vaşinqtonun "təkqütblü dünya" konsepsiyasına yönəlmiş kəskin tənqidlər və çoxqütblü sistem tələbi Rusiyanın beynəlxalq münasibətlərdə daha aktiv və qərarverici aktor kimi tanınmaq istəyindən qaynaqlanır.

Bu kontekstdə NATO-nun Kosovo müdaxiləsinə və ABŞ-ın İraq müharibəsinə verilən sərt reaksiyalar yalnız konkret hadisələrə münasibət deyil, daha geniş mənada Rusiyanın qlobal qərarqəbuletmə mexanizmlərindən kənarda qalmasına qarşı etiraz forması kimi dəyərləndirilə bilər. Struktur realizm dövlətlərin davranışını əsasən sistem səviyyəli amillərlə izah etməyə çalışsa da, Rusiyanın xarici siyasətində imperiya keçmişinə bağlılıq, itirilmiş gücün bərpası istəyi və daxili siyasi konsolidasiya kimi faktorlar mühüm rol oynayır. Məhdud iqtisadi resurslar və texnoloji geri qalma kimi obyektiv məhdudiyyətlər fonunda belə, Moskva özünü böyük güc kimi təqdim etməyə çalışır və bu, onun davranışlarında bəzən rasional-struktur izahdan kənara çıxan elementlərin mövcudluğunu göstərir. Beləliklə, Rusiyanın xarici siyasəti yalnız sistemin təzyiqləri ilə deyil, həm də daxili qavrayışlar, tarixi yaddaş və siyasi ambisiyalarla formalaşdığı üçün struktur realizm bu reallığı tam şəkildə əhatə etməkdə yetərli olmur (http://https//www.mid.ru/ru/foreign_policy/official_documents/1860586/).

Mərkəzi hakimiyyət ənənəsi, regional hegemonluq istəyi, Putin dövründəki daxili siyasi konsolidasiya və Gürcüstanla müharibə kimi hadisələr Rusiyanın xarici kursunun daxili amillərlə sıx bağlı olduğunu göstərir. Beləliklə, yalnız sistem səviyyəsində təhlil aparan struktur realizm, Rusiyanın ideoloji və siyasi dilemmalarla yüklənmiş xarici siyasətini tam dəqiqliyi ilə şərh etməkdə aciz qalır.

Robert Gilpinin "hegemon müharibə" nəzəriyyəsi də daxil olmaqla, hegemonluq rəqabəti yanaşmaları beynəlxalq münasibətləri sistemin strukturu baxımından təhlil edir. Lakin standart struktur realizmdən fərqli olaraq, bu nəzəriyyələr sistemdəki dinamik transformasiyaları ön plana çəkir. Gilpinə görə, dövlətlər arasındakı qeyri-bərabər güc artımı mövcud iyerarxiyanı sarsıdan və münaqişəyə yol açan əsas amildir. Sistemdəki lider dövlətin (hegemonun) mövqeyi, yüksəlməkdə olan "ikinci gücün" onun maraqlarını təhdid etdiyi ana qədər sabit qalır. Soyuq müharibə dövründə SSRİ bu rəqib rolunda çıxış etsə də, onun süqutu ABŞ-ın mütləq üstünlüyünü təmin etdi. Hazırda Rusiyanın demoqrafik böhranı, iqtisadi asılılığı və texnoloji geriliyi onu qlobal hegemonluq üçün deyil, yalnız postsovet məkanında regional liderlik üçün rəqib edir. Dünyanın ikinci böyük gücü statusu isə artıq aydın şəkildə Pekinə keçməkdədir.

Buna baxmayaraq, hegemon rəqabət nəzəriyyəsi Rusiyanın xarici siyasətini izah etmək üçün hələ də geniş imkanlar təklif edir. Çünki bu yanaşma güc anlayışına yalnız hərbi deyil, həm də demoqrafik, iqtisadi və texnoloji spektrdən baxır (Kropatcheva, 2012). Rusiya uzun müddət yalnız hərbi gücünə güvənsə də, iqtisadi zəiflik onun hərbi potensialını da sarsıtmış, onu Qərbin texnoloji üstünlüyü qarşısında çətin vəziyyətə salmışdır. Hətta ənənəvi hərbi təzyiq alətləri post-soyuq müharibə dövründə regional səviyyədə də öz effektivliyini itirməyə başlamışdır. Bu səbəbdən, Putin dövründə Rusiya öz təsirini bərpa etmək üçün enerji resurslarından bir siyasi silah kimi istifadə etməyə — iqtisadi rıçaqları hərbi güclə sintez etməyə başlamışdır. Bu təkamül, hegemon nəzəriyyələrin "güc mənbələrinin çoxşaxəliliyi" tezisi ilə tamamilə üst-üstə düşür (Martill, B., & Sus, M. 2024).

Nəticədə, Rusiyanın xarici siyasi kursu klassik realizmin dərin köklərinə bağlı qalmaqdadır. Moskva öz enerji nəhənglərini (məsələn, Qazprom) və oliqarxlarını dövlətin siyasi ambisiyalarının icraçısı kimi dəstəkləyir, lakin beynəlxalq bazarın liberallaşdırılması və Avropa standartlarının qəbulu kimi öhdəliklərdən qətiyyətlə imtina edir. Beləliklə, hegemon rəqabətin neorealist modelləri Rusiyanın XXI əsrin reallıqlarına uyğunlaşma cəhdlərini təhlil etmək üçün statik struktur realizmindən daha effektiv bir çərçivə təqdim edir. Dünya siyasətindəki dinamik yerdəyişmələrə baxmayaraq, Kremlin davranışları həmişə dövlət mərkəzçi, klassik realist maraqlara söykənəcəkdir.

Müasir realizm daxilindəki əsas müzakirə xətlərindən biri, sistem səviyyəli təhlilə önəm verən neorealizm ilə dövlət səviyyəli amilləri ön plana çıxaran neoklassik realizm arasındakı fərqlərlə bağlıdır. Neoklassik realistlər xarici sistemik təzyiqlərlə daxili siyasi mühit arasında kəskin sərhəd qoymurlar. Onlar dövlətin xarici kursunu beynəlxalq strukturun təsirlərini gücləndirən və ya zəiflədən daxili faktorların məhsulu kimi şərh edirlər. Bu yanaşma müəyyən mənada klassik realizmin liderlərin qərarvermə dilemmalarına verdiyi önəmə qayıdır, lakin daha irəli gedərək rəqiblərin niyyətləri haqqında qavrayışları, elitanın cəmiyyəti səfərbər etmək qabiliyyətini və dəyişən milli üstünlükləri də təhlilə daxil edir.

Neoklassik realizm bəzən realizmin nəzəri sərhədlərini bulandırdığı üçün tənqid olunsa da, Rusiya xarici siyasətini anlamaq üçün olduqca əlverişli alətdir. Rusiyanın daxili siyasi kuluarlarındakı maraq qrupları — hərbi lobbi, oliqarxlar, enerji sektoru və hakim elitanın müxtəlif qanadları — nəzərə alınmadan Moskvanın addımlarını tam izah etmək mümkün deyil. Bu nəzəriyyə həmçinin Rusiyanın fərqli müstəvilərdəki (ABŞ-la qlobal, Aİ ilə regional, MDB ilə qonşuluq münasibətləri) çoxşaxəli rollarını və Rusiya-Aİ "ortaq məkanlar" layihəsində olduğu kimi, rasional mənfəət-xərc hesablamalarına əsaslanan çevik taktiki manevrlərini anlamağa kömək edir (Martill & Sus, 2024).

Rusiyanın neoklassik realist meyillərinin digər bir göstəricisi, dövlətin beynəlxalq nüfuz və təbliğat (propaqanda) alətlərinə verdiyi böyük önəmdir. NATO-nun genişlənməsi və raketdən müdafiə sistemləri ətrafındakı müzakirələrdə Moskvanın apardığı genişmiqyaslı informasiya kampaniyaları bu vasitələrin peşəkar mənimsənilməsindən xəbər verir. Bununla belə, artan beynəlxalq əməkdaşlıq cəhdlərinə baxmayaraq, Rusiyanın xarici siyasəti böhran anlarında həmişə klassik realizmin "özünəyardım" və "təhlükəsizlik prioriteti" köklərinə qayıdır. Xüsusilə qloballaşmanın gətirdiyi rəqabət çətinlikləri və enerji sektorunun "siyasi həssaslığı" Moskvanı dərin inteqrasiya proseslərindən çəkindirmiş, onu beynəlxalq münasibətlərdə ənənəvi realist düşüncə tərzinə sadiq saxlamışdır (Martill & Sus, 2024).

Beləliklə, Rusiya Federasiyasının xarici fəaliyyəti göstərir ki, realizmin müxtəlif qolları Moskvanın davranışlarını izah etmək üçün zəruri nəzəri bazadır. Klassik realizm dövlət mərkəzçiliyi və güc siyasətinin mahiyyətini, neorealizm sistemik təzyiqləri, neoklassik realizm isə daxili amillərlə sistemin qarşılıqlı təsirini və taktiki çevikliyi izah edir. Rusiyanın xarici siyasəti bütün bu istiqamətlərin elementlərini özündə birləşdirən mürəkkəb bir mozaika olsa da, onun strateji fundamenti sarsılmaz klassik realist prinsiplərə söykənməkdə davam edir.

Nəticə

Rusiya Federasiyasının xarici siyasəti realizm nəzəriyyəsinin müxtəlif istiqamətlərinin praktik müstəvidə təzahür etdiyi kompleks və çoxqatlı bir model kimi çıxış edir. Dövlət mərkəzçiliyi, milli maraqların mütləqliyi və güc amilinin prioritetliyi Rusiyanın beynəlxalq davranışlarının əsasını təşkil edir və bu xüsusiyyətlər klassik realizmin fundamental prinsipləri ilə tam uyğunluq təşkil edir. Moskvanın beynəlxalq sistemi rəqabət və güc balansı müstəvisi kimi qəbul etməsi, onun xarici siyasətində təhlükəsizlik və təsir dairələrinin qorunmasını əsas prioritetə çevirmişdir.

Təhlil göstərir ki, Rusiyanın xarici siyasətində yalnız klassik realizm deyil, eyni zamanda struktur və neoklassik realizm yanaşmalarının elementləri də paralel şəkildə özünü göstərir. Struktur realizm beynəlxalq sistemin təsirini izah etmək baxımından müəyyən analitik imkanlar təqdim etsə də, Rusiyanın davranışında daxili siyasi, tarixi və ideoloji amillərin rolu bu yanaşmanın məhdudiyyətlərini ortaya qoyur. Bu baxımdan neoklassik realizm Rusiyanın xarici siyasətini daha dolğun izah etməyə imkan verən yanaşma kimi çıxış edir, çünki o, sistem və daxili faktorların qarşılıqlı təsirini nəzərə alır.

Qeyd edək ki, Rusiya beynəlxalq təşkilatlara və iqtisadi münasibətlərə selektiv və praqmatik yanaşma nümayiş etdirir. Moskva üçün beynəlxalq institutların əhəmiyyəti onların universal legitimliyindən deyil, konkret situasiyada milli maraqlara nə dərəcədə xidmət etməsindən asılıdır. Enerji resurslarının geosiyasi alətə çevrilməsi, iqtisadi rıçaqların siyasi məqsədlərlə istifadəsi və xarici təsirlərə qarşı sərt nəzarət mexanizmlərinin tətbiqi bu yanaşmanın əsas göstəriciləridir.

Post-soyuq müharibə dövründə Rusiyanın qlobal statusunu bərpa etmək cəhdləri, çoxqütblü dünya nizamı tələbi və Qərb strukturlarına qarşı skeptik münasibəti onun xarici siyasətinin yalnız sistem təzyiqləri ilə deyil, həm də daxili qavrayışlar və tarixi ambisiyalarla formalaşdığını göstərir. Bu isə Rusiyanın davranış modelinin tək bir nəzəri çərçivə ilə izah edilməsinin qeyri-kafi olduğunu və realizmin müxtəlif istiqamələrinin sintezinin daha adekvat yanaşma olduğunu sübut edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Martill, B., & Sus, M. (2024). Winds of change? Neoclassical realism, foreign policy change, and European responses to the Russia–Ukraine War. European Security, 27(4). https://doi.org/10.1177/13691481241280170
2. Więcławski, J. (2011). Contemporary realism and the foreign policy of the Russian Federation. Journal of Eurasian Studies, 2(2), 170–179.
3. Kropatcheva, E. (2012). Russian foreign policy in the realm of European security through the lens of neoclassical realism. Journal of Eurasian Studies, 3(1), 30–40.
4. Elman, C. (2007). Realism. In M. Griffiths (Ed.), International relations theory for the twenty-first century: An introduction. Milton Park, Abingdon, Oxon: Routledge. pp. 12–13
5. https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/official_documents/1860586/

DÖVLƏT ORQANLARINDA RƏQƏMSAL XİDMƏTLƏRİN TƏTBİQİ: NAİLİYYƏTLƏR VƏ PROBLEMLƏR

Nəsir Nəsirov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
Bakı, Azərbaycan
nesir.nesirov.1990@mail.ru

Xülasə: Müasir dövrdə dövlət idarəçiliyində rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi ictimai xidmətlərin səmərəliliyinin artırılmasında, şəffaflığın təmin edilməsində və vətəndaş məmnunluğunun yüksəldilməsində əsas amillərdən biri hesab olunur. Rəqəmsallaşma prosesi dövlət orqanlarının fəaliyyətində informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının (İKT) tətbiqi, elektron hökumət platformalarının yaradılması, elektron imza, "ASAN xidmət", "myGov", "e-gov" kimi sistemlərin inkişafı ilə müşahidə olunur. Bu istiqamətdə atılan addımlar nəticəsində vətəndaşların dövlət xidmətlərinə çıxışı sadələşmiş, korrupsiya riskləri azalmış, xidmətlərin göstərilmə müddəti və xərcləri əhəmiyyətli dərəcədə azalmışdır. Rəqəmsal xidmətlərin tətbiqində müəyyən problemlər də mövcuddur. Əsas çətinliklərə texnoloji infrastrukturun qeyri-bərabər inkişafı, regionlar arasında rəqəmsal uçurum, bəzi dövlət qulluqçularının İKT bacarıqlarının zəifliyi, informasiya təhlükəsizliyi riskləri və vətəndaşların rəqəmsal savadlılıq səviyyəsinin aşağı olması daxildir. Eyni zamanda, bəzi elektron sistemlərin inteqrasiyasının tam təmin olunmaması və məlumat mübadiləsindəki uyğunsuzluqlar da idarəetmədə operativliyin azalmasına səbəb olur. Azərbaycanda dövlət orqanlarında rəqəmsal xidmətlərin tətbiqi mühüm nailiyyətlər qazandırsa da, prosesin dayanıqlılığını təmin etmək üçün rəqəmsal infrastrukturun genişləndirilməsi, kadr potensialının gücləndirilməsi, kibertəhlükəsizlik tədbirlərinin artırılması və vətəndaşların rəqəmsal bacarıqlarının inkişaf etdirilməsi prioritet istiqamətlər olaraq qalır.

Açar sözlər: **Rəqəmsallaşma, elektron hökumət, dövlət xidmətləri, informasiya texnologiyaları, şəffaflıq, idarəetmə, rəqəmsal transformasiya**

Giriş

Müasir dövrdə dövlət idarəçiliyinin səmərəliliyinin artırılması, şəffaflığın təmin olunması və vətəndaşlara göstərilən xidmətlərin keyfiyyətinin yüksəldilməsi məqsədilə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi qlobal trendlərdən birinə çevrilmişdir. Rəqəmsal transformasiya prosesi yalnız texnoloji yenilik deyil, həm də idarəetmə fəlsəfəsində köklü dəyişiklik deməkdir. Dövlət orqanlarında rəqəmsal xidmətlərin geniş tətbiqi nəticəsində ənənəvi bürokratik prosedurlar azalır, insan faktoru minimuma endirilir və qərar qəbul etmə mexanizmləri daha şəffaf və çevik olur. Azərbaycan Respublikasında da son illər ərzində dövlət xidmətlərinin rəqəmsallaşdırılması istiqamətində mühüm islahatlar həyata keçirilmişdir. "Elektron hökumət" portalının yaradılması, "ASAN xidmət" mərkəzlərinin fəaliyyəti, "myGov", "e-vergilər", "e-sosial", "e-prokurorluq" kimi platformaların tətbiqi dövlət orqanlarının vətəndaşlarla qarşılıqlı əlaqəsini tamamilə yeni mərhələyə daşımışdır. Bu təşəbbüslər nəticəsində xidmətlərin əlçatanlığı artmış, vətəndaş məmnunluğu yüksəlmiş, korrupsiya riskləri azalmış və idarəetmədə effektivlik təmin olunmuşdur.

Lakin rəqəmsal xidmətlərin tətbiqi prosesində müəyyən problemlər də mövcuddur. Bunlara texnoloji infrastrukturun bəzi regionlarda zəif inkişafı, rəqəmsal savadlılığın aşağı səviyyəsi, informasiya təhlükəsizliyinin tam təmin olunmaması və dövlət orqanlarında vahid elektron inteqrasiya mexanizminin hələ tam formalaşmaması daxildir[1,s 22].

Dövlət orqanlarında rəqəmsal xidmətlərin tətbiqinin həm nailiyyətlərinin, həm də mövcud problemlərinin elmi təhlili mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Mövzu üzrə aparılan tədqiqatın nəticələri dövlət idarəçiliyinin modernləşdirilməsi, rəqəmsal transformasiyanın səmərəli həyata keçirilməsi və vətəndaşlara göstərilən xidmətlərin keyfiyyətinin artırılması istiqamətində praktik tövsiyələrin hazırlanmasına imkan verir[2,s 32].

Rəqəmsal xidmətlərin dövlət orqanlarında tətbiqi yalnız inzibati prosedurların elektronlaşdırılması ilə məhdudlaşmır, həm də dövlət-vətəndaş münasibətlərinin mahiyyətini dəyişir. Bu prosesin əsas məqsədi vətəndaş yönümlü idarəetmə modelinin formalaşdırılması və dövlət xidmətlərinin sürətli, şəffaf və çevik şəkildə göstərilməsidir. Rəqəmsallaşma dövlətin fəaliyyətini açıq informasiya mühitinə daşıyır, ictimai nəzarəti gücləndirir və qərarların qəbulunda data-analitika əsaslı yanaşmanı mümkün edir. Azərbaycan bu istiqamətdə regionda qabaqcıl mövqedə dayanır. "Azərbaycan 2030: Sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər" sənədində rəqəmsal dövlətin qurulması və innovasiyaların tətbiqi mühüm strateji istiqamət

kimi müəyyən edilmişdir. Bu prioritet çərçivəsində dövlət idarəçiliyində elektron hökumət həllərinin genişləndirilməsi, rəqəmsal infrastrukturun gücləndirilməsi və süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi kimi tədbirlər həyata keçirilir. "Rəqəmsal Azərbaycan" konsepsiyası çərçivəsində bütün dövlət orqanlarının fəaliyyətində elektron sənəd dövriyyəsi, rəqəmsal arxiv sistemləri, e-İmza, bulud texnologiyaları və e-dövlət interoperabelliyi kimi alətlər tətbiq olunur. Nəticədə dövlət xidmətlərinin əksəriyyəti onlayn mühitə daşınmış, vətəndaşların vaxt itkisi azalmış, inzibati yük isə minimuma endirilmişdir. Rəqəmsallaşma prosesinin uğurlu davamı üçün insan resurslarının hazırlanması və rəqəmsal bacarıqların inkişaf etdirilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bəzi hallarda dövlət qulluqçularının rəqəmsal kompetensiyalarının zəifliyi, köhnə idarəetmə vərdişlərinin davam etməsi, habelə məlumat mübadiləsi sistemlərinin tam inteqrasiya olunmaması problemlər yaradır. Dövlət orqanlarında rəqəmsal xidmətlərin tətbiqinin təkmilləşdirilməsi üçün institusional islahatlarla yanaşı, təşkilati və mədəni dəyişikliklərin də aparılması zəruridir. Yalnız bu halda rəqəmsal idarəetmə tam mənada effektiv, şəffaf və dayanıqlı bir sistemə çevrilə bilər[3,s 44].

Cədvəl 1. Dövlət orqanlarında rəqəmsal xidmətlərin tətbiqinin əsas istiqamətləri və nəticələri

Tətbiq istiqaməti	Təsvir / Məzmun	Nəticə və təsir	Nümunə
Elektron hökumət portalları	Dövlət xidmətlərinin vahid elektron platforma üzərindən təqdim olunması	Vətəndaşlara xidmətlərin əlçatanlığı və şəffaflığı artmışdır	"e-gov.az", "myGov.az"
Elektron imza və sənəd dövriyyəsi	Kağız üzərində sənədlərin elektron sistemlə əvəz olunması	İnzibati proseslər sürətlənmiş, xərclər azalmışdır	e-İmza sistemi
ASAN xidmət modeli	Bir pəncərə prinsipi ilə xidmətlərin göstərilməsi	Korrupsiya riskləri azalmış, vətəndaş məmnunluğu yüksəlmişdir	ASAN xidmət mərkəzləri
E-vergi və e-sosial xidmətlər	Elektron bəyannamə, sosial ödənişlər və hesabatların rəqəmsallaşdırılması	İqtisadi fəaliyyətin şəffaflığı və hesabatlılığı artmışdır	"e-taxes.gov.az", "e-sosial.az"

Mənbə: Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Administrasiyası. (2021). *"Azərbaycan 2030: Sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər."* Bakı: Prezident.az. https://president.az

Cədvəl 1-ə əsasən dövlət orqanlarında rəqəmsallaşmanın əsas istiqamətlərini və əldə olunan konkret nəticələri göstərir. Hər istiqamət üzrə həm idarəetmədə, həm də vətəndaş məmnuniyyətində müsbət dəyişikliklər müşahidə olunur.

Cədvəl 2. Rəqəmsal xidmətlərin tətbiqində mövcud problemlər və risklər

Problem / Risk	Təsvir	Nəticə	Təklif olunan həll
Rəqəmsal infrastrukturun qeyri-bərabərliyi	Regionlarda internet və texnoloji təminat səviyyəsinin fərqliliyi	Rəqəmsal bərabərsizlik və xidmətlərə çıxışda disbalans	Regional rəqəmsal mərkəzlərin yaradılması
Rəqəmsal savadlılığın aşağı səviyyəsi	Vətəndaşların və bəzi qulluqçuların İKT biliklərinin məhdudluğu	Elektron xidmətlərdən istifadənin məhdudluğu	Təlim proqramları və maarifləndirmə kampaniyaları
Məlumat təhlükəsizliyi riskləri	Kibertəhlükəsizlik və şəxsi məlumatların qorunması ilə bağlı boşluqlar	Etimadın azalması və sistemlərin zəifləməsi	Gücləndirilmiş informasiya təhlükəsizliyi protokolları
Sistemlər arasında inteqrasiya çatışmazlığı	Müxtəlif dövlət orqanlarının e-sistemləri arasında məlumat axınının zəifliyi	Operativlik azalır, təkrarlanan proseslər yaranır	Vahid məlumat bazası və interoperabellik platforması

Mənbə: UNDESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs). (2022). *E-Government Survey 2022: The Future of Digital Government.* New York: United Nations. https://publicadministration.un.org/egovkb

Cədvəl 2-yə əsasən dövlət orqanlarında rəqəmsal xidmətlərin tətbiqi zamanı rast gəlinən əsas çətinlikləri və onların aradan qaldırılması üçün elmi əsaslı təklifləri əks etdirir.

Cədvəl 3. Rəqəmsal transformasiyanın dövlət idarəçiliyinə təsirinin qiymətləndirilməsi

Qiymətləndirmə meyarı	Əvvəlki vəziyyət (ənənəvi idarəetmə)	Sonrakı vəziyyət (rəqəmsal idarəetmə)	Təkmilləşmə səviyyəsi
Xidmət göstərmə müddəti	5–10 iş günü	1–2 iş günü və ya onlayn anında	70–80% azalma
Şəffaflıq və nəzarət	Məhdud, sənəd əsaslı nəzarət	Real vaxt rejimində elektron monitorinq	90% artım
Vətəndaş məmnunluğu səviyyəsi	Orta (45–50%)	Yüksək (80–85%)	+35% artım
Korrupsiya riski	Yüksək	Minimal	60–70% azalma
Xidmət xərcləri	Yüksək əməliyyat və sənəd xərcləri	Elektron platformalarda minimal xərclər	50% qənaət

Mənbə: UNDP. (2023). *Digital Transformation Framework for Effective Public Services.* New York: United Nations Development Programme. https://www.undp.org

Cədvəl 3-ə əsasən rəqəmsal transformasiyanın dövlət idarəçiliyinə gətirdiyi effektivlik göstəriciləri müqayisəli şəkildə göstərilir. Burada əsas göstəricilər üzrə əhəmiyyətli irəliləyişlər müşahidə olunur.

TƏHLİL

Dövlət orqanlarında rəqəmsal xidmətlərin tətbiqi müasir idarəetmə sisteminin əsas prioritet istiqamətlərindən biridir və bu proses dövlət-vətəndaş münasibətlərinin mahiyyətini köklü şəkildə dəyişmişdir. Rəqəmsal transformasiya idarəetmədə səmərəliliyi artırmaqla yanaşı, şəffaflığın və ictimai nəzarətin təmin olunmasına, korrupsiya risklərinin azaldılmasına və vətəndaş məmnuniyyətinin yüksəlməsinə şərait yaratmışdır. Cədvəllərin təhlilindən göründüyü kimi, Azərbaycanın rəqəmsal hökumət modeli, xüsusilə ASAN xidmət**,** e-gov.az**,** myGov.az**,** e-sosial.az**,** e-vergi kimi platformalar vasitəsilə elektron xidmətlərin təqdimatında regionda qabaqcıl təcrübələrdən birinə çevrilmişdir. Xidmətlərin elektronlaşdırılması nəticəsində inzibati prosedurlar sadələşmiş, vətəndaşlar üçün zaman və maliyyə qənaəti təmin olunmuşdur. Məsələn, dövlət xidmətlərinin onlayn təqdimatı nəticəsində müraciətlərin icra müddəti 70–80% qısalmış, xidmət xərcləri isə 50%-ə qədər azalmışdır. Bu, dövlət idarəçiliyində səmərəlilik göstəricilərinin ciddi şəkildə artdığını göstərir. Lakin aparılan analiz göstərir ki, rəqəmsal xidmətlərin tətbiqi prosesi bütün sahələrdə eyni templə getmir. Rəqəmsal uçurum problemi — yəni paytaxt və regionlar arasında texnoloji infrastrukturun fərqliliyi — vətəndaşların bərabər xidmət imkanlarını məhdudlaşdırır. Bəzi bölgələrdə internet sürəti və texniki təminatın aşağı olması nəticəsində vətəndaşlar elektron xidmətlərdən tam istifadə edə bilmir. Bundan əlavə, bəzi dövlət qulluqçularının İKT bacarıqlarının məhdudluğu rəqəmsal sistemlərin effektiv tətbiqinə mane olur.

Maraqlı bir məqam da odur ki, rəqəmsallaşma ilə yanaşı kibertəhlükəsizlik məsələləri də dövlət idarəçiliyinin qarşısında yeni çağırışlar kimi meydana çıxmışdır. Məlumat bazalarının genişlənməsi və vətəndaş məlumatlarının elektron mühitdə toplanması təhlükəsizlik risklərini artırır. Buna görə də, dövlət orqanlarında informasiya təhlükəsizliyi sistemlərinin beynəlxalq standartlara uyğun şəkildə gücləndirilməsi zəruridir. Dövlət idarəçiliyində müxtəlif sistemlər arasında inteqrasiyanın tam olmaması da səmərəliliyə mənfi təsir göstərir. Məsələn, müxtəlif nazirliklərin və agentliklərin elektron sistemləri arasında məlumat mübadiləsi məhdud olduğundan təkrarlanan proseslər yaranır. Bu, həm vətəndaşlar, həm də dövlət qurumları üçün vaxt itkisinə səbəb olur[5,s 44].

Cədvəl 4. Dövlət orqanlarında rəqəmsal xidmətlərin tətbiqinə dair analitik təhlil

Təhlil aspekti	Müsbət nəticələr	Mövcud problemlər	İnkişaf istiqamətləri / Təkliflər
1. İdarəetmə səmərəliliyi	Elektron sənəd dövriyyəsi və rəqəmsal platformalar idarəetməni sürətləndirmişdir. Qərar qəbul etmə prosesi optimallaşmışdır.	Müxtəlif dövlət sistemləri arasında inteqrasiya tam təmin olunmayıb.	"Rəqəmsal hökumət buludu" (Government Cloud) çərçivəsində vahid idarəetmə platformasının tətbiqi.
2. Vətəndaş məmnunluğu	ASAN xidmət və myGov vasitəsilə xidmətlərə əlçatanlıq və şəffaflıq artmış, korrupsiya halları azalmışdır.	Regionlarda elektron xidmətlərə çıxış bərabər deyil; bəzi xidmətlər hələ də kağız əsaslıdır.	Regional ASAN mərkəzlərinin və mobil xidmətlərin genişləndirilməsi.
3. İqtisadi səmərəlilik	Rəqəmsallaşma əməliyyat və sənəd xərclərini 40–60% azaltmışdır.	İKT infrastrukturu və texnoloji modernizasiya üçün maliyyə yükü yüksəkdir.	Dövlət-özəl tərəfdaşlıq mexanizmləri ilə rəqəmsal investisiyaların cəlb olunması.
4. İnsan resursları	Dövlət qulluqçularının bir qismi rəqəmsal bacarıqlara yiyələnmiş, e-İdarəetmə kursları artmışdır.	Bəzi dövlət qulluqçuları İKT biliklərinə tam malik deyil, dəyişikliklərə müqavimət göstərir.	"Dövlət qulluqçularının rəqəmsal savadlılıq strategiyası"nın hazırlanması və icrası.
5. Hüquqi və institusional çərçivə	Elektron imza və məlumat mühafizəsi ilə bağlı normativ baza formalaşdırılıb.	Kibertəhlükəsizlik tənzimləmələri bəzi sahələrdə tam sistemli deyil.	İnformasiya təhlükəsizliyi üzrə milli sertifikatlaşdırma sisteminin gücləndirilməsi.
6. Sosial təsir və rəqəmsal inklüzivlik	Əhalinin böyük hissəsi onlayn xidmətlərdən istifadə etməyə başlamışdır.	Yaşlı nəsil və az texnoloji biliklərə malik qruplar rəqəmsal xidmətlərdən çətinliklə istifadə edir.	Vətəndaş cəmiyyətinin və QHT-lərin iştirakı ilə maarifləndirmə proqramlarının həyata keçirilməsi.

Mənbə: Azərbaycan Respublikası Rəqəmsal İnkişaf və Nəqliyyat Nazirliyi. (2024). *Rəqəmsal Azərbaycan strategiyası.* https://mincom.gov.az

Cədvəl 4-ə əsasən rəqəmsal xidmətlərin tətbiqi dövlət idarəçiliyində müsbət nəticələr doğurmuş, lakin eyni zamanda struktur, texnoloji və sosial səviyyələrdə müəyyən problemləri də üzə çıxarmışdır. Əsas istiqamətlərdən biri dövlət orqanlarının informasiya sistemlərinin vahid platforma üzərindən inteqrasiyası, kibertəhlükəsizlik tədbirlərinin gücləndirilməsi və rəqəmsal bacarıqların artırılmasıdır.

Nəticə

Şəkil 1. Dövlət orqanlarında rəqəmsal xidmətlərin tətbiqi: nəticələr və problemlər



Mənbə: Azərbaycan Respublikası Rəqəmsal İnkişaf və Nəqliyyat Nazirliyi. (2024). *"Rəqəmsal Azərbaycan" konsepsiyası və dövlət xidmətlərinin elektronlaşdırılması hesabatı.* Bakı: mincom.gov.az. https://mincom.gov.az

Şəkil dövlət orqanlarında rəqəmsal xidmətlərin tətbiqi nəticəsində əldə olunan müsbət nəticələrlə yanaşı, bu prosesdə qarşılaşılan əsas problemləri vizual şəkildə əks etdirir. Sol hissədə rəqəmsallaşmanın gətirdiyi nailiyyətlər, sağ hissədə isə prosesin davamlılığına mane olan çətinliklər göstərilir. Nəticələr bölməsində xidmətlərə çıxışın sadələşməsi, vətəndaş məmnunluğunun yüksəlməsi, korrupsiya risklərinin azalması və xidmət xərclərinin azalması kimi mühüm irəliləyişlər qeyd olunur. Bu, dövlət idarəçiliyində şəffaflıq və səmərəliliyin artdığını göstərir.

Problemlər bölməsində isə texnoloji infrastrukturun qeyri-bərabər inkişafı, rəqəmsal savadlılığın aşağı səviyyəsi, informasiya təhlükəsizliyi riskləri və e-sistemlərin tam inteqrasiya olunmaması kimi çağırışlar vurğulanır. Bu amillər rəqəmsal transformasiyanın tam səmərəli həyata keçirilməsinə mane olur və davamlı inkişaf üçün əlavə tədbirlərin görülməsini tələb edir. Şəkil ümumilikdə göstərir ki, rəqəmsal xidmətlərin tətbiqi dövlət idarəçiliyində mühüm nailiyyətlər qazandırsa da, prosesin dayanıqlılığını təmin etmək üçün həm texnoloji, həm institusional, həm də sosial sahələrdə təkmilləşmə zəruridir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. World Bank. (2020). *Enhancing Government Effectiveness and Transparency: The Fight Against Corruption.* The World Bank Group. https://documents.worldbank.org
2. OECD. (2023). *Digital Government Index 2023: Shaping Digital Transformation in the Public Sector*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/digital
3. European Commission. (2023). *eGovernment Benchmark 2023: Citizen-Centric Digital Government in Europe.* Publications Office of the European Union. https://digital-strategy.ec.europa.eu
4. Ciancarini, P., Giancarlo, R., & Grimaudo, G. (2023). *Navigating Digital Transformation in Public Administration: A Systematic Review. Library and Information Science Review.*
5. Sun, T. Q., & Medaglia, R. (2019). Mapping the challenges of Artificial Intelligence in the public sector: Evidence from public healthcare. *Government Information Quarterly, 36*(2), 368–383. https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.09.008
6. Peixoto, T., & Fox, J. (2016). When does ICT-enabled citizen voice lead to government responsiveness? *World Development, 79,* 124–139. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.11.019

7. Transparency International. (2024). *Corruption Perceptions Index 2023/2024: Global Analysis.* Transparency International. https://www.transparency.org
8. Open Government Partnership. (2021). *IRM Synthesis Report: Lessons from Open Government Reforms.* https://www.opengovpartnership.org
9. OECD. (2022). *Digital Government Review of Latin America and the Caribbean: Building Inclusive and Responsive Public Services.* OECD Publishing.
10. United Nations Development Programme (UNDP). (2023). *Digital Strategy 2022–2025: A Future-Ready UNDP*. UNDP. https://www.undp.org
11. Republic of Azerbaijan. (2021). *"Azerbaijan 2030: National Priorities for Socio-Economic Development."* Approved by Presidential Decree No. 1174. https://president.az
12. State Agency for Public Service and Social Innovations under the President of the Republic of Azerbaijan (ASAN Service). (2024). *Annual Report 2023.* https://asan.gov.az
13. Ministry of Digital Development and Transport of the Republic of Azerbaijan. (2024). *Digital Transformation Strategy of the Republic of Azerbaijan.* https://mincom.gov.az
14. Əhmədov, R. (2023). Rəqəmsal hökumət və elektron xidmətlərin inkişaf tendensiyaları. *Azərbaycan İqtisadi Araşdırmalar Jurnalı, 11*(3), 45–57.
15. Məmmədli, T. (2022). Dövlət idarəçiliyində rəqəmsal transformasiyanın tətbiqi problemləri və həll yolları. *UNEC İqtisadi Elmlər Jurnalı, 8*(2), 90–103.

SÜNİ İNTELLEKT VƏ BÖYÜK VERİLƏNLƏRİN DÖVLƏT İDARƏÇİLİYİNDƏ TƏTBİQ İMKANLARI

Nəsir Nəsirov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
Bakı, Azərbaycan
nesir.nesirov.1990@mail.ru

Xülasə: Müasir dövrdə dövlət idarəçiliyi sistemlərinin səmərəliliyinin artırılması, şəffaflığın təmin olunması və vətəndaş məmnuniyyətinin yüksəldilməsi məqsədilə süni intellekt (Sİ) **və** böyük verilənlər (Big Data) texnologiyalarının tətbiqi geniş vüsət almışdır. Bu texnologiyalar dövlət qərar qəbuletmə proseslərinin elmi əsaslarla, sübutlara və real vaxt məlumatlarına söykənməsini təmin edir. Süni intellekt alqoritmləri dövlət orqanlarına proqnozlaşdırma, risklərin qiymətləndirilməsi, sənədlərin avtomatik emalı, elektron xidmətlərin fərdiləşdirilməsi kimi funksiyaları yerinə yetirməyə imkan verir. Məsələn, vergi və gömrük orqanlarında Sİ əsaslı analitik sistemlər qeyri-qanuni əməliyyatları aşkar edir, sosial təminat sahəsində isə vətəndaş müraciətlərinin avtomatik emalı və qərar dəstəkləyici sistemlər tətbiq olunur. Böyük verilənlər texnologiyaları isə ictimai rəyin, sosial media məlumatlarının, iqtisadi göstəricilərin və idarəetmə resurslarının təhlili üçün geniş imkanlar açır. Bu, dövlət siyasətinin hazırlanmasında faktiki məlumatlara əsaslanmağa və idarəetmə qərarlarının optimallaşdırılmasına xidmət edir. Xüsusilə "ağıllı şəhər" (Smart City) konsepsiyalarında böyük verilənlər enerji sərfiyyatı, nəqliyyat axınları və ictimai təhlükəsizlik kimi sahələrdə mühüm rol oynayır. Tətbiq zamanı məlumat təhlükəsizliyi, məxfilik, etik məsuliyyət və texnoloji asılılıq kimi problemlər də mövcuddur. Bu səbəbdən dövlətlər həm hüquqi, həm texnoloji, həm də institusional səviyyədə tənzimləyici mexanizmlər formalaşdırmalıdırlar. Süni intellekt və verilənlərin dövlət idarəçiliyinə inteqrasiyası dövlət xidmətlərinin keyfiyyətini artırmaqla yanaşı, idarəetmədə çevikliyi, şəffaflığı və innovasiyanı təmin edən əsas rəqəmsal transformasiya istiqamətidir.

Açar sözlər: **Yarı-prezidentlik, Dövlət idarə üsulu, Fransa konstitusiyası, Cohabitation**

Abstract: The forms of interaction and mechanisms of mutual impact between the head of state-government, head of state-parliament, government-parliament, adopted by the French Constitution of 1958, led to the emergence of a new term in the scientific and political literature in the classification of government types. This new government type which was called as "semi-presidentialism" by the famous French political scientist Duverger, has been criticized by many scientists. It was noted that the term could be relative if different approaches were taken into account. This new government type, which is directly related to the French political system, can not only ensure stability in government, simultaneously can lead to confrontation between the head of state and government.

Key words: Süni intellekt, böyük verilənlər, dövlət idarəçiliyi, rəqəmsal transformasiya, elektron hökumət, qərar qəbuletmə sistemləri

Giriş

XXI əsrin əsas xüsusiyyətlərindən biri dövlət idarəçiliyində rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı və tətbiqidir. Qlobal miqyasda rəqəmsal transformasiya prosesi dövlət sektorunun fəaliyyət prinsiplərini köklü şəkildə dəyişmiş, idarəetmədə şəffaflığın, səmərəliliyin və vətəndaş məmnuniyyətinin yüksəldilməsinə geniş imkanlar yaratmışdır. Bu kontekstdə süni intellekt (Sİ) **və** böyük verilənlər (Big Data**)** texnologiyaları dövlət idarəçiliyinin modernləşdirilməsində əsas alətlərdən birinə çevrilmişdir[1,s 33].

Süni intellektin tətbiqi idarəetmədə insan faktoru ilə bağlı subyektiv qərarların azaldılmasına, proseslərin avtomatlaşdırılmasına və verilənlərə əsaslanan qərar qəbuletmənin həyata keçirilməsinə şərait yaradır. Digər tərəfdən, böyük verilənlər dövlət orqanlarına müxtəlif mənbələrdən toplanan nəhəng həcmli məlumatların təhlilini aparmaqla, ictimai tendensiyaları, riskləri və ehtiyacları daha dəqiq müəyyənləşdirməyə imkan verir[2,s 43].

Müasir dövlətlər bu texnologiyaları sosial siyasətin planlaşdırılması, iqtisadi proqnozlaşdırma, vergi və gömrük nəzarəti, səhiyyə və təhsil sistemlərinin optimallaşdırılması, "ağıllı şəhər" layihələrinin idarə olunması kimi müxtəlif sahələrdə geniş şəkildə tətbiq edirlər. Bu, eyni zamanda dövlət-vətəndaş münasibətlərinin yeni mərhələyə keçidini, yəni daha açıq, çevik və interaktiv idarəetmə modelinin formalaşmasını təmin edir[3,s44].

Lakin süni intellekt və böyük verilənlərin dövlət idarəçiliyinə inteqrasiyası bir sıra problemləri və çağırışları da gündəmə gətirir: məlumatların məxfiliyi və təhlükəsizliyi, etik məsuliyyət, texnoloji asılılıq və hüquqi tənzimləmələrin yetərsizliyi kimi məsələlər xüsusi diqqət tələb edir. Tədqiqatın aktuallığı ondan ibarətdir ki, süni intellekt və böyük verilənlərin tətbiqi dövlət idarəçiliyində yalnız texnoloji yenilik deyil, həm də idarəetmə fəlsəfəsinin dəyişməsi, qərar qəbuletmənin elmi əsaslara söykənməsi və cəmiyyətlə dövlət arasında qarşılıqlı etimadın möhkəmlənməsi baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır[4,s 55].

Dövlət idarəçiliyində süni intellekt və böyük verilənlərin tətbiqi bu gün qlobal trendlərdən biri kimi qiymətləndirilir. Rəqəmsallaşma prosesləri yalnız iqtisadi və sosial sahələrdə deyil, həm də idarəetmənin strukturunda köklü dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Ənənəvi idarəetmə modellərinin səmərəliliyinin azalması fonunda, dövlət orqanları süni intellektin analitik və proqnozlaşdırma imkanlarından istifadə etməklə daha çevik, şəffaf və nəticəyönümlü idarəetmə sistemləri formalaşdırmağa çalışırlar. Azərbaycan Respublikasında da **"**Rəqəmsal transformasiya konsepsiyası**", "**Dövlət xidmətlərinin elektronlaşdırılması strategiyası**" və "**ASAN xidmət" modeli kimi təşəbbüslər süni intellekt və böyük verilənlərə əsaslanan idarəetmənin təməlini qoymuşdur. Bu istiqamətdə aparılan islahatlar dövlət xidmətlərinin keyfiyyətini artırmaq, vətəndaşlara fərdiləşdirilmiş xidmətlər təqdim etmək və resurslardan səmərəli istifadəni təmin etmək məqsədi daşıyır. Mövzunun aktuallığı həm də ondan ibarətdir ki, süni intellektin tətbiqi yalnız texnoloji deyil, həm də etik, hüquqi və sosial aspektlər baxımından yeni çağırışlar yaradır. Dövlət idarəçiliyi bu texnologiyaların imkanlarını milli təhlükəsizlik, şəxsi məlumatların qorunması və vətəndaş hüquqlarının təminatı ilə balanslaşdırmalı, eyni zamanda dövlət qərarlarının obyektivliyini qorumağa yönəlməlidir[5,s 44].

TƏHLİL

Süni intellekt və böyük verilənlərin dövlət idarəçiliyində tətbiqi dövlətin fəaliyyətinə strateji yanaşmanı formalaşdırır və idarəetmənin keyfiyyətini yüksəldir. Bu texnologiyalar idarəetmə proseslərində məlumatların toplanması, emalı və analizinə əsaslanan qərar qəbuletməni mümkün edir. Əvvəllər idarəetmə subyektiv qərarlarla həyata keçirilirdisə, indi süni intellekt vasitəsilə qərarlar obyektiv, statistik və analitik dəlillərə əsaslanır[8,s 38].

Süni intellekt dövlət idarəçiliyində qərar dəstəkləyici sistemlərin, elektron sənəd dövriyyəsinin, risklərin qiymətləndirilməsi və idarə edilməsinin əsas alətinə çevrilir. Məsələn, vergi orqanlarında vergi

ödəyicilərinin davranış modellərinin təhlili, gömrük sistemində saxta əməliyyatların aşkar edilməsi, sosial təminat sahəsində yardım mexanizmlərinin avtomatik idarə olunması kimi istiqamətlərdə Sİ-nin tətbiqi idarəetmədə şəffaflığı və səmərəliliyi artırır. Böyük verilənlər isə dövlətin planlaşdırma və monitorinq mexanizmlərini təkmilləşdirir. İqtisadi, sosial, demoqrafik və ekoloji məlumatların inteqrasiyası dövlət siyasətinin hazırlanmasında real vəziyyətin dəqiq qiymətləndirilməsinə imkan yaradır. Analitik alqoritmlər vasitəsilə böyük verilənlərdən əldə olunan nəticələr proqnozlaşdırma, resurs bölgüsü və risk menecmenti kimi sahələrdə elmi əsaslı qərarların qəbuluna xidmət edir. Bu texnologiyaların tətbiqi idarəetmə sisteminin çevikliyini və innovativliyini artırsa da, eyni zamanda yeni problemlər də yaradır. Məlumatların məxfiliyi və kibertəhlükəsizlik məsələləri, süni intellektin etik məhdudiyyətləri, qərar qəbuletmə prosesində insan nəzarətinin zəifləməsi kimi risklər dövlətin normativ-hüquqi bazasının gücləndirilməsini tələb edir[9,s 41]. Ümumilikdə aparılan təhlil göstərir ki, süni intellekt və böyük verilənlərin dövlət idarəçiliyində tətbiqi idarəetmənin səmərəliliyini, şəffaflığını və hesabatlılığını artıran əsas istiqamətlərdən biridir. Bu prosesin uğurlu reallaşdırılması üçün institusional və hüquqi mexanizmlərin təkmilləşdirilməsi, kadr potensialının artırılması və rəqəmsal mədəniyyətin formalaşdırılması vacibdir.

Cədvəl 1. Süni intellekt və böyük verilənlərin dövlət idarəçiliyində tətbiq sahələri

Sahə	Tətbiq məqsədi / funksiyası	Sİ / Analitika üsulu	Məlumat mənbələri	Əsas göstəricilər (KPI)
Vergi risklərinin analizi	Fırıldaqçılığın aşkarlanması, risk skorlaşdırma	ML (gradient boosting), Şəbəkə analizi	Vergi bəyannamələri, POS əməliyyatları, bank tranzaksiyaları	Aşkarlanmış anomaliyaların payı (%), yanlış pozitivlər, bərpa olunan vergi məbləği
Gömrük nəzarəti	Yüklərin risk əsaslı seçimi	Anomaliya deteksiyası, NLP (sənəd yoxlaması)	HS kodları, deklarasiyalar, skanerlər, IoT	Yoxlama dəqiqliyi, keçid vaxtı, saxlanma müddəti
Sosial təminat	Müraciətlərin avtomatik qiymətləndirilməsi	Qərar ağacları, qayda əsaslı sistemlər	Müraciət formaları, reyestrlər	Emal vaxtı, vətəndaş məmnuniyyəti, səhv qərar səviyyəsi
Səhiyyə	Resurs planlaması, xəstə axınının proqnozu	Zaman seriyaları, təsnifat	EMR, çağrı mərkəzi, epidemioloji göstəricilər	Gözləmə vaxtı, çarpayı doluluğu, proqnoz MAE/MAPE
Təhsil	Dropout riskinin proqnozu	Logistik reqressiya, XGBoost	Şagird göstəriciləri, sosial-demo məlumatlar	Riskdə olanların faizi, müdaxilə effekti
Ağıllı şəhər	Tıxacların idarə edilməsi	Zaman-məkan modelləri	GPS, kamera, IoT sensorları	Orta səyahət vaxtı, CO_2 emissiyası
İctimai təhlükəsizlik	Hadisəyə cavabın optimallaşdırılması	Yönləndirmə alqoritmləri, proqnozlaşdırıcı analitika	Zəng mərkəzi, yerləşmə, tarixçə	Cavab müddəti, resurs istifadəsi
Kadr idarəetməsi	Vakansiya uyğunluğu və kadr planlaması	NLP, tövsiyə sistemləri	CV-lər, bacarıq reyestrləri	Uyğunluq skoru, işə götürmə müddəti

Mənbə: OECD. (2023). *Artificial Intelligence in the Public Sector: Enhancing Decision-Making and Service Delivery.* OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/ai-public-sector

Cədvəl 1-ə əsasən dövlət idarəçiliyində süni intellekt (Sİ) və böyük verilənlər texnologiyalarının istifadə olunduğu əsas sahələri sistemləşdirir. Məqsəd bu texnologiyaların tətbiq istiqamətlərini, analitik üsullarını, istifadə olunan məlumat mənbələrini və nəticə göstəricilərini (KPI) müəyyənləşdirməkdir. Məsələn, vergi və gömrük nəzarətində süni intellekt modelləri risklərin aşkarlanması və saxtalaşdırma hallarının önlənməsi üçün istifadə olunur; sosial təminat sistemində müraciətlərin avtomatik qiymətləndirilməsi və qərarların optimallaşdırılması aparılır; səhiyyə və təhsil sahələrində isə proqnozlaşdırma modelləri idarəetmə keyfiyyətini artırır. Bu yanaşma dövlətin müxtəlif sektorlarında

obyektiv, məlumat əsaslı və şəffaf qərar qəbuletmə mexanizminin formalaşmasına xidmət edir. Cədvəl həm də Azərbaycanın "Rəqəmsal Hökumət Strategiyası 2030" sənədinin prioritet istiqamətləri ilə üst-üstə düşür.

Cədvəl 2. Əsas göstəricilər (KPI seti)

KPI adı	Vahid	Hesablama üsulu	Kəsimlər	Hədəf	Hesabat dövrü
Elektron xidmət emal vaxtı	dəqiqə	Median	Xidmət növü, mürəkkəblik	≤ 15 dəq	Aylıq
Vətəndaş məmnuniyyəti indeksi	bal (0–100)	Orta	Xidmət kanalı, region	≥ 85	Rüblük
Anomaliya aşkarlanma dəqiqliyi	%	F1-score	Sahə, model versiyası	≥ 0.80	Aylıq
Məlumat keyfiyyət indeksi	%	Tamlıq, ardıcıllıq	Reyestr, sistem	≥ 95	Həftəlik
Modelin ədalətlilik metrikası	fərq (%)	DP/EO fərqi	Demo qruplar	≤ 5%	Rüblük
Kibertəhlükəsizlik insidentləri	ədəd	Say	Tip, şiddət	0 kritik	Aylıq
Resurs qənaəti	%	İllik qənaət	Sahə	≥ 10%	İllik

Mənbə: OECD. (2021). *Measuring Digital Government: Key Performance Indicators and Metrics.* OECD Working Paper on Public Governance.

Cədvəl dövlət idarəçiliyində rəqəmsal performansın qiymətləndirilməsi üçün istifadə olunan əsas göstəriciləri (Key Performance Indicators) təqdim edir. KPI-lər süni intellekt və böyük verilənlər sistemlərinin effektivliyini ölçmək üçün əsas vasitədir. Məsələn, **"**Elektron xidmətlərin emal vaxtı" və "Vətəndaş məmnuniyyəti indeksi" xidmət keyfiyyətini əks etdirir, **"**Anomaliya aşkarlanma dəqiqliyi**"** isə Sİ modellərinin etibarlılığını göstərir. Bu göstəricilər idarəetmənin nəticəyönümlülüyünü artırmaq, dövlət xidmətlərinin optimallaşdırılmasını təmin etmək və vətəndaş etimadını gücləndirmək məqsədi daşıyır. KPI-lərin rüblük və illik monitorinqi rəqəmsal siyasətlərin nəticələrinin qiymətləndirilməsində mühüm rol oynayır.

Cədvəl 3. Risk matrisi

Risk	Təsir	Ehtimal	İdarəetmə tədbirləri	İzləmə göstəriciləri
Məlumat məxfiliyi pozuntusu	Yüksək	Orta	Anonimləşdirmə, şifrələmə, IAM, DLP	DLP hadisə sayı, PII sızması
Alqoritmik qərəz	Orta	Orta	Bias auditləri, ədalətlilik metrikləri, insan nəzarəti	DP/EO fərqi, şikayət sayı
Modelin izaholunmazlığı	Orta	Yüksək	XAI (SHAP/LIME), əsaslandırma hesabatı	İzaholunurluq skoru
Məlumat keyfiyyəti aşağı	Yüksək	Yüksək	Data governance, validasiya qaydaları	Keyfiyyət indeksi
Kibertəhlükələr	Yüksək	Aşağı	SOC, SIEM, pentest	Ciddi insident sayı
Hüquqi uyğunsuzluq	Orta	Orta	DPA, DPIA, hüquqi rəy	Uyğunsuzluq aktları
Texnoloji asılılıq	Orta	Orta	Açıq standartlar, multibayraq yanaşması	Vendor payı göstəricisi

Mənbə: OECD. (2022). *AI Governance Principles and Risk Management Framework.* OECD Digital Policy Papers.

Cədvəl 2-yə əsasən Risk matrisi süni intellekt və böyük verilənlər texnologiyalarının tətbiqi zamanı qarşıya çıxan əsas etik, texnoloji və hüquqi riskləri təsnifləşdirir. Məsələn, "Məlumat məxfiliyi pozuntusu" və "Kibertəhlükələr" yüksək təsirli risklər kimi qiymətləndirilir, çünki dövlətin məlumat sistemlərinə kiberhücum və ya məlumat sızması vətəndaş etimadını azalda bilər. "Alqoritmik qərəz" və "Modelin izaholunmazlığı**"** kimi hallar isə etik aspektlərə aiddir və ədalətli idarəetmə prinsiplərinə təsir göstərə bilər. Cədvəl eyni zamanda bu risklərin idarəetmə tədbirlərini (məsələn, bias auditləri, XAI texnologiyaları,

şifrələmə, SOC sistemləri) və izləmə göstəricilərini (DP/EO fərqi, insident sayı və s.) göstərir. Risk matrisi dövlət orqanlarında süni intellektin məsuliyyətli və etibarlı tətbiqini təmin edən əsas idarəetmə alətidir.

Cədvəl 4. Məlumat mənbələri və mühafizə prinsipləri

Mənbə	Məlumat tipi	Həssaslıq	Mühafizə prinsipləri
Əhali reyestri	Şəxsi məlumatlar, demo göstəricilər	PII	Hashing, tokenizasiya, minimalizm
Vergi/gömrük məlumatları	Tranzaksiya, bəyannamə	Həssas maliyyə	Pseudonimləşdirmə, RBAC
Səhiyyə EMR	Tibbi tarixçə	Xüsusi kateqoriya	Əlavə razılıq, audit izi
Təhsil sistemi	Performans, davamiyyət	PII	ROL əsaslı giriş, maskalama
IoT/sensor	Geolokasiya, telemetriya	Yox	Şəbəkə təhlükəsizliyi, TLS
Açıq verilənlər	Aqreqasiya göstəriciləri	Yox	Açıq lisenziya, metadata

Mənbə: OECD. (2023). *Data Governance and Privacy in the Public Sector*. OECD Digital Economy Papers.

Cədvəl 4-ə əasən dövlət idarəçiliyində süni intellekt və böyük verilənlər sistemlərinə daxil edilən məlumat mənbələrini və onların mühafizə mexanizmlərini əks etdirir. Buraya əhalinin reyestrləri, vergi və gömrük məlumatları, səhiyyə və təhsil sistemlərindəki fərdi göstəricilər, IoT sensorları və açıq verilənlər daxildir. Hər bir mənbə üçün məlumatın həssaslıq səviyyəsi və qoruma prinsipləri (hashing, tokenizasiya, RBAC, anonimləşdirmə və s.) göstərilmişdir.

Bu struktur dövlətin məlumat idarəçiliyində məlumat təhlükəsizliyini, məxfiliyi və şəffaflığı təmin edən "Data Governance" modelinin əsasını təşkil edir.

Cədvəl 5. Rəqəmsal yetkinlik modeli

Səviyyə	Xüsusiyyətlər	İnkişaf addımları
Səviyyə 1 – Əl proseslər	Fragmentasiya, excel əsaslı hesabatlar	İnventarlaşdırma, data ownership
Səviyyə 2 – Rəqəmsallaşma	e-xidmətlər, ERP/CRM	ETL, anbar, keyfiyyət qaydaları
Səviyyə 3 – Analitika	BI, deskriptiv/diagnostik analitika	Metriklər, dashboard, DQ KPI
Səviyyə 4 – Proqnozlaşdırma	ML modelləri, pilotlar	MLops, model idarəetməsi
Səviyyə 5 – Avtonom	Real vaxt qərar dəstəyi, optimizasiya	XAI, etik idarəetmə, risk komitəsi

Mənbə: Gartner. (2023). *Digital Government Maturity Model: 5 Stages of Transformation.*

Cədvəl 5-ə əasən rəqəmsal yetkinlik modeli dövlət idarəçiliyinin rəqəmsallaşma səviyyəsini beş mərhələdə xarakterizə edir. İlkin mərhələdə (Səviyyə 1 – Əl proseslər) idarəetmə hələ kağız və Excel əsaslıdır; son mərhələdə (Səviyyə 5 – Avtonom idarəetmə) qərar qəbuletmə süni intellekt və real vaxt analitikasına əsaslanır. Bu model dövlət orqanlarının rəqəmsal inkişaf trayektoriyasını müəyyənləşdirmək, strateji planlaşdırma, resurs bölgüsü və texnoloji investisiyaların istiqamətləndirilməsi üçün istifadə olunur. Azərbaycanın "Rəqəmsal Azərbaycan 2030" proqramında nəzərdə tutulan rəqəmsal yetkinlik səviyyələrinin qiymətləndirilməsinə uyğundur.

Cədvəl 6. Layihə üzrə yol xəritəsi (18 ay)

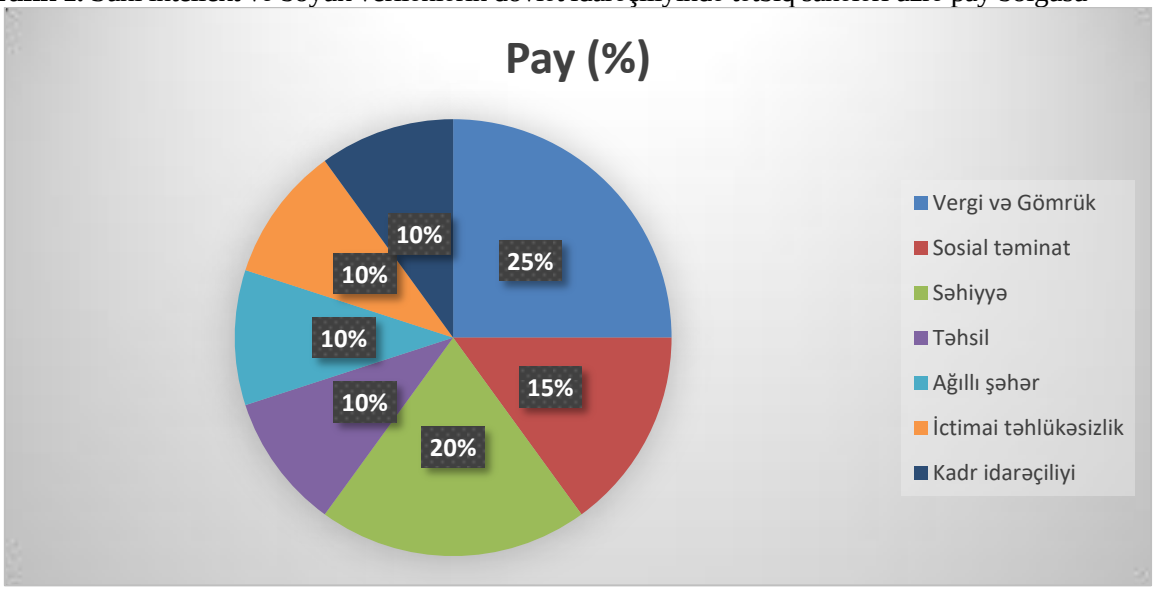
Mərhələ	Fokus	Əsas nəticələr
0–3 ay	Vizyon və governance	Roadmap, Data Governance Policy, prioritet use-case-lər
3–6 ay	Data platforması	Anbar, keyfiyyət, təhlükəsizlik, inteqrasiya
6–9 ay	Pilot modellər	Vergi riskləri, sosial təminat, tıxac proqnozu
9–12 ay	MLOps & XAI	Versiyalaşma, monitorinq, etik nəzarət
12–18 ay	Miqyaslama mərhələsi	Hökumət buludu, çoxsahəli yayğın tətbiq

Mənbə: World Bank. (2023). *Public Sector Digital Transformation Roadmap Framework.*

Cədvəl 6-ya əsasən süni intellekt və böyük verilənlərin dövlət idarəçiliyinə inteqrasiyası üçün 18 aylıq mərhələli tətbiq planını göstərir. İlk 3 ayda "vizyon və governance" mərhələsi ilə strategiyanın əsas çərçivəsi və data siyasəti hazırlanır. 3–6 ayda məlumat platformasının qurulması, təhlükəsizlik və inteqrasiya təmin edilir. 6–9 ayda pilot layihələr (vergi, sosial təminat, tıxac proqnozu) tətbiq olunur. Növbəti mərhələlərdə (9–18 ay) MLOps, etik nəzarət və hökumət buludu mərhələlərinə keçid baş verir. Bu

yol xəritəsi dövlət sektorunda süni intellektin tətbiqini təkcə texnoloji layihə deyil, həm də institusional transformasiya prosesi kimi təqdim edir və uzunmüddətli davamlılığı təmin edir.

Qrafik 1. Süni intellekt və böyük verilənlərin dövlət idarəçiliyində tətbiq sahələri üzrə pay bölgüsü



Mənbə: OECD. (2023). *Artificial Intelligence in the Public Sector: Enhancing Decision-Making and Service Delivery*. OECD Publishing.

Qrafik 1-də süni intellekt və böyük verilənlərin dövlət idarəçiliyində müxtəlif sahələr üzrə tətbiq payı göstərilmişdir. Ən yüksək pay vergi və gömrük sistemlərinə (25%) məxsusdur — bu sahədə Sİ texnologiyaları risklərin müəyyən edilməsi və saxtalaşdırmanın qarşısının alınması məqsədilə istifadə olunur. Səhiyyə (20%) və sosial təminat (15%) sahələri vətəndaşlara fərdiləşdirilmiş xidmətlərin göstərilməsi və ehtiyacların proqnozlaşdırılması istiqamətində mühüm rol oynayır. Digər sahələr — təhsil, ağıllı şəhər, ictimai təhlükəsizlik və kadr idarəçiliyi isə hər biri 10% payla idarəetmənin rəqəmsal transformasiyasına töhfə verir. Bu bölgü süni intellektin tətbiqinin tədricən bütün dövlət sektorlarına yayılmaqda olduğunu göstərir.

Nəticə

Süni intellekt və böyük verilənlərin dövlət idarəçiliyində tətbiqi dövlət idarəçiliyi sisteminin modernləşdirilməsində və qərar qəbuletmə mexanizmlərinin elmi əsaslara söykənməsində mühüm rol oynayır. Bu texnologiyalar idarəetmədə şəffaflığın, hesabatlılığın və səmərəliliyin yüksəldilməsinə şərait yaradır. Analitik modellər və maşın öyrənməsi alqoritmləri vasitəsilə dövlət orqanları riskləri daha dəqiq qiymətləndirir, resursların səmərəli bölüşdürülməsini təmin edir və xidmətləri vətəndaşlara daha operativ formada təqdim edir.

Süni intellekt sistemləri qərar dəstəkləyici platformalar, avtomatik sənəd emalı, proqnozlaşdırıcı analitika və vətəndaş yönümlü xidmətlər sahəsində geniş tətbiq olunur. Böyük verilənlər texnologiyaları isə sosial, iqtisadi və demoqrafik məlumatların toplanması və analizi yolu ilə idarəetmədə faktiki vəziyyəti qiymətləndirməyə, tendensiyaları müəyyənləşdirməyə və gələcək planlaşdırmanı elmi əsaslarla həyata keçirməyə imkan verir. Azərbaycanın "Rəqəmsal Azərbaycan 2030" strategiyası çərçivəsində bu texnologiyaların dövlət idarəçiliyinə inteqrasiyası milli prioritet kimi müəyyən olunmuşdur. Vergi, sosial təminat, səhiyyə, təhsil və ictimai təhlükəsizlik kimi sahələrdə aparılan rəqəmsallaşma islahatları dövlət xidmətlərinin keyfiyyətini yüksəldir və vətəndaş məmnuniyyətini artırır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. OECD. (2023). *Artificial Intelligence in the Public Sector: Enhancing Decision-Making and Service Delivery*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/ai-public-sector
2. UNDESA. (2022). *E-Government Survey 2022: The Future of Digital Government.* United Nations Department of Economic and Social Affairs. https://publicadministration.un.org/egovkb
3. World Bank. (2020). *GovTech: Putting People First – Digital Transformation in the Public Sector.* Washington, DC: The World Bank.
4. European Commission. (2024). *AI Watch: Artificial Intelligence in Public Administration.* Publications Office of the European Union.

5. World Economic Forum. (2022). *Global AI Governance and Ethics Report.* Geneva: WEF.
6. OECD. (2021). *Measuring Digital Government: Key Performance Indicators and Metrics.* OECD Working Papers on Public Governance.
7. ENISA. (2023). *Artificial Intelligence Threat Landscape.* European Union Agency for Cybersecurity.
8. UNDP. (2023). *Public Sector Innovation Measurement Framework.* UNDP Innovation Lab, New York.
9. Gartner. (2023). *Digital Government Maturity Model: 5 Stages of Transformation.* Gartner Research.
10. ISO/IEC 23894:2023. *Artificial Intelligence — Guidance on Risk Management.* International Organization for Standardization.

DÖVLƏT İDARƏÇİLİYİNDƏ İCTİMAİ ƏLAQƏLƏRİN ROLU VƏ FUNKSİONAL ƏHƏMİYYƏTİ

Aysel Dadaşova
Bakı Mühəndislik Universiteti
Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
Bakı, Azərbaycan
adadashova3@std.beu.edu.az

Xülasə: Müasir dövlət idarəçiliyində ictimai əlaqələr dövlət və cəmiyyət arasında kommunikasiya proseslərini tənzimləyən və idarəetmənin səmərəliliyini artıran mühüm strateji vasitə kimi çıxış edir. Məqalədə bu sahənin informasiya mübadiləsi, ictimai rəyin formalaşdırılması, şəffaflığın təmin olunması və idarəetmə qərarlarının legitimliyinin gücləndirilməsi kimi əsas funksiyaları araşdırılır.
Eyni zamanda, ictimai əlaqələrin dövlətin kommunikasiya strategiyasında rolu və vətəndaşlarla qarşılıqlı münasibətlərin tənzimlənməsinə təsiri vurğulanır. Nəticələr göstərir ki, ictimai əlaqələrin effektiv təşkili dövlət idarəçiliyinin keyfiyyətini yüksəldir, ictimai etimadı artırır və sosial sabitliyə töhfə verir. Əks halda, bu sahədəki çatışmazlıqlar kommunikasiya problemləri və ictimai narazılığın artması ilə nəticələnə bilər. Beləliklə, ictimai əlaqələr müasir idarəetmədə yalnız informasiya ötürmə vasitəsi deyil, həm də strateji idarəetmə mexanizmidir.
Açar sözlər: **İctimai əlaqələr, dövlət idarəçiliyi, kommunikasiya, ictimai etimad, şəffaflıq, informasiya siyasəti, PR, sosial idarəetmə**
Abstract: Public relations in public administration represent an essential element of institutional communication between the state and society and play a significant role in ensuring effective governance. This study systematically examines the role and functional importance of public relations in public administration from a scientific and theoretical perspective. The research analyzes PR functions in terms of information exchange, public opinion formation, enhancement of transparency, and strengthening the legitimacy of governmental decisions. The findings indicate that effective public relations improve the efficiency of public administration, strengthen public trust, and support social stability, while ineffective communication may lead to information gaps and increased public dissatisfaction.
Keywords: **Public relations, public administration, communication, public trust, transparency, information policy, PR, social governance**

Резюме
Связи с общественностью в государственном управлении представляют собой важный элемент институциональных коммуникаций между государством и обществом и играют значительную роль в обеспечении эффективности управления. В данной работе системно рассматриваются роль и функциональное значение связей с общественностью в государственном управлении с научно-теоретической точки зрения. Исследование анализирует функции PR с позиции обмена информацией, формирования общественного мнения, повышения прозрачности государственной

деятельности и укрепления легитимности управленческих решений. Результаты показывают, что эффективные связи с общественностью способствуют повышению эффективности государственного управления, укреплению общественного доверия и поддержанию социальной стабильности, тогда как неэффективная коммуникация может привести к информационным пробелам и росту общественного недовольства.
Ключевые слова: Связи с общественностью, государственное управление, коммуникация, общественное доверие, прозрачность, информационная политика, PR, социальное управление

Mövzunun aktuallığı

Müasir idarəetmə paradiqması, dövlət fəaliyyətinin yalnız inzibati qərarların qəbulu ilə məhdud olmadığını, eyni zamanda cəmiyyətlə davamlı, məqsədli və səmərəli kommunikasiya prosesini əhəmiyyətli bir komponent olaraq ehtiva etdiyini göstərir. Qloballaşma meylləri, informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı və sosial medianın yayılması, dövlət və cəmiyyət arasındakı münasibətlərin daha çevik, çoxşaxəli və dinamik olmasına səbəb olmuşdur. Bu isə ənənəvi idarəetmə mexanizmlərinin dəyişdirilməsini və yeni kommunikasiya yanaşmalarının tətbiqini zəruri edir.

Belə bir kontekstdə ictimai əlaqələr dövlət idarəçiliyinin funksional effektivliyini artıran əsas alətlərdən biri kimi çıxış edir. Bu sahə, dövlət orqanlarının fəaliyyətinin ictimaiyyətə şəffaf şəkildə çatdırılmasına, vətəndaşların məlumatlandırılma səviyyəsinin artmasına və onların idarəetmə proseslərinə iştirak imkanlarının genişlənməsinə dəstək verir. Həmçinin, ictimai əlaqələr vasitəsilə yaranan açıq kommunikasiya mühiti, dövlət qərarlarının qəbulunda ictimai rəyin nəzərə alınmasını təşviq edir və bu qərarların legitimliyini artırır.

Digər tərəfdən, müasir cəmiyyətlərdəki informasiya axınının artması, dövlətin kommunikasiya siyasətinə olan tələbləri daha da yüksəldir. Xüsusilə böhran və ya fövqəladə vəziyyətlərdə sürətli, dəqiq və etibarlı informasiya təminatı ictimai sabitliyin qorunmasında vacib rol oynayır. Bu baxımdan, ictimai əlaqələr yalnız məlumat ötürmək üçün bir vasitə deyil, həm də ictimai rəyin idarə olunması, sosial gərginliyin azaldılması və etimad mühitinin qorunması baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır.

Bu bütün amillər, ictimai əlaqələrin dövlət idarəçiliyindəki rolunun və funksional əhəmiyyətinin elmi araşdırılmasını zəruri edir və mövzunun aktuallığını vurğulayır.

Tədqiqatın əsas məqsədi

Tədqiqatın əsas məqsədi, ictimai əlaqələrin dövlət idarəçiliyi sistemindəki rolunu və əhəmiyyətini elmi-nəzəri və praktiki sahələrdə ətraflı şəkildə araşdırmaqdır. Tədqiqat çərçivəsində ictimai əlaqələrin dövlət və cəmiyyət arasındakı kommunikasiya mexanizmi kimi funksiyaları analiz edilir, onların idarəetmə proseslərinə olan təsiri, şəffaflığın artırılması və ictimai etimadın yaradılması qiymətləndirilir. Eyni zamanda, tədqiqat ictimai əlaqələrin əsas funksiyalarını müəyyənləşdirmək, müasir idarəetmə şəraitində istifadəsini araşdırmaq və dövlət qurumlarının kommunikasiya fəaliyyətini təkmilləşdirmək üçün elmi olaraq əsaslandırılmış nəticələr əldə etmək məqsədi güdür. Həmçinin, tədqiqat ictimai əlaqələrin sosial sabitliyin qorunması və dövlət-cəmiyyət münasibətlərinin optimallaşdırılması prosesindəki rolunu sistemli şəkildə izah etməyə yönəlmişdir.

İrəli sürülən hipotez

Tədqiqatın əsas hipotezi bəyan edir ki, ictimai əlaqələrin məqsədli və səmərəli təşkil olunması dövlət idarəçiliyinin effektivliyini artırır, ictimai etimadı möhkəmləndirir və sosial sabitliyə müsbət təsir edir. Eyni zamanda, ictimai əlaqə sisteminin zəif və təsirsiz qurulması informasiya çatışmazlığına və kommunikasiya boşluqlarına yol açaraq, ictimai narazılığın artmasına və idarəetmə proseslərinin effektivliyinin azalmasına səbəb ola bilər.

Ədəbiyyat icmalı

İctimai əlaqələrin dövlət idarəçiliyində rolu və funksional əhəmiyyəti ilə bağlı elmi yanaşmalar göstərir ki, bu sahə təkcə kommunikasiya fəaliyyəti ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda idarəetmə sisteminin strateji elementlərindən biri kimi çıxış edir. Klassik nəzəriyyələr çərçivəsində ictimai əlaqələr təşkilat və ictimaiyyət arasında qarşılıqlı anlaşmanın təmin olunmasına yönəlmiş fəaliyyət kimi xarakterizə olunur. Bu kontekstdə Səm Blek ictimai əlaqələri obyektiv və dolğun informasiyaya əsaslanan qarşılıqlı anlaşma vasitəsilə harmoniyanın əldə olunmasına xidmət edən elm və praktiki fəaliyyət sahəsi kimi izah edir (Sam Black, Public Relations), bu isə PR-ın həm etik prinsiplərini, həm də funksional mahiyyətini əks etdirir.

Müasir elmi yanaşmalar ictimai əlaqələri daha geniş sosial çərçivədə qiymətləndirir. Amerika İctimai Əlaqələr Cəmiyyətinin mövqeyinə əsasən, PR müxtəlif sosial qruplar və institutlar arasında qarşılıqlı

anlaşmanın qurulmasına şərait yaradır və bu proses nəticəsində qərar qəbuletmə mexanizmlərinin effektivliyi yüksəlir . Bu baxımdan ictimai əlaqələr yalnız informasiya ötürən vasitə kimi deyil, həm də müxtəlif maraqların uzlaşdırılmasına xidmət edən sosial mexanizm kimi çıxış edir.

Post-sovet elmi məkanında aparılan tədqiqatlarda da ictimai əlaqələrin dövlət idarəçiliyində əhəmiyyəti geniş şəkildə əsaslandırılmışdır. Георгий Почепцов ictimai əlaqələri dövlət qurumlarının fəaliyyətinin ictimaiyyətə açıq şəkildə təqdim olunmasını təmin edən və vətəndaşların idarəetmə proseslərində iştirakını stimullaşdıran mühüm mexanizm kimi dəyərləndirir (Г. Почепцов, Паблик рилейшнз для профессионалов, 2001). Bu yanaşma PR-ın demokratik idarəetmədə əsas alətlərdən biri kimi çıxış etdiyini və dövlət-cəmiyyət münasibətlərində etimadın formalaşmasına xidmət etdiyini göstərir.

Bir sıra tədqiqatçılar ictimai əlaqələri idarəetmə funksiyası kimi qiymətləndirirlər. Bu baxımdan İ. V. Aleşina qeyd edir ki, PR təşkilatın daxili və xarici auditoriyası ilə münasibətləri tənzimləyərək qarşılıqlı anlaşmanın və etimadın formalaşmasına şərait yaradır (И. В. Алешина, Паблик рилейшнз для менеджеров). Bu yanaşma ictimai əlaqələrin yalnız kommunikasiya vasitəsi deyil, həm də idarəetmə prosesinin mühüm elementi olduğunu təsdiqləyir.

İctimai əlaqələrin dövlət idarəçiliyində tətbiqi məsələləri digər müəlliflər tərəfindən də araşdırılmışdır. Məsələn, Çumikov və Boçarov ictimai əlaqələrin xüsusilə böhran şəraitində informasiya axınının düzgün idarə olunması və ictimai rəyin istiqamətləndirilməsi baxımından əhəmiyyətini vurğulayırlar (А. Н. Чумиков, М. П. Бочаров, Связи с общественностью: теория и практика). Onların yanaşmasına görə, səmərəli kommunikasiya strategiyası sosial gərginliyin azalmasına və idarəetmə sabitliyinin təmin olunmasına xidmət edir.

Eyni zamanda, müasir dövrdə ictimai əlaqələrin inkişafı informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının geniş yayılması ilə sıx bağlıdır. Rəqəmsal mühitdə kommunikasiya proseslərinin interaktiv xarakter alması PR fəaliyyətinin daha çevik və operativ formada həyata keçirilməsini tələb edir. Bu isə ictimai əlaqələrin ənənəvi vasitələrlə yanaşı, rəqəmsal platformalar üzərindən həyata keçirilən kompleks idarəetmə mexanizmi kimi formalaşdığını göstərir.

Beləliklə, mövcud elmi ədəbiyyatın təhlili göstərir ki, ictimai əlaqələr müasir dövlət idarəçiliyində yalnız informasiya ötürmə vasitəsi deyil, həm də ictimai etimadın formalaşdırılması, sosial münasibətlərin tənzimlənməsi və idarəetmə proseslərinin effektivliyinin artırılması baxımından mühüm əhəmiyyətə malik çoxşaxəli mexanizm kimi çıxış edir.

Metodologiya

Tədqiqatın metodoloji bazası kompleks bir elmi yanaşmaya əsaslanır və mövzunun ətraflı öyrənilməsinə imkan tanıyan müxtəlif metodları əhatə edir. İctimai əlaqələrin mahiyyəti və funksional xüsusiyyətləri sistemli şəkildə araşdırılaraq təsviri analiz metodundan istifadə edilmişdir. Bundan başqa, fərqli idarəetmə modelləri kontekstində ictimai əlaqələrin və PR sistemlərinin rolu müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmişdir. Tədqiqatda sistem yanaşması tətbiq edilərək ictimai əlaqələr dövlət idarəçiliyinin ayrılmaz və qarşılıqlı əlaqəli bir element kimi qiymətləndirilmişdir. Həmçinin, mövzu ilə bağlı elmi biliklərin dərinləşdirilməsi məqsədilə yerli və xarici ədəbiyyat, elmi mənbələr və sənəd materialları araşdırılmışdır.

Əsas tədqiqat işi

Dövlət idarəetmə sistemində ictimai əlaqələr hakimiyyət strukturları ilə cəmiyyət arasında qarşılıqlı anlaşma və etibarın qurulmasını təmin edən mühüm kommunikasiya aləti kimi çıxış edir. Bu sahə yalnız məlumatların ictimaiyyətə çatdırılması ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda ictimai rəyin öyrənilməsi, təhlili və idarə olunması proseslərini də özündə birləşdirir.Bəzi tədqiqatçılar ictimai əlaqələrin tərifinə fərqli baxış bucağından yanaşaraq, onun əsasən funksional xüsusiyyətlərini və üzərinə götürdüyü məsuliyyət dərəcəsini ön plana çəkirlər.Səm Blek PR-ə həsr olunmuş əsərində qısa, eyni zamanda məzmun baxımından əhatəli olan tərifi daha məqsədəuyğun hesab edir.(Public Relations — həqiqətə və tam məlumatlılığa əsaslanan qarşılıqlı anlaşma vasitəsilə harmoniya əldə etmə sənəti və elmidir."Сэм Блэк, 2001)İctimai əlaqələr (PR) müasir dövrdə cəmiyyətin kommunikasiya sistemini təşkil edən elmi sahə kimi çıxış edir. Amerika İctimai Əlaqələr Cəmiyyətinin yanaşmasına görə, PR müxtəlif sosial qruplar və institutlar arasında qarşılıqlı anlaşmanın formalaşmasına şərait yaradır və bunun nəticəsində plüralist cəmiyyət daha effektiv şəkildə qərar qəbul edə bilir. Bu proses fərdi və ictimai maraqlar arasında tarazlığın yaradılmasına xidmət edir. PR-ın bu qədər vacib rol oynaması müasir cəmiyyətin əsasən informasiya və kommunikasiya proseslərindən asılı olması ilə izah olunur.İctimai əlaqələr dövlət idarəçiliyində dövlət orqanlarının fəaliyyətinin açıq təqdim olunmasını təmin edən mexanizm olmaqla yanaşı, cəmiyyət üzvlərinin idarəetmə qərarlarının hazırlanması prosesində daha fəal iştirakına imkan yaradır. Bu xüsusiyyət isə demokratik idarəetmənin əsas dayaqlarından biri kimi qəbul edilir.Demokratik ölkələrdə ictimai əlaqələr, vətəndaşların iştirakını təmin

edən əsas vasitələrdən biridir. PR vasitəsilə dövlətin qəbul etdiyi qərarlar ictimaiyyətə açıqlanır və geri dönüş mexanizmi yaradılır. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, PR yalnız idarəetmə vasitəsi deyil, həm də sosial sabitliyin qorunmasına xidmət edir. Çünki düzgün kommunikasiya münaqişələrin qarşısını alır və ictimai narazılıqları azaldır.(Почепцов, 2001)

İctimai əlaqələr (PR) müasir idarəetmə sistemində təşkilatla hədəf auditoriya arasında qarşılıqlı faydaya əsaslanan münasibətlərin formalaşdırılmasına xidmət edən strateji kommunikasiya fəaliyyətidir. Elmi yanaşmalara əsasən PR yalnız məlumat ötürülməsi ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda idarəetmə prosesinin mühüm tərkib hissəsi kimi çıxış edir və təşkilatın sosial mühitə uyğunlaşmasını təmin edir. Araşdırmalarda PR əsas etibarilə idarəetmə funksiyası kimi dəyərləndirilir və onun planlaşdırma, təşkilati fəaliyyət və kommunikasiya proseslərində əhəmiyyətli rol oynadığı vurğulanır. Bu baxışa görə PR təşkilatın daxili və xarici auditoriyası arasında əlaqələri tənzimləyərək qarşılıqlı anlaşma və etimadın yaranmasına şərait yaradır. Bununla yanaşı, PR fəaliyyəti yalnız kommersiya strukturları ilə məhdudlaşmır və dövlət idarəçiliyində də geniş tətbiq olunur. Dövlət orqanları PR vasitəsilə ictimai rəyin formalaşmasına təsir göstərir, cəmiyyəti məlumatlandırır və ictimai dəstəyin güclənməsinə nail olur. Tarixi inkişaf kontekstində PR-in formalaşması ictimai rəyin mühüm sosial güc kimi qəbul edilməsi, rəqabət mühitinin genişlənməsi və kütləvi kommunikasiya vasitələrinin (mətbuat, radio, televiziya və internet) inkişafı ilə sıx bağlıdır. Bu amillər PR-in ayrıca elmi və praktik sahə kimi inkişaf etməsinə zəmin yaratmışdır. İctimai əlaqələrin dövlət idarəçiliyində rolu bir neçə əsas istiqamətdə özünü göstərir: dövlət siyasətinə cəmiyyətin dəstəyinin gücləndirilməsi, idarəetmədə şəffaflığın artırılması, böhran situasiyalarında effektiv kommunikasiya təmin edilməsi və ictimai etibarın formalaşdırılması.Xüsusilə iqtisadi və ya sosial böhranlar kimi kritik dövrlərdə PR strategiyaları dövlətin sabitliyinin qorunmasında və ictimai rəyin düzgün istiqamətləndirilməsində mühüm əhəmiyyət daşıyır.(Чумиков, Бочаров, 2006)

İctimai əlaqələr (PR – Public Relations), başqa sözlə, ictimaiyyətlə münasibətlər, menecment sistemində sürətlə inkişaf edən funksiyalardan biri olmaqla yanaşı, marketinq kommunikasiyalarının da dinamik şəkildə genişlənən istiqamətlərindən hesab olunur. ABŞ-da uzunmüddətli inkişaf yolu keçmiş bu sahə hazırda Azərbaycanda da həm korporativ idarəetmə strukturunda, həm də ümumi ictimai mühitdə öz mövqeyini getdikcə daha da gücləndirir. Azərbaycanda PR-ın həm nəzəri bilik sahəsi, həm də praktik fəaliyyət istiqaməti kimi inkişaf perspektivləri ölkədə demokratik iqtisadi və siyasi institutların formalaşması prosesi ilə sıx şəkildə bağlıdır.

Müasir dövrdə ictimai əlaqələrin (PR) əhəmiyyəti kommunikasiya sistemlərinin desentralizasiyası və demokratikləşməsi ilə daha da artmışdır. İnternet texnologiyalarının inkişafı nəticəsində həm təşkilatlar, həm də fərdlər öz informasiya mühitlərini interaktiv və operativ şəkildə idarə etmək imkanları əldə etmişlər. Qlobal informasiya məkanına çıxış biznesin inkişafı, dövlət idarəçiliyi və ictimai proseslərin tənzimlənməsi baxımından yeni imkanlar yaratmışdır. Hazırda informasiya, eləcə də maddi, intellektual və maliyyə resurslarının əhəmiyyətli hissəsi rəqəmsal mühitdə cəmləşmişdir. Bu səbəbdən ictimai rəyin, təşkilat imicinin və publisitin formalaşması getdikcə daha çox internet platformaları üzərindən həyata keçirilir və bu proseslərin məqsədyönlü şəkildə idarə olunması xüsusi aktuallıq kəsb edir. Müasir informasiya mühiti təşkilatlardan maraqlı tərəflərlə — tərəfdaşlar, istehlakçılar və əməkdaşlarla — davamlı və qarşılıqlı əlaqəyə əsaslanan kommunikasiya qurmağı tələb edir. Belə çoxtərəfli əlaqələr qeyri-müəyyən şəraitdə baş verən proseslərin izlənməsi, qiymətləndirilməsi və proqnozlaşdırılması, həmçinin operativ qərarların qəbul edilməsi üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu kontekstdə ictimai əlaqələr təşkilatın həm daxili, həm də xarici mühitinə təsir göstərən strateji idarəetmə vasitəsi kimi çıxış edir. Eyni zamanda, cəmiyyətin məlumatlılıq səviyyəsinin yüksəlməsi və insan resurslarının peşəkarlığının artması idarəetmədə daha mürəkkəb və çevik yanaşmaların tətbiqini zəruri edir. Müasir şəraitdə yalnız insanların davranışlarını yönləndirmək kifayət etmir; onların düşüncə tərzinə və emosional vəziyyətinə təsir göstərmək, ictimai rəy və sosial əhval-ruhiyyəni formalaşdırmaq vacibdir. Bu isə müxtəlif ictimai qruplarla — geniş ictimaiyyət, kütləvi informasiya vasitələri, dövlət qurumları, yerli icmalar, maliyyə institutları və təşkilatın əməkdaşları ilə — sistemli və məqsədyönlü kommunikasiya əlaqələrinin qurulmasını tələb edir. Dövlət qurumları tərəfindən həyata keçirilən ictimai əlaqələr fəaliyyəti müəyyən əsas prinsiplərə söykənir. İlk növbədə, demokratik idarəetmə sistemi şəraitində dövlət orqanları öz fəaliyyətləri barədə cəmiyyət qarşısında şəffaflıq nümayiş etdirməli və hesabatlı olmalıdır. Eyni zamanda, effektiv dövlət idarəçiliyinin təmin olunması vətəndaşların fəal iştirakı və onların göstərdiyi dəstək olmadan mümkün deyil. Dövlət idarəetmə orqanlarının ictimai əlaqələr sahəsində qarşıya qoyduğu məqsədlər idarəetmə səviyyəsindən asılı olmayaraq bir sıra əsas istiqamətləri əhatə edir. Bu istiqamətlərə ilk növbədə vətəndaşların dövlət qurumlarının fəaliyyəti barədə dolğun və operativ məlumatlandırılması daxildir. Bununla yanaşı, dövlət

aparatının ictimai rəyin vəziyyəti və cəmiyyətdə mövcud olan tendensiyalar barədə məlumatlandırılması da mühüm əhəmiyyət kəsb edir. İctimai əlaqələrin digər vacib məqsədi vətəndaşların dövlət proqramlarında fəal iştirakının təşviq edilməsidir. Bu iştirak müxtəlif formalarda — seçkilərdə iştirak, sosial və ekoloji təşəbbüslərə qoşulma və s. — özünü göstərə bilər. Eyni zamanda, biznes strukturlarının və qeyri-hökumət təşkilatlarının dövlət proqramlarının hazırlanması və icrası prosesinə cəlb edilməsi də mühüm istiqamətlərdən biridir. Bundan əlavə, ictimai əlaqələr dövlət hakimiyyətinin müxtəlif qolları arasında qarşılıqlı əlaqənin gücləndirilməsinə və bu əlaqələrin informasiya baxımından təmin olunmasına xidmət edir. Nəhayət, dövlət PR fəaliyyətinin əsas məqsədlərindən biri də beynəlxalq ictimaiyyət və təşkilatlar qarşısında ölkənin müsbət imicinin formalaşdırılması və qorunmasıdır. Dövlət hakimiyyəti orqanlarının fəaliyyəti cəmiyyət həyatının demək olar ki, bütün sahələrini əhatə etdiyindən, onların effektivliyi birbaşa ictimaiyyətlə qurulan münasibətlərdən asılıdır. Dövlət strukturlarının əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, onlar ayrı-ayrı qrupların deyil, bütövlükdə cəmiyyətin və geniş vətəndaş kütləsinin maraqlarını təmsil etməlidirlər. Bu baxımdan dövlət idarəçiliyi biznesdən fərqli olaraq dar maraqlara deyil, ümumi ictimai rifaha yönəlir. Geniş hədəf auditoriyası dövlət aparatına həm üstünlük, həm də müəyyən çətinliklər yaradır. Bir tərəfdən bu, geniş sosial bazaya əsaslanmağa imkan verir, digər tərəfdən isə müxtəlif və bəzən ziddiyyətli maraqlar arasında balansın qorunmasını çətinləşdirir. Nəticə etibarilə, bir çox ölkələrdə vətəndaşların passivliyi, dövlətə inamın aşağı olması və qərarlara qarşı müqavimət kimi problemlər müşahidə olunur. Müasir dövrdə dövlətin əsas prioritetlərindən biri vətəndaşların ictimai proseslərə daha fəal cəlb olunmasını təmin etməkdir. İqtisadi sabitliyin qorunması, sosial problemlərin azaldılması və əhalinin rifahının yüksəldilməsi kimi məqsədlərə nail olunması isə birbaşa ictimai dəstəyin səviyyəsindən asılıdır. Bu səbəbdən dövlət qərarlarının hazırlanması və həyata keçirilməsində ictimai iştirak və etimad həlledici rol oynayır.(Алешина, 2007)

Kommunikasiya funksiyası dövlət idarəçiliyində ictimai əlaqələrin əsas istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir. Bu funksiya dövlət orqanları ilə cəmiyyət arasında informasiya axınının səmərəli və planlı şəkildə qurulmasını təmin edir. Dövlət tərəfindən qəbul edilən qərar və həyata keçirilən siyasətlər ictimaiyyətə aydın formada çatdırılır, eyni zamanda vətəndaşların mövqeyi, tələbatları və gözləntiləri də aidiyyəti qurumlara ötürülür. Nəticə etibarilə, idarəetmə prosesi yalnız birtərəfli məlumatlandırma ilə məhdudlaşmır, qarşılıqlı və dinamik kommunikasiya mexanizmi kimi formalaşır.Dövlətə etimad yaratmaqda ictimai əlaqələrin rolu İctimai əlaqələr, dövlət institutu ilə cəmiyyət arasında etibarlı münasibətlərin qurulmasında əhəmiyyətli rol oynayır. Şəffaf məlumat siyasəti və açıq kommunikasiya vətəndaşların dövlətə olan inamını yüksəldir. Bunun nəticəsində, cəmiyyət dövlət qərarlarını daha asan qəbul edir və sosial narazılıq hallarının sayı azalır, bu da idarəetmənin sabitliyinə müsbət təsir edir.(Чумиков, Бочаров, 2006)

İctimai rəyin formalaşdırılması funksiyası Dövlət idarəçiliyində ictimai əlaqələr cəmiyyətin düşüncə və mövqelərinin yönləndirilməsi və formalaşdırılmasında mühüm rol oynayır. Dövlət siyasətinə münasibətin formalaşması böyük ölçüdə bu kommunikasiya prosesləri vasitəsilə həyata keçirilir. Dövlət qurumları öz fəaliyyətlərini izah etməklə vətəndaşlarda anlayış yaradır, ictimai dəstəyin güclənməsinə şərait yaradır və dezinformasiyanın təsirini minimuma endirir. Bu yanaşma həm sosial sabitliyin qorunmasına, həm də idarəetmə sisteminin legitimliyinin möhkəmlənməsinə xidmət edir.(Grunig & Hunt, 1984)

Əks-əlaqə funksiyası PR sisteminin əsas komponentlərindən biri cəmiyyətdən gələn reaksiyaların toplanması və analizi prosesidir. Bu mexanizm dövlət strukturlarına ictimai tələbləri daha dəqiq qiymətləndirməyə imkan tanıyır. Vətəndaşların düşüncələri və təklifləri idarəetmə qərarlarının inkişafında istifadə olunur. Bu sayədə, idarəetmə daha real və dinamik olur. Demokratik iştirak funksiyası İctimai əlaqələr, vətəndaşların dövlətin idarəetmə proseslərində daha fəal rol oynamaqlarına imkan tanıyır. Bu iştirak seçkilərdə aktivlik, ictimai müzakirələr və sosial təşəbbüslər vasitəsilə baş verir. PR, bu prosesləri təşviq edərək, hökumətin daha şəffaf və inklüziv idarəetmə modelinə keçidini dəstəkləyir.(Кузнецов, 2010)

Nəticə

Keçirilmiş elmi analiz sübut edir ki, ictimai əlaqələr müasir dövlət idarəçiliyi sistemində yalnız məlumat mübadiləsi ilə məhdudlaşmayan, daha geniş funksional imkanlara malik strateji idarəetmə instrumenti kimi fəaliyyət göstərir. Bu sahə dövlət qurumları ilə xalq arasında qarşılıqlı anlaşmanın qurulmasına, etimad mühitinin möhkəmləndirilməsinə və idarəetmə qərarlarının ictimai legitimliyinin təmin edilməsinə xidmət edir. Eyni zamanda, PR vasitəsilə ictimai rəyin formalaşdırılması və yönləndirilməsi, həmçinin idarəetmə proseslərində şəffaflığın artırılması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Tədqiqatın yekunları göstərir ki, PR fəaliyyətinin sistemli və hədəflənmiş şəkildə təşkili dövlət idarəçiliyinin səmərəliliyini artırır və idarəetmə qərarlarının daha çevik və əsaslandırılmış şəkildə qəbuluna

zəmin yaradır. Bu isə öz növbəsində ictimai etimadın güclənməsinə və sosial sabitliyin qorunmasına müsbət təsir göstərir. Xüsusilə geri əlaqə mexanizmləri ilə cəmiyyətdən toplanan məlumatların idarəetmə prosesinə inteqrasiyası qərarların real sosial ehtiyaclara daha uyğunlaşdırılmasına imkan verir.
Bununla bərabər, araşdırma demokratik idarəetmə modelində ictimai əlaqələrin rolunun daha da artdığını təsdiqləyir. Vətəndaşların iştirakının stimullaşdırılması, ictimai müzakirə mühitinin yaradılması və dövlət siyasətinin cəmiyyətə açıq şəkildə təqdim olunması idarəetmənin inklüziv xüsusiyyətlərini gücləndirir. Bu kontekstdə ictimai əlaqələr həm idarəetmənin kommunikativ təməli, həm də sosial stabilliyin təminini təmin edən mühüm mexanizm kimi qiymətləndirilir.
Ümumilikdə, nəticələr onu deməyə imkan verir ki, ictimai əlaqələr müasir dövlət idarəçiliyinin ayrılmaz komponentidir və onun effektiv təşkili dövlət–cəmiyyət münasibətlərinin keyfiyyətinin artırılmasında, idarəetmənin şəffaflığının yüksəldilməsində və ictimai rifahın inkişafında mühüm rol oynayır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Black, S. Public Relations: The Complete Guide. (İstinad edilən PR tərifi mənbə kimi istifadə olunur)
2. Почепцов, Г. Г. (2001). Паблик рилейшнз для профессионалов. Киев: Рефл-бук. (18-25)
3. Чумиков, А. Н., & Бочаров, М. П. (2006). Связи с общественностью: теория и практика. Москва: Дело. (526-529)
4. Grunig, J. E., & Hunt, T. (1984). Managing Public Relations. New York: Holt, Rinehart and Winston. (90-110)
5. Алешина, И. В. (2007). Паблик рилейшнз для менеджеров. Москва: Эксмо. (10-13,265-267)
6. Кузнецов, В. Ф. (2010). Связи с общественностью в государственном управлении. Москва: Инфра-М. (85-95)

RƏQƏMSAL İDARƏETMƏ SAHƏSİNDƏ BEYNƏLXALQ TƏCRÜBƏNİN ÖYRƏNİLMƏSİ VƏ AZƏRBAYCAN MODELİ İLƏ MÜQAYİSƏLİ ANALİZ

Talıb Saylov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
Bakı, Azərbaycan
talibsayilov8@gmail.com

Xülasə: Rəqəmsal idarəetmə sahəsində beynəlxalq təcrübə göstərir ki, dövlət xidmətlərinin səmərəliliyinin artırılması, şəffaflığın gücləndirilməsi və vətəndaş məmnuniyyətinin təmin olunması üçün informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının (İKT) tətbiqi həlledici əhəmiyyət kəsb edir. Elektron Estoniya (e-Estonia) modeli, Sinqapurun "Smart Nation" konsepsiyası və Cənubi Koreyanın "Digital Government" strategiyası rəqəmsal idarəetmənin ən uğurlu nümunələri sayılır. Bu ölkələrdə rəqəmsallaşma təkcə dövlət idarəçiliyinin səmərəliliyini artırmamış, həm də biznes mühitinin inkişafına, iqtisadi artıma və sosial xidmətlərin keyfiyyətinin yüksəlməsinə şərait yaratmışdır.
Azərbaycan modeli isə "ASAN xidmət", "myGov", "Elektron hökumət portalı" və digər təşəbbüslərlə rəqəmsal idarəetmə sahəsində mühüm nailiyyətlər əldə etmişdir. Xidmətlərin vətəndaşlara daha əlçatan və şəffaf şəkildə təqdim edilməsi, korrupsiya risklərinin azaldılması və ictimai etimadın artırılması ölkənin rəqəmsal idarəetmədə regional lider kimi mövqeyini möhkəmləndirmişdir. Bununla belə, beynəlxalq təcrübə ilə müqayisədə Azərbaycanın əsas çağırışları rəqəmsal xidmətlərin tam inteqrasiyası, kiber təhlükəsizlik, böyük verilənlərin analizi və süni intellektin tətbiqi sahələrində müşahidə olunur.
Aparılan müqayisəli təhlil göstərir ki, beynəlxalq modellərin üstünlüklərinin öyrənilməsi və Azərbaycan modelinə uyğunlaşdırılması rəqəmsal idarəetmənin daha da təkmilləşdirilməsinə töhfə verə bilər. Bu baxımdan, beynəlxalq standartlara uyğun innovativ həllərin tətbiqi və milli rəqəmsal strategiyanın davamlı

şəkildə inkişaf etdirilməsi ölkədə dövlət-vətəndaş münasibətlərinin keyfiyyətcə yeni mərhələyə yüksəlməsini təmin edəcəkdir.

Açar sözlər: **Rəqəmsal idarəetmə, beynəlxalq təcrübə, Azərbaycan modeli, elektron hökumət, ASAN xidmət, Smart Nation, e-Estonia, rəqəmsal transformasiya, dövlət xidmətləri, kiber təhlükəsizlik**

Giriş

Müasir dövrdə qloballaşma proseslərinin sürətlənməsi, informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının (İKT) geniş tətbiqi və rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı dövlət idarəçiliyi sistemində köklü dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Ənənəvi idarəetmə üsullarının yerini getdikcə daha çevik, şəffaf və innovativ yanaşmalar tutmaqda, dövlət-vətəndaş münasibətlərində rəqəmsallaşma aparıcı tendensiya kimi formalaşmaqdadır. Bu baxımdan, rəqəmsal idarəetmə təkcə dövlət xidmətlərinin göstərilməsi mexanizmlərinin modernləşdirilməsi deyil, həm də vətəndaş məmnuniyyətinin yüksəldilməsi, sosial rifahın təmin olunması və iqtisadi artımın sürətləndirilməsi baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır.

Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, rəqəmsal idarəetmənin uğurlu tətbiqi üçün dövlət strukturlarının informasiya texnologiyalarına əsaslanan idarəetmə sisteminə inteqrasiyası, vətəndaşların rəqəmsal savadlılığının artırılması və elektron xidmətlərin davamlı inkişafı zəruridir. Estoniya, Sinqapur və Cənubi Koreya kimi ölkələrdə tətbiq edilən modellər sübut edir ki, rəqəmsal həllərin dövlət idarəçiliyinə gətirilməsi idarəetmə proseslərini daha effektiv və şəffaf etmiş, həmçinin iqtisadiyyatın rəqabət qabiliyyətini yüksəltmişdir.

Azərbaycan Respublikasında son illərdə həyata keçirilən rəqəmsal transformasiya siyasəti bu istiqamətdə əhəmiyyətli nəticələr doğurmuşdur. Xüsusilə "ASAN xidmət", "myGov" portalı, "Elektron hökumət" sistemi və digər rəqəmsal platformaların tətbiqi ölkədə dövlət xidmətlərinin daha çevik, şəffaf və əlçatan olmasına şərait yaratmışdır. Bununla belə, rəqəmsal idarəetmənin inkişafında beynəlxalq təcrübənin öyrənilməsi və Azərbaycan modelinə inteqrasiyası, mövcud çağırışların aradan qaldırılması və qlobal standartlara uyğunlaşma mühüm prioritetlərdən biri olaraq qalmaqdadır.

Rəqəmsal idarəetmənin inkişafı yalnız texnoloji yeniliklərin tətbiqi ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda institusional islahatların aparılmasını, normativ-hüquqi bazanın təkmilləşdirilməsini və idarəetmə mədəniyyətində innovativ yanaşmaların formalaşdırılmasını tələb edir. Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, rəqəmsallaşmanın uğur qazanması üçün dövlətin siyasi iradəsi, maliyyə resurslarının düzgün yönləndirilməsi və vətəndaşların aktiv iştirakı zəruri şərtlərdir. Bu yanaşma həm dövlət strukturlarının fəaliyyətində çevikliyi, həm də ictimai nəzarətin gücləndirilməsini təmin edir.

Müasir dövrdə rəqəmsal idarəetmə konsepsiyası sadəcə olaraq elektron xidmətlərin təqdim olunması ilə kifayətlənmir, daha geniş mənada dövlət və cəmiyyət arasında qarşılıqlı münasibətlərin yenidən qurulmasını nəzərdə tutur. Elektron hökumət portalları, mobil tətbiqlər, rəqəmsal identifikasiya sistemləri, süni intellekt və böyük verilənlərin analizi kimi alətlər idarəetmənin strateji səviyyədə səmərəliliyini artırır, qərarların qəbulunu elmi əsaslara söykəndirir və şəffaflığı gücləndirir.

Azərbaycan modeli bu istiqamətdə regional miqyasda nümunəvi təcrübə kimi çıxış edir. Xüsusilə "ASAN xidmət" konsepsiyası BMT və digər beynəlxalq qurumlar tərəfindən yüksək qiymətləndirilmişdir. Bununla belə, Azərbaycanın qarşısında duran əsas çağırışlar xidmətlərin tam inteqrasiyası, kiber təhlükəsizlik mexanizmlərinin gücləndirilməsi, rəqəmsal inklüzivliyin təmin edilməsi və qlobal texnoloji trendlərlə ayaqlaşmaqla bağlıdır.

TƏHLİL

Rəqəmsal idarəetmə sahəsində aparıcı beynəlxalq təcrübələr göstərir ki, dövlətlər rəqəmsallaşmanı sadəcə texnoloji proses kimi deyil, sosial və iqtisadi inkişafın əsas dayağı kimi qəbul edirlər. Estoniya, Sinqapur və Cənubi Koreya kimi ölkələrdə rəqəmsal hökumət konsepsiyası vətəndaşların gündəlik həyatına inteqrasiya olunmuş, idarəetmə proseslərində səmərəlilik və şəffaflıq təmin edilmişdir.

- **Estoniya modeli (e-Estonia)**: Elektron identifikasiya kartı (e-ID) və "X-Road" inteqrasiya sistemi vasitəsilə bütün dövlət və bələdiyyə qurumları arasında vahid informasiya mübadiləsi təmin olunmuşdur. Bu, xidmətlərin vətəndaşlara sürətli və əlavə inzibati maneələr olmadan çatdırılmasına imkan verir.
- **Sinqapurun "Smart Nation" konsepsiyası**: Ağıllı şəhər infrastrukturu, böyük verilənlərin analizi və süni intellekt texnologiyaları üzərində qurulmuşdur. Burada rəqəmsallaşma həm dövlət xidmətlərinin, həm də şəhər həyatının bütün sahələrinin optimallaşdırılmasına yönəlmişdir.
- **Cənubi Koreya**: "Digital Government" strategiyası ilə dövlət-vətəndaş münasibətlərini mobil və bulud əsaslı xidmətlər üzərindən qurmuş, kiber təhlükəsizlik sahəsində ciddi mexanizmlər formalaşdırmışdır.

Bu nümunələr göstərir ki, beynəlxalq təcrübədə uğurun əsas şərti dövlətin rəqəmsal transformasiyanı milli inkişaf strategiyasının mərkəzinə yerləşdirməsi və bu prosesə geniş ictimai dəstək qazanmasıdır.
Azərbaycan son illərdə rəqəmsal idarəetmədə əhəmiyyətli addımlar atmışdır. "ASAN xidmət", "myGov", Elektron hökumət portalı və digər platformalar dövlət xidmətlərinin daha əlçatan, şəffaf və vətəndaş yönümlü olmasını təmin etmişdir.

- Üstünlüklər:

1. Dövlət xidmətlərinin "vahid pəncərə" prinsipi ilə təşkili;
2. Vətəndaş məmnuniyyətinin yüksəldilməsi və korrupsiya risklərinin azalması;
3. Rəqəmsal savadlılıq və xidmətlərə çıxış imkanlarının genişlənməsi;
4. Beynəlxalq təşkilatlar tərəfindən "ASAN xidmət" modelinin yüksək qiymətləndirilməsi.

- Məhdudiyyətlər və çağırışlar:

1. Xidmətlərin tam inteqrasiyasının hələ də tam başa çatmaması;
2. Regionlar üzrə rəqəmsal bərabərsizliyin mövcudluğu;
3. Kiber təhlükəsizlik sahəsində artan risklər;
4. Süni intellekt və böyük verilənlər analitikası kimi qabaqcıl texnologiyaların tətbiqində məhdudiyyətlər.

Meyar / Ölkə	Estoniya	Sinqapur	Cənubi Koreya	Azərbaycan
Elektron identifikasiya	e-ID, tam inteqrasiya	Biometrik identifikasiya	Mobil e-ID sistemləri	ASAN Login, myGov
Xidmətlərin inteqrasiyası	Tam vahid platforma	Smart Nation ekosistemi	Mobil və bulud əsaslı	Qismən inteqrasiya
Süni intellekt tətbiqi	Yüksək səviyyədə	Geniş tətbiq	Dövlət səviyyəsində AI	İlkin mərhələdə
Kiber təhlükəsizlik	Güclü sistemlər	Regional liderlik	Yüksək texnoloji mexanizmlər	İnkişaf mərhələsində
Beynəlxalq nüfuz	e-Estonia modeli qlobal	"Smart Nation" nümunəvi	Asiya liderlərindən biri	Regional liderlik

Bu müqayisədən aydın olur ki, Azərbaycan rəqəmsal idarəetmənin bəzi sahələrində – xüsusilə şəffaflıq və vətəndaş yönümlülükdə – beynəlxalq səviyyədə qabaqcıl təcrübə nümayiş etdirir. Lakin texnoloji innovasiyaların tətbiqi və qlobal rəqabət qabiliyyəti baxımından Estoniya, Sinqapur və Cənubi Koreya ilə müqayisədə inkişaf potensialı daha genişdir.
Azərbaycan modeli beynəlxalq təcrübədən seçilmiş uğurlu elementlərin milli kontekstə uyğunlaşdırılması ilə formalaşmışdır. Bu isə göstərir ki, ölkə rəqəmsal idarəetmə istiqamətində təcrübəçi ölkə statusundan təcrübə ixrac edən ölkə statusuna keçid edə bilər. Bunun üçün beynəlxalq standartların tətbiqi, kiber təhlükəsizlik sistemlərinin gücləndirilməsi və süni intellektin idarəetmədə daha geniş istifadəsi vacibdir.

Nəticə

Rəqəmsal idarəetmə sahəsində aparılan müqayisəli təhlil göstərir ki, beynəlxalq təcrübə və Azərbaycan modeli arasında həm oxşar cəhətlər, həm də fərqli inkişaf istiqamətləri mövcuddur. Estoniya, Sinqapur və Cənubi Koreya kimi qabaqcıl ölkələrin təcrübəsi sübut edir ki, rəqəmsal idarəetmənin effektivliyi yalnız texnologiyaların tətbiqi ilə deyil, həm də dövlətin siyasi iradəsi, vətəndaşların rəqəmsal savadlılığının yüksəldilməsi və xidmətlərin tam inteqrasiyası ilə ölçülür.
Azərbaycan isə son illərdə həyata keçirdiyi layihələrlə – xüsusilə "ASAN xidmət", "myGov" və "Elektron hökumət portalı" ilə – regionda nümunəvi model kimi tanınmışdır. Bu təşəbbüslər dövlət xidmətlərinin şəffaflığını artırmış, korrupsiya risklərini minimuma endirmiş və ictimai etimadı gücləndirmişdir. Lakin beynəlxalq nümunələrlə müqayisədə Azərbaycanın hələ də inkişaf etdirməli olduğu sahələr mövcuddur. Bunlara xidmətlərin tam rəqəmsallaşdırılması, süni intellekt və böyük verilənlərin idarəetməyə tətbiqi, kiber təhlükəsizlik mexanizmlərinin gücləndirilməsi və regionlar üzrə rəqəmsal bərabərsizliyin aradan qaldırılması daxildir.
Nəticə etibarilə, beynəlxalq təcrübənin sistemli şəkildə öyrənilməsi və Azərbaycan modelinə inteqrasiyası ölkədə rəqəmsal idarəetmənin daha dayanıqlı və innovativ inkişafına şərait yaradacaqdır. Bu yanaşma həm dövlət-vətəndaş münasibətlərinin keyfiyyətcə yeni mərhələyə yüksəlməsini, həm də Azərbaycanın qlobal rəqəmsal idarəetmə reytinqlərində daha yüksək mövqelərə sahib olmasını təmin edə bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Muradaliyeva, V. (2025, May). Digital transformation and digital government: E-Government in Azerbaijan. *Scientific Work Special*, 39–41. https://doi.org/10.36719/2663-4619/116/39-41
2. World Bank. (2021, June 10). *GovTech for Azerbaijan: A whole-of-government approach as a key foundation for the digital economy in Azerbaijan*. World Bank. http://hdl.handle.net/10986/35853
3. Abdullayev, K., Badalova, S., Mustafayev, A., Zeynalov, M., & Babayeva, A. (2024, June). Assessment of the current state and prospects for the development of the digital economy of the Republic of Azerbaijan. *Theoretical and Practical Research in Economic Fields, 15*(2), 217–231. https://doi.org/10.14505/tpref.v15.2(30).06
4. Hajizadeh, E. (n.d.). New conceptual substantiations: Socialized economics, information economy, regional development, high technologies [Monograph section].
5. Aslanov, E. (2006). *Yeni dünya nizamı və milli inkişaf*. Bakı: Azərbaycan.
6. OECD. (2022). *Promoting enterprise digitalisation in Azerbaijan*. OECD.
7. World Economic Forum. (2024, July 31). From oil to algorithms: Azerbaijan's journey to digital transformation. *WEF Stories*.
8. Abdulkareem, A. (2025, April 14). Balancing tech and human connection: How Azerbaijan is redefining public services. *Blavatnik School of Government Blog*.
9. Spinu, N. (2020, November). Azerbaijan cybersecurity governance assessment. *DCAF Report.*
10. Alenezi, M. (2022, January 10). Understanding digital government transformation [Preprint]. *arXiv*.
11. Al-Khouri, A. M. (2011, May 31). An innovative approach for e-government transformation [Preprint]. *arXiv*.
12. Tan, S. Y., & Taeihagh, A. (2020, January 28). Smart city governance in developing countries: A systematic literature review [Preprint]. *arXiv*.

AZƏRBAYCANDA RƏQƏMSAL İDARƏETMƏ VƏ SOSİAL XİDMƏTLƏRİN TRANSFORMASIİYASI: TƏTBİQ MEXANİZMLƏRİ VƏ TƏHLİL

Talıb Saylov
Bakı Mühəndislik Universiteti
Dövlət və bələdiyyə idarəetməsi kafedrası
Bakı, Azərbaycan
talibsayilov8@gmail.com

Xülasə: Azərbaycan son illərdə dövlət idarəçiliyi və sosial xidmətlərin təşkili sahəsində rəqəmsal transformasiya prosesini sürətləndirmişdir. Bu transformasiya vətəndaşların dövlət xidmətlərinə çıxışını sadələşdirməyi, idarəetmədə şəffaflıq və hesabatlılığı artırmağı, eləcə də iqtisadi və sosial sferada səmərəliliyi yüksəltməyi hədəfləyir. "ASAN xidmət", "e- hökumət" portalı, "myGov" platforması və digər rəqəmsal həllər dövlət-vətəndaş münasibətlərində yeni keyfiyyət mərhələsi formalaşdırmışdır. Rəqəmsal idarəetmə mexanizmlərinin tətbiqi korrupsiya risklərinin azalmasına, xidmətlərin çevik və ədalətli göstərilməsinə, həmçinin regionlarda yaşayan əhalinin dövlət xidmətlərinə bərabər çıxışına şərait yaratmışdır.

Sosial xidmətlərin rəqəmsallaşdırılması isə xüsusi olaraq həssas əhali qruplarına – aztəminatlı ailələrə, əlilliyi olan şəxslərə və pensiyaçılara dəstək sistemlərinin təkmilləşdirilməsinə yönəlmişdir. Onlayn sosial müavinət müraciətləri, elektron pensiya hesablamaları və vahid məlumat bazalarının yaradılması bu istiqamətdə mühüm addımlardandır. Bununla yanaşı, süni intellekt və böyük verilənlərin təhlili imkanları sosial siyasətin planlaşdırılmasında proqnozvermə və qərar qəbuletməni gücləndirmişdir.

Araşdırmalar göstərir ki, rəqəmsal idarəetmənin tətbiqi iqtisadi səmərəliliyin artırılması ilə yanaşı, sosial kapitalın möhkəmlənməsinə də xidmət edir. Lakin texnoloji infrastrukturun qeyri-bərabər inkişafı, kadr potensialının məhdudluğu və kibertəhlükəsizlik riskləri hələ də əsas problemlər olaraq qalır. Bu baxımdan, gələcəkdə rəqəmsal bacarıqların artırılması, regional bərabərliyin təmin olunması və davamlı innovasiya

mühitinin yaradılması Azərbaycanın rəqəmsal transformasiya prosesində prioritet istiqamətlərdən olacaqdır.

Açar sözlər: **Rəqəmsal idarəetmə, sosial xidmətlər, transformasiya, tətbiq mexanizmləri, Azərbaycan**

Giriş

Müasir dövrdə dövlət idarəçiliyi və sosial xidmətlərin təşkili rəqəmsal texnologiyaların geniş tətbiqi ilə yeni mərhələyə qədəm qoymuşdur. Qloballaşma, informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı və cəmiyyətin dəyişən tələbləri dövlətin idarəetmə mexanizmlərinin modernləşdirilməsini zəruri etmişdir. Azərbaycan Respublikasında da son onilliklərdə rəqəmsal idarəetmənin qurulması, dövlət xidmətlərinin elektronlaşdırılması və vətəndaşların bu xidmətlərə bərabər çıxış imkanlarının təmin olunması istiqamətində mühüm addımlar atılmışdır.

Rəqəmsal transformasiya prosesləri yalnız xidmətlərin elektron formada təqdim edilməsini deyil, həm də idarəetmədə şəffaflıq, hesabatlılıq və səmərəliliyin artırılmasını hədəfləyir. Bu baxımdan "ASAN xidmət", "Elektron Hökumət" portalı, "myGov" və digər platformalar dövlət-vətəndaş münasibətlərində tamamilə yeni idarəetmə modelinin əsasını qoymuşdur. Sözügedən islahatlar nəticəsində dövlət orqanlarının fəaliyyətində çeviklik, operativlik və vətəndaş məmnuniyyətinin yüksəlməsi müşahidə olunur.

Eyni zamanda, sosial xidmətlərin rəqəmsallaşdırılması cəmiyyətin ən həssas təbəqələrinin rifahına xidmət edir. Əlilliyi olan şəxslər, aztəminatlı ailələr, əmək bazarına inteqrasiya imkanları məhdud qruplar üçün rəqəmsal mexanizmlərin tətbiqi sosial siyasətin ədalətli və bərabər əsaslarla həyata keçirilməsinə şərait yaradır. Onlayn müraciət formaları, elektron müavinət və pensiya sistemləri, vahid məlumat bazaları sosial xidmətlərin əlçatanlığını xeyli artırmışdır.

Lakin rəqəmsal idarəetmənin inkişafı ilə yanaşı, bir sıra çətinliklər də mövcuddur. İnformasiya təhlükəsizliyi, regional bərabərsizliklər, rəqəmsal savadlılıq səviyyəsinin fərqliliyi və kadr potensialının məhdudluğu bu sahədə həllini gözləyən əsas problemlərdəndir. Buna görə də mövcud islahatların davam etdirilməsi, rəqəmsal bacarıqların inkişafı və davamlı innovasiya mühitinin yaradılması ölkənin gələcək sosial-iqtisadi inkişafında strateji əhəmiyyət kəsb edir.

Bu tədqiqatın məqsədi Azərbaycanda rəqəmsal idarəetmənin və sosial xidmətlərin transformasiyasını araşdırmaq, tətbiq olunan mexanizmləri təhlil etmək və mövcud problemlərin həlli üçün tövsiyələr irəli sürməkdir.

Azərbaycanın sosial-iqtisadi inkişaf strategiyalarında rəqəmsal idarəetmə və elektron sosial xidmətlərin genişləndirilməsi prioritet istiqamət kimi müəyyən olunmuşdur. Bu strategiyalar çərçivəsində dövlət orqanlarının fəaliyyətində innovativ yanaşmalar tətbiq olunur, xidmətlərin keyfiyyəti və əlçatanlığı artırılır. Rəqəmsal transformasiya, bir tərəfdən, idarəetmədə şəffaflığın yüksəldilməsinə və korrupsiya hallarının qarşısının alınmasına, digər tərəfdən isə, ictimai idarəetmənin demokratik prinsiplərə uyğun təşkilinə zəmin yaradır.

Sosial xidmətlərin rəqəmsallaşdırılması həm də vətəndaş məmnuniyyətinin yüksəldilməsində mühüm rol oynayır. Məsələn, elektron pensiya sistemi, onlayn sosial müavinət müraciətləri və vahid inteqrasiya olunmuş məlumat bazalarının istifadəsi əhalinin vaxt və maliyyə itkilərini minimuma endirmişdir. Bu yanaşma dövlətin sosial siyasətində daha effektiv idarəetmə imkanlarını təmin etməklə yanaşı, vətəndaşların dövlətə olan inamını da möhkəmləndirmişdir.

Bununla belə, rəqəmsal idarəetmənin tətbiqində müəyyən məhdudiyyətlər mövcuddur. İnfrastrukturun regionlar üzrə qeyri-bərabər inkişafı, rəqəmsal savadlılığın fərqli səviyyədə olması və kiber təhlükəsizliklə bağlı risklər bu prosesin dayanıqlığını zəiflədir. Bu baxımdan, rəqəmsal bacarıqların inkişaf etdirilməsi, kibermühafizə sistemlərinin gücləndirilməsi və innovativ kadr hazırlığının təmin olunması qarşıda duran əsas vəzifələrdəndir.

Bu araşdırma məhz qeyd olunan istiqamətlərin hərtərəfli təhlilinə həsr olunmuşdur. Tədqiqatda Azərbaycanın rəqəmsal idarəetmə modelinin əsas xüsusiyyətləri, tətbiq olunan mexanizmlərin effektivliyi, sosial xidmətlərin transformasiyasında əldə olunan nəticələr və mövcud problemlər təhlil ediləcəkdir. Eyni zamanda, beynəlxalq təcrübə ilə müqayisəli yanaşma aparılaraq, Azərbaycanın reallıqlarına uyğun inkişaf perspektivləri və tövsiyələr irəli sürüləcəkdir.

TƏHLİL

Elektron idarəetmə ilə rəqəmsal idarəetmə anlayışlarının müqayisəsi:

Elektron İdarəetmə (e-Government / e-Management), əsasən ənənəvi idarəetmə proseslərinin rəqəmsal vasitələrə transferi olaraq başa düşülür. Bu yanaşma, kağız dövriyyəsini azaltmağa və xidmətləri internet üzərindən əlçatan etməyə yönəlmişdir. Bu tip idarəetmə modelində əsas məqsəd, mövcud sistemləri

rəqəmsallaşdırmaqdır. Məsələn, şəxsiyyət vəsiqəsi üçün onlayn növbə götürmək və sənədləri e-poçtla göndərmək kimi xidmətlərə misal göstərmək olar.

Rəqəmsal idarəetmə (Digital Government / Digital Management) isə daha geniş və kompleks bir anlayışdır. Burada texnologiya sadəcə bir vasitə olmaqla yanaşı, idarəetmənin özəyinə çevrilir. Bu yanaşma, məlumatların və proseslərin tam transformasiyasını nəzərdə tutur. İnteqrasiya edilmiş məlumat mübadiləsi, proaktiv xidmətlər və Süni İntellekt (AI) və analitika kimi texnologiyalar vasitəsilə dövlət qurumları arasında əlaqələr inkişaf edir. Məsələn, vətəndaşın müraciəti olmadan sosial vəziyyətinin analizi edilərək müavinət avtomatik təyin edilə bilər (Bagirzade, M. 2024, May 17).

Müqayisə: Elektron idarəetmə: Xidmətlərin rəqəmsallaşdırılması və bürokratik addımların onlayn şəkildə davam etdirilməsi.

Rəqəmsal idarəetmə: İdarəetmə proseslərinin tam transformasiyası, məlumatların avtomatik inteqrasiyası və proaktiv qərarların alınması.

Sosial xidmətlərin transformasiyası. Reaktivlikdən proaktivliyə keçid:

Problemlər: Ənənəvi sosial xidmətlər reaktiv xarakter daşıyır, yəni vətəndaşın müraciəti əsasında xidmət göstərilir. Bu, dövlətin və vətəndaşın vaxtını israf edir və bürokratik maneələr yaradır.

Həll yolu: Rəqəmsal idarəetmə ilə vətəndaşın sosial vəziyyəti əvvəlcədən analiz edilərək, müvafiq xidmətlər (müavinət, sosial yardımlar və s.) avtomatik şəkildə təyin oluna bilər. Proaktiv yanaşma sosial xidmətlərə daha sürətli və effektiv yanaşmanı təmin edir.

De-institusionalizasiya (İnsan mərkəzlilik):

Problemlər: Sosial xidmətlər, bəzən şərtlərini və metodlarını dövlətin idarə etdiyi müəyyən qurumlarla əlaqələndirir. Bu, insanları həmin qurumlarla bağlı formal prosedurlara məcbur edir və onların müstəqil həyatlarını çətinləşdirir(Muradaliyeva, V. 2025, May).

Həll yolu: Rəqəmsal idarəetmə ilə, sosial xidmətlər fərdi vəziyyətə əsaslanaraq, insan mərkəzli xidmətlər təklif edə bilər. Məsələn, müavinətlər və sosial yardımlar üçün müraciət edən vətəndaşın yalnız öz ehtiyaclarına uyğun xidmətlər göstərilir. Bu, qurumları birbaşa vətəndaşın ehtiyacları ilə əlaqələndirir və xidmətlərin daha əlçatan və şəffaf olmasını təmin edir.

İnteqrasiya olunmuş sosial xidmətlər ("Vahid Pəncərə"):

Problemlər: Müxtəlif sosial xidmətlərə müraciət edən vətəndaşlar, fərqli qurumlara və şöbələrə müraciət etməli olurlar ki, bu da vaxt və resurs israfına yol açır.

Həll yolu: "Vahid Pəncərə" modeli, fərqli sosial xidmətlərə bir yerə müraciət etməyə imkan verir. Rəqəmsal idarəetmə ilə bu xidmətlər arasında məlumat mübadiləsi avtomatik şəkildə baş verir. Məsələn, vətəndaşın müavinət və sığorta haqqı kimi bir neçə xidmətə eyni zamanda müraciət etməsi mümkündür və bu müraciətlər sistem tərəfindən avtomatik olaraq hər bir quruma yönləndirilir.

Problemlər və həll yolları:

Problemlər: Ənənəvi sosial xidmətlər bürokratik addımlar, kağız əsaslı sistemlər və zəif inteqrasiya ilə xarakterizə olunur. Xidmətlər çox vaxt gecikirlər və vətəndaşların çoxsaylı müraciətləri tələb olunur.

Həll yolları: Elektron idarəetmə və rəqəmsal idarəetmə arasında keçid, xidmətlərin daha sürətli və effektiv olmasına imkan tanıyır. Məlumatların inteqrasiyası, proaktiv xidmətlər və vətəndaşların fərdi ehtiyaclarına uyğun yanaşmalar təmin edilə bilər (World Bank. 2021, June 10).

Azərbaycanın rəqəmsal transformasiyası, sosial xidmətlərdə şəffaflığı, səmərəliliyi və əlçatanlığı artırmaqla yanaşı, dövlətin vətəndaşlarla əlaqələrini də təkmilləşdirəcək. Rəqəmsal idarəetmənin tətbiqi, daha sürətli, daha şəffaf və vətəndaşların ehtiyaclarına uyğun xidmətlərin təqdim olunmasına şərait yaradır. Bu transformasiya həmçinin dövlətin idarəetmə və sosial xidmət sahəsindəki müasir yanaşmalara uyğunlaşmasını təmin edir (Huseynov, A., Balsalobre-Lorente, D., Hamidova, L., & Samedova, E. 2025, April 10).

Cədvəl 1: Elektron idarəetmə və rəqəmsal idarəetmə: Müqayisə cədvəli

Kriteriya	Elektron İdarəetmə	Rəqəmsal İdarəetmə
Fokus	Xidmətlərin rəqəmsallaşdırılması (Digitization)	Proseslərin tam transformasiyası (Digital Transformation)
Təsvir	Ənənəvi idarəetmə proseslərinin rəqəmsal vasitələrlə əvəz edilməsi	İdarəetmənin tamamilə texnologiya ilə yenilənməsi
Xüsusiyyətlər	- Kağız formaların onlayn anketlərlə əvəz edilməsi	- Məlumatların inteqrasiyası

	- PDF və ya statik verilənlər bazası ilə məlumat saxlama	- Proaktiv xidmətlər və avtomatik yeniləmələr
	- Vətəndaşın onlayn xidmətlərə müraciəti (e-poçtla sənəd göndərmək və s.)	- Süni İntellekt və Analitika ilə qərar verilməsi
Misal	Şəxsiyyət vəsiqəsi üçün onlayn növbə götürmək	Sosial vəziyyətə əsaslanaraq müavinətlərin avtomatik təyini
Texnologiya Rolu	Texnologiya yalnız alət kimi istifadə olunur	Texnologiya idarəetmənin əsasını təşkil edir
Məlumat Mübadiləsi	Məhdud məlumat mübadiləsi	Fərqli qurumlar arasında avtomatik məlumat mübadiləsi
Sistem Təbiəti	Vətəndaş eyni bürokratik addımları onlayn yerinə yetirir	Vətəndaşın sosial vəziyyəti avtomatik təhlil edilir və xidmətlər təqdim olunur

Mənbə: Tədqiqatın əsaslandırılması və nəzəri əsası (İnkişaf etmiş rəqəmsal idarəetmə yanaşmalarının tətbiqi və Azərbaycan kontekstindəki analizlər)

Elektron idarəetmə və rəqəmsal idarəetmə anlayışlarının müqayisəsi göstərilən cədvəldə əsas fərqlər və xüsusiyyətlər açıq şəkildə ortaya qoyulub. Elektron idarəetmə, ənənəvi idarəetmə proseslərinin rəqəmsal vasitələrlə əvəz edilməsi məqsədini güdür və əsasən xidmətlərin rəqəmsallaşdırılmasına yönəlir. Bu yanaşma, kağız formaların onlayn anketlərlə əvəz edilməsi, məlumatların PDF və ya statik verilənlər bazasında saxlanması və vətəndaşların fiziki olaraq hər hansı bir quruma getmədən eyni bürokratik addımları onlayn keçirməsini nəzərdə tutur. Məsələn, şəxsiyyət vəsiqəsi üçün onlayn növbə götürmək və sənədi e-poçtla göndərmək elektron idarəetməyə aid nümunələrdir(Huseynova, A., & Mazanova, O. (2020, June)..

Rəqəmsal idarəetmə isə daha geniş və dərin bir yanaşmadır. Burada texnologiya yalnız alət deyil, idarəetmənin özəyinə çevrilir. Rəqəmsal idarəetmə, proseslərin tam transformasiyasını nəzərdə tutur və məlumatların inteqrasiyası, fərqli qurumlar arasında avtomatik məlumat mübadiləsi və proaktiv xidmətlər təqdim etməyə yönəlir. Bu yanaşma ilə vətəndaşın sosial vəziyyəti əvvəlcədən analiz edilərək müavinətlərin avtomatik təyin edilməsi kimi addımlar atıla bilər. Süni İntellekt və analitika ilə qərar verilməsi, qərarların şəxsi mülahizələrə deyil, böyük verilənlərin analizinə əsaslanması rəqəmsal idarəetmənin əsas xüsusiyyətlərindəndir(Hajizadeh, E. n.d.).

Elektron idarəetmə, daha çox xidmətlərin rəqəmsallaşdırılmasına və bürokratik addımların onlayn şəkildə keçirilməsinə diqqət yetirir, rəqəmsal idarəetmə isə proseslərin tamamilə transformasiya olunmasını və texnologiyanın idarəetmənin mərkəzinə yerləşdirilməsini nəzərdə tutur. Cədvəl 1 də hər iki yanaşmanın əsas xüsusiyyətləri, texnologiyanın rolu, məlumat mübadiləsi və sistem təbiəti açıq şəkildə müqayisə edilmişdir. Bu müqayisə, Azərbaycanda rəqəmsal idarəetmənin inkişafının əsas istiqamətlərini anlamağa kömək edir(Hajizadeh, E. n.d.).

Nəticə

Aparılan tədqiqatın nəticələri göstərir ki, Azərbaycanda rəqəmsal idarəetmə və sosial xidmətlərin transformasiyası son illərdə dinamik və məqsədyönlü şəkildə inkişaf etmişdir. Dövlət tərəfindən həyata keçirilən rəqəmsallaşma siyasəti idarəetmədə şəffaflığın artırılmasına, xidmətlərin operativliyinin yüksəldilməsinə və vətəndaş məmnuniyyətinin təmin olunmasına mühüm töhfə vermişdir. Xüsusilə elektron hökumət platformalarının genişlənməsi, "ASAN xidmət" modelinin tətbiqi və sosial xidmətlərin onlayn mühitə inteqrasiyası dövlət-vətəndaş münasibətlərində keyfiyyətcə yeni mərhələ formalaşdırmışdır .

Təhlillər göstərir ki, elektron xidmətlərin sayının artması və bu xidmətlərdən istifadə edən vətəndaşların sayının yüksəlməsi ölkədə rəqəmsal transformasiyanın effektivliyini təsdiqləyir. Sosial xidmətlərin rəqəmsallaşdırılması, xüsusilə pensiya, müavinət və əmək münasibətlərinin elektronlaşdırılması sosial müdafiə sisteminin daha şəffaf və əlçatan olmasına şərait yaratmışdır. Bu proses nəticəsində həm vaxt, həm də maliyyə resurslarına qənaət edilmiş, eyni zamanda dövlət xidmətlərinə çıxış imkanları genişlənmişdir.

Bununla yanaşı, tədqiqat nəticələri göstərir ki, mövcud uğurlara baxmayaraq, bir sıra problemlər hələ də qalmaqdadır. Regionlar üzrə rəqəmsal infrastrukturun qeyri-bərabər inkişafı, əhalinin müxtəlif qrupları arasında rəqəmsal savadlılıq səviyyəsinin fərqliliyi və kibertəhlükəsizlik risklərinin artması bu sahədə əsas çağırışlar kimi çıxış edir. Xüsusilə ucqar bölgələrdə yaşayan əhalinin rəqəmsal xidmətlərə çıxış imkanlarının məhdud olması sosial bərabərliyin təmin olunmasına müəyyən maneələr yaradır.

Digər mühüm məsələ kibertəhlükəsizlik sahəsində risklərin artmasıdır. Rəqəmsal sistemlərin genişlənməsi ilə paralel olaraq kiberhücumların və məlumat sızmalarının sayının artması dövlətin bu sahədə daha güclü

müdafiə mexanizmləri formalaşdırmasını zəruri edir. Bununla belə, dövlət qurumlarının kibermüdafiə səviyyəsinin yüksəlməsi göstərir ki, bu istiqamətdə də müsbət irəliləyişlər mövcuddur.

Ümumilikdə, aparılan araşdırma sübut edir ki, Azərbaycanda rəqəmsal idarəetmə və sosial xidmətlərin transformasiyası uğurlu inkişaf mərhələsindədir və bu proses ölkənin sosial-iqtisadi inkişafına mühüm töhfə verir. Gələcəkdə bu sahədə daha dayanıqlı nəticələrin əldə olunması üçün rəqəmsal infrastrukturun regionlar üzrə balanslı inkişafı, əhalinin rəqəmsal bacarıqlarının artırılması, innovativ kadr hazırlığının gücləndirilməsi və kibertəhlükəsizlik sistemlərinin təkmilləşdirilməsi prioritet istiqamətlər kimi müəyyən edilməlidir.

Beləliklə, rəqəmsal transformasiya yalnız texnoloji yenilik deyil, eyni zamanda idarəetmə fəlsəfəsinin dəyişməsi, sosial ədalətin təmin olunması və vətəndaş yönümlü dövlət modelinin formalaşması baxımından strateji əhəmiyyət kəsb edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Bagirzade, M. (2024, May 17). The role of global digital governance in the support of the East-West transport corridor: Azerbaijan's current advantages. SSRN. https://doi.org/10.2139/ssrn.5230131
2. Muradaliyeva, V. (2025, May). Digital transformation and digital government. E- Government in Azerbaijan. Scientific Work Special, 39–41. https://doi.org/10.36719/2663- 4619/116/39-41
3. World Bank. (2021, June 10). GovTech for Azerbaijan: A whole-of-government approach as a key foundation for the digital economy in Azerbaijan. World Bank. http://hdl.handle.net/10986/35853
4. Huseynov, A., Balsalobre-Lorente, D., Hamidova, L., & Samedova, E. (2025, April 10). Challenges and opportunities of digital economy development: Case of Azerbaijan. Problems and Perspectives in Management, 23(2), 265–276. https://doi.org/10.21511/ppm.23(2).2025.18
5. Abdullayev, K., Badalova, S., Mustafayev, A., Zeynalov, M., & Babayeva, A. (2024, June). Assessment of the current state and prospects for the development of the digital economy of the Republic of Azerbaijan. Theoretical and Practical Research in Economic Fields, 15(2), 217–231. https://doi.org/10.14505/tpref.v15.2(30).06
6. Huseynova, A., & Mazanova, O. (2020, June). Expansion of e-services in Azerbaijan: Directions and perspectives. In 55th International Scientific Conference on Economic and Social Development, Baku.
7. Hajizadeh, E. (n.d.). New conceptual substantiations: Socialized economics, information economy, regional development, high technologies [Monograph section].
8. Aslanov, E. (2006). Yeni dünya nizamı və milli inkişaf. Azerbaijan.
9. OECD. (2022). Promoting enterprise digitalisation in Azerbaijan. OECD.
10. Abdulkareem, A. (2025, April 14). Balancing tech and human connection: How Azerbaijan is redefining public services. Blavatnik School of Government Blog.
11. Spînu, N. (2020, November). Azerbaijan cybersecurity governance assessment. DCAF Report.

İKİNCİ QARABAĞ MÜHARİBƏSİNDƏN SONRA AZƏRBAYCANDA TÜRKİYƏ-İRAN GEOSİYASİ RƏQABƏTİNİN TRANSFORMASİYASI

Xülasə: Bu tədqiqat məqaləsi 2020-ci il İkinci Qarabağ Müharibəsindən 2026-cı ilin birinci rübünə qədər olan dövrdə Azərbaycanda Türkiyə və İran arasındakı geosiyasi rəqabətin təkamülünü təhlil edir. Tədqiqatın mərkəzində Şuşa Bəyannaməsi ilə rəsmiləşən Azərbaycan-Türkiyə hərbi-strateji ittifaqı, "Türk Dünyası 2040 Vizyonu" və Tehranın bu yeni arxitekturaya qarşı müqavimət strategiyaları dayanır. Məqalədə 2025-ci il Vaşinqton Sammitində elan edilən TRIPP (Trump Route for Peace & Prosperity) layihəsi, 2026-cı ilin martındakı Naxçıvan PUA hücumları və Zəngəzur/Araz dəhlizləri ətrafındakı rəqabət "regional təhlükəsizlik kompleksi" nəzəriyyəsi çərçivəsində araşdırılır. Bakı-Tehran münasibətlərindəki diplomatik krizlər, İsrail faktoru və "3+3" platforması vasitəsilə həyata keçirilən "avtoritar koordinasiya" mexanizmləri akademik müstəvidə şərh olunur.
Açar sözlər: Azərbaycan, Türkiyə-İran rəqabəti, Şuşa Bəyannaməsi, TRIPP, Zəngəzur dəhlizi, Araz dəhlizi, geosiyasi status-kvo, regional təhlükəsizlik.

Abstract: This research article analyzes the evolution of geopolitical competition between Turkey and Iran in Azerbaijan from the 2020 Second Karabakh War through late 2026. The study focuses on the Azerbaijan-Turkey military-strategic alliance formalized by the Shusha Declaration, the "Turkic World 2040 Vision" and Tehran's resistance strategies against this new architecture. The article examines the TRIPP (Trump Route for Peace & Prosperity) project declared at the 2025 Washington Summit, the March 2026 drone attacks on Nakhchivan, and the competition surrounding the Zangezur/Aras corridors within the framework of "regional security complex" theory. Diplomatic crises in Baku-Tehran relations, the Israel factor, and "authoritarian coordination" mechanisms through the "3+3" platform are interpreted in an academic context.
Keywords: South Caucasus, Turkey-Iran rivalry, Shusha Declaration, TRIPP, Zangezur corridor, Aras corridor, geopolitical status quo, regional security.

Аннотация

В данной исследовательской статье анализируется эволюция геополитического соперничества между Турцией и Ираном в Азербайджане в период с Второй карабахской войны 2020 года до конца 2026 года. В центре исследования находятся азербайджано-турецкий военно-стратегический союз, оформленный Шушинской декларацией, «Видение тюркского мира 2040» и стратегии сопротивления Тегерана этой новой архитектуре. В статье рассматриваются проект TRIPP (Trump Route for Peace & Prosperity), объявленный на Вашингтонском саммите 2025 года, атаки БПЛА на Нахчыван в марте 2026 года и конкуренция вокруг Зангезурского/Аразского коридоров в рамках теории «регионального комплекса безопасности». Дипломатические кризисы в отношениях Баку и Тегерана, израильский фактор и механизмы «авторитарной координации» через платформу «3+3» интерпретируются в академическом контексте.
Ключевые слова: Южный Кавказ, турецко-иранское соперничество, Шушинская декларация, TRIPP, Зангезурский коридор, Аразский коридор, геополитический статус-кво, региональная безопасность.

Özet

Bu araştırma makalesi, 2020 İkinci Karabağ Savaşı'ndan 2026 sonuna kadar olan süreçte Azerbaycan'daki Türkiye-İran jeopolitik rekabetinin evrimini analiz etmektedir. Çalışmanın merkezinde, Şuşa Beyannamesi ile resmileşen Azerbaycan-Türkiye askeri-stratejik ittifakı, "Türk Dünyası 2040 Vizyonu" ve Tahran'ın bu yeni mimariye karşı direnç stratejileri yer almaktadır. Makalede, 2025 Vaşington Zirvesi'nde ilan edilen TRIPP (Trump Route for Peace & Prosperity) projesi, Mart 2026 Nahçıvan İHA saldırıları ve Zengezur/Aras koridorları etrafındaki rekabet "bölgesel güvenlik kompleksi" teorisi çerçevesinde incelenmektedir. Bakü-Tahran ilişkilerindeki diplomatik krizler, İsrail faktörü ve "3+3" platformu aracılığıyla yürütülen "otoriter koordinasyon" mekanizmaları akademik bir perspektifle yorumlanmaktadır.
Anahtar kelimeler: Güney Kafkasya, Türkiye-İran rekabeti, Şuşa Beyannamesi, TRIPP, Zengezur koridoru, Aras koridoru, jeopolitik statüko, bölgesel güvenlik.

Giriş: 44 günlük müharibədən sonra Cənubi Qafqazın yeni geosiyasi konfiqurasiyası və regional güc balansının dəyişməsi

2020-ci il İkinci Qarabağ Müharibəsi Cənubi Qafqazın geosiyasi xəritəsində son otuz ilin ən böyük "tektonik sürüşməsi" kimi qiymətləndirilir [1, ss. 721]. Bu münaqişə nəticəsində Azərbaycanın öz ərazi bütövlüyünü bərpa etməsi regionda 1994-cü ildən bəri mövcud olan status-kvonu darmadağın etmiş, Rusiyanın ənənəvi "vasitəçilik" monopoliyasını zəiflətmiş və Türkiyənin regionda hərbi-siyasi aktor kimi birbaşa iştirakını qaçılmaz etmişdir. [1, ss. 721], [5, ss. 57]. 2026-cı ilin sonundan geriyə baxdıqda aydın görünür ki, post-münaqişə dövrü təkcə Azərbaycanın zəfəri ilə deyil, həm də Türkiyə və İranın regional nüfuz uğrunda mübarizəsinin assimmetrik qarşılıqlı asılılıqdan kəskin rəqabət müstəvisinə keçməsi ilə xarakterizə olunur [10].

Rusiyanın Ukraynadakı müharibəyə cəlb olunması Moskvanın regiondakı təsir imkanlarını daraltmış, bu isə Türkiyə və İran arasında yeni bir güc vakuumunun yaranmasına səbəb olmuşdur [10], [5, ss. 67]. Türkiyə bu vakuumu Azərbaycanla hərbi ittifaq və Türk Dövlətləri Təşkilatı vasitəsilə doldurmağa çalışdığı halda [9], [5, ss. 68] İran özünün şimal sərhədlərində "Türk qurşağı" formalaşmasını strateji təhdid kimi qəbul edərək status-kvonu qorumağa yönəlmiş reaktiv siyasət yürütmüşdür [1, ss. 722-723], [6]. 2025-ci ilin avqustunda baş tutan Vaşinqton Sammiti və orada elan edilən TRIPP layihəsi regiona Qərbin diplomatik qayıdışını simvolizə etsə də, Türkiyə və İran arasındakı rəqabət Cənubi Qafqazın təhlükəsizlik arxitekturasının əsas oxu olaraq qalmaqdadır [10], [4].

Cənubi Qafqazda Türkiyə-Azərbaycan strateji müttəfiqliyi: regional təhlükəsizliyin yeni memarlığı

15 iyun 2021-ci il tarixində imzalanan Şuşa Bəyannaməsi Azərbaycan və Türkiyə münasibətlərini "bir millət, iki dövlət" konseptual çərçivəsindən çıxararaq rəsmi hərbi-siyasi ittifaq səviyyəsinə yüksəltmişdir [5, ss. 55]. Belə ki, bəyannamənin 20-ci bəndi NATO müqaviləsinin 4 və 5-ci maddələrinə analoji olaraq, tərəflərdən hər hansı birinin suverenliyinə və ya ərazi bütövlüyünə qarşı üçüncü tərəfdən təhdid yarandıqda birgə məsləhətləşmələr və hərbi yardım göstərilməsini hüquqi öhdəlik kimi təsbit edir [5, s. 66], [9].

Bu sənəd regionda yeni bir "güc balansı" yaratmaqla yanaşı, Türkiyənin Cənubi Qafqazda hərbi mövcudluğunu hüquqi müstəviyə daşımışdır [5, ss. 67]. Şuşa Bəyannaməsi ilə Türkiyə faktiki olaraq regionun təhlükəsizlik arxitekturasında rəsmi iştirakçıya çevrilmiş və Azərbaycan üçün "təhlükəsizlik çətiri" formalaşdırmışdır. Bu strateji dəyişiklik İran tərəfindən özünün şimal sərhədlərində "Türk qurşağı" nın (Turkic belt) institusionallaşması və milli təhlükəsizliyinə qarşı "geosiyasi mühasirə" kimi qiymətləndirilərək kəskin reaktiv reaksiyalara səbəb olmuşdur [1, s. 722-723], [3]. 2026-cı ilin geosiyasi reallıqları kontekstində bu alyans regional sabitliyin qorunmasında və kənar müdaxilələrin, o cümlədən İrandan gələ biləcək hərbi risklərin qarşısının alınmasında həlledici sütun rolunu oynamağa davam edir [10], [4].

Hərbi inteqrasiya və "Türk dünyası 2040 vizyonu"

Şuşa Bəyannaməsi orduların modernləşdirilməsi, Azərbaycan Silahlı Qüvvələrinin NATO standartlarına və Türkiyə modelinə uyğunlaşdırılması istiqamətində konkret öhdəliklər müəyyən etmişdir. Bəyannamənin 22-ci bəndinə əsasən, tərəflər silahlı qüvvələrin müasir tələblərə uyğun yenidən qurulması və modernləşdirilməsi istiqamətində birgə səylər göstərməyi öhdələrinə götürürlər [5, ss. 67]. Bu hərbi inteqrasiya təkcə ikitərəfli əsasda deyil, həm də Türk Dövlətləri Təşkilatının "Türk Dünyası 2040 Vizyonu" sənədi ilə sinxronlaşdırılmışdır [5, ss. 71]. Sözügedən sənəd Türk Dövlətləri Təşkilatı daxilində təhlükəsizlik sahəsində dərin koordinasiyanı nəzərdə tutur ki, bu da Şuşa Bəyannaməsinin ideoloji onurğasını təşkil edir [5, ss. 62-63], [11]. Türkiyənin hərbi sənaye kompleksinin, xüsusilə pilotsuz uçuş aparatları (PUA), raket texnologiyaları və zirehli texnika sahəsində Azərbaycandakı birgə istehsalat sahələri regional "çəkindirmə" faktorunun ən mühüm elementinə çevrilmişdir [5, ss. 74].

İrana qarşı çəkindirmə və kollektiv müdafiə

Şuşa Bəyannaməsinin 20-ci və 21-ci paraqrafları Tehranın regional ambisiyalarına qarşı birbaşa hüquqi sipər rolunu oynayır [5, ss. 68]. 20-ci paraqrafda qeyd olunan "*üçüncü dövlətin təhdidi halında birgə məsləhətləşmə və hərbi yardım*" mexanizmi NATO-nun 5-ci maddəsinin regional analoqu kimi qəbul edilir [5, ss. 66]. Bu hüquqi bənd İranın 2021-2022-ci illərdə Azərbaycan sərhədləri yaxınlığında keçirdiyi genişmiqyaslı hərbi təlimlərə [1, ss. 726] və 2026-cı ilin martındakı hərbi eskalasiya cəhdlərinə qarşı Bakının ən güclü diplomatik-hərbi kartına çevrilmişdir [4], [10]. Bəyannamənin 21-ci paraqrafı isə hər iki ölkənin Təhlükəsizlik Şuralarının fəaliyyətinin sinxronlaşdırılmasını və mütəmadi birgə iclasların keçirilməsini tələb edir ki, bu da milli təhlükəsizlik strategiyalarının ortaq hədəflər üzərində qurulması deməkdir [5, ss. 67]. Bu strateji koordinasiya Tehranın regionda "geosiyasi boğulma" kimi qiymətləndirdiyi yeni reallığa qarşı Azərbaycan üçün həm hərbi zəmanət, həm də regional güc balansını qorumaq üçün zəruri infrastruktur yaradır [5, s. 67], [1, s. 722]. 2026-cı il böhranları zamanı Türkiyənin bu

maddələrə istinadən göstərdiyi qətiyyətli mövqe regionda hərbi qarşıdurmanın qarşısını alan əsas çəkindirici amil olmuşdur [3], [10].

İranın post-müharibə strategiyası: "Status-kvo"nun itirilməsi qorxusu və Zəngəzur dəhlizinə münasibətin geoiqtisadi təhlili

İran üçün 2020-ci ildən sonrakı dövr "geosiyasi mühasirə" qorxusu və regionda onilliklər boyu mövcud olan status-kvonun itirilməsi narahatlığı ilə xarakterizə olunur [1, s. 722]. Tehranın Zəngəzur dəhlizinə (və ya 2025-ci il Vaşinqton Sammitindən sonra gündəmə gələn TRIPP – "Trump Route for International Peace & Prosperity") qarşı nümayiş etdirdiyi sərt müqavimət, onun Ermənistan vasitəsilə Avropaya çıxışını itirmək və Türkiyənin Orta Asiyaya birbaşa quru yolu qazanaraq İranın tranzit əhəmiyyətini minimallaşdırmaq qorxusundan irəli gəlir. İran rəsmiləri bu layihəni özünün regional təsir imkanlarına qarşı "tamamilə qəbulolunmaz" və strateji "qırmızı xətt" hesab edirlər [6], [10]. Əslində bu müqavimətin arxasında duran əsas amil Türkiyənin bu dəhliz vasitəsilə Azərbaycan və Orta Asiyadakı Türk dövlətləri ilə kəsilməz birbaşa quru yolu əlaqəsi qazanmasıdır ki, bu da İranın tranzit əhəmiyyətini və Azərbaycan üzərindəki iqtisadi-siyasi rıçaqlarını minimallaşdırır [1, s. 727], [6]. Tehran bu prosesi şimal sərhədlərində "Türk qurşağı" (Turkic belt) formalaşması və İranın geosiyasi baxımdan təcrid olunması ssenarisi kimi qiymətləndirir [1, s. 722-723]. 2026-cı ilin geosiyasi reallıqları kontekstində Zəngəzur/TRIPP marşrutu ətrafındakı rəqabət Türkiyə və İranın regiondakı geo-iqtisadi maraqlarının toqquşduğu ən həssas nöqtə olaraq qalmaqdadır [10], [3].

"Qırmızı xətlər" və TRIPP layihəsi

İran rəsmiləri regionda mövcud dövlət sərhədlərinin dəyişdirilməsini və Ermənistan vasitəsilə Qara dənizə çıxış yolunun kəsilməsini dəfələrlə özlərinin strateji "qırmızı xətti" elan etmişlər [1, s. 722], [5, s. 68]. 2025-ci ilin avqustunda Vaşinqtonda Ermənistan və Azərbaycan arasında sülh danışıqlarının bərpası və TRIPP layihəsinin elan edilməsi Tehranın regional təcrid olunma narahatlığını daha da artırmışdır. Bu layihə Ermənistanın suverenliyi və hüquqi yurisdiksiyası altında, lakin beynəlxalq nəzarətlə fəaliyyət göstərən tranzit yolunu nəzərdə tutur [10], [6]. Tehran üçün bu marşrut Türkiyə və Azərbaycanı birləşdirən strateji arteriya olmaqla yanaşı, həm də İranın Cənubi Qafqazdakı tranzit əhəmiyyətini minimallaşdıran və regionda "NATO-yönümlü" bir təhlükəsizlik mühiti yaradan layihə kimi qəbul edilir [1, s. 727], [10].

Araz dəhlizi: Praqmatik regionalizm və texniki detallar

Zəngəzur dəhlizinin açılmasına dair "geosiyasi boğulma" narahatlığı ilə kəskin müqavimət göstərən İran, Bakının tranzit tələblərini qarşılamaq və özünün regional nəqliyyat əhəmiyyətini qorumaq məqsədilə "Araz dəhlizi" layihəsini strateji alternativ kimi irəli sürmüşdür [3], [1, s. 729]. 11 mart 2022-ci il tarixli memorandumla təməli qoyulan bu layihə, Azərbaycanın Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonu ilə Naxçıvan Muxtar Respublikasını İran ərazisindən keçməklə birləşdirən yeni bir nəqliyyat arteriyasıdır [8], [1, s. 729]. Bu layihə Tehran üçün həm Zəngəzur dəhlizini əvəzləmək cəhdi, həm də regional inteqrasiya proseslərində "oyundankənar" qalmamaq üçün praqmatik regionalizm nümunəsidir [8], [3].

2025-ci ilin oktyabr ayına olan məlumatlara görə, layihə çərçivəsində aşağıdakı texniki irəliləyişlər əldə olunmuşdur:

Ağbənd-Kəlalə körpüsü: *Araz çayı üzərində inşası tamamlanan bu strateji körpünün uzunluğu 374 metr, eni isə 27,6 metrdir. Körpü hər iki istiqamətdə cəmi 4 hərəkət zolağına malikdir* [8].

Dəmir yolu və infrastruktur: *Şərqi Zəngəzur ilə Naxçıvanı İran ərazisindən (Ermənistan-İran sərhədindən təxminən 5 km cənubda) birləşdirən 60 kilometrlik dəmir yolu xətti layihəsi İranın yollar və şəhərsalma naziri Fərzanə Sadeqin rəhbərliyi ilə sürətləndirilmişdir. Bu xətt İran dəmir yollarının post-sovet məkanının nəqliyyat sisteminə birbaşa inteqrasiyasını təmin edir* [8].

Yük həcmi və strateji hədəflər: *Beynəlxalq Şimal-Cənub Nəqliyyat Dəhlizi (INSTC) ilə sinxronlaşdırılan bu marşrut vasitəsilə illik yük daşımalarının həcminin 15 milyon tona çatdırılması hədəflənir* [8], [1, s. 730]. *Bu hədəf 2022-ci ilin sentyabrında Azərbaycan, Rusiya və İran arasında imzalanmış Bakı Bəyannaməsində əks olunan regional tranzit potensialının artırılması öhdəliklərinə tam uyğundur* [2].

Tehran üçün bu dəhliz həm də Ermənistan vasitəsilə Qara dənizə çıxışını qorumaq üçün bir təminatdır, çünki o, Azərbaycanı İrandan tranzit asılılığında saxlayaraq Zəngəzur dəhlizinin "eksterritorial" statusda açılmasına olan ehtiyacı minimuma endirir [1, s. 727], [8].

2026-cı il Naxçıvan PUA hücumu: Gərginliyin zirvəsi

5 mart 2026-cı il tarixində Naxçıvan Muxtar Respublikasının mülki infrastrukturuna, o cümlədən beynəlxalq hava limanının terminalına və Şəkərabad kəndindəki məktəb yaxınlığına pilotsuz uçuş aparatları (PUA) ilə zərbələr endirilmişdir. Bu hücum nəticəsində mülki infrastruktur ciddi zərər görmüş və dörd dinc sakin yaralanmışdır [4]. Hadisənin baş verdiyi vaxt regionda İrana qarşı beynəlxalq hərbi

əməliyyatların davam etməsi və Tehranın ali lideri Əli Xameneyinin vəfatından sonra yaranmış hakimiyyət boşluğu vəziyyəti daha da gərginləşdirmişdir [3].

Tehran rəsmiləri bu hadisəni "iki ölkə arasında nifaq salmaq istəyən üçüncü tərəflərin fitnəsi" kimi xarakterizə edərək öz hərbi məsuliyyətlərini inkar etsələr də, Bakıdakı analitik mərkəzlər bunu İranın regional çəkindirmə siyasətinin bir parçası və Azərbaycanın hava hücumundan müdafiə sistemlərinin hazırlığını yoxlamaq cəhdi kimi qiymətləndirmişlər [4].

Hadisədən dərhal sonra Azərbaycan Silahlı Qüvvələri ali baş komandanın əmri ilə yüksək döyüş hazırlığı vəziyyətinə gətirilmişdir. Türkiyə tərəfi isə Şuşa Bəyannaməsinin müttəfiqlik öhdəliklərinə sadiq qalaraq dərhal reaksiya vermiş; xarici işlər naziri Hakan Fidan azərbaycanlı həmkarı Ceyhun Bayramova zəng edərək Ankaranın Azərbaycanın təhlükəsizliyinə tam dəstəyini ifadə etmişdir. Bu böhran Türkiyə-Azərbaycan strateji müttəfiqliyinin İranın reaktiv hərbi addımları qarşısında ən mühüm çəkindirici amil olduğunu bir daha sübut etmişdir [4], [3].

Rəqabətin transformasiyası: Enerji təhlükəsizliyi, İsrail faktoru və Bakı-Tehran-Ankara üçbucağında yeni gərginlik nöqtələri

Türkiyə-İran rəqabəti post-müharibə dövründə asimmetrik xarakter daşıyır; tərəflər Cənubi Qafqazda nüfuz dairələri uğrunda kəskin rəqabət apardığı halda, digər sahələrdə, xüsusilə enerji təhlükəsizliyi və iqtisadiyyatda əməkdaşlığa məhkumdurlar.

Enerji faktoru və iqtisadi paradoks

İkinci Qarabağ Müharibəsindən sonra Bakı və Tehran arasında siyasi münasibətlərin ən gərgin olduğu 2022-ci ildə belə, Azərbaycan və İran arasında ticarət dövriyyəsi əvvəlki illərlə müqayisədə artaraq 506.2 milyon dollara çatmışdır. Bu artım əsasən 2021-ci ilin noyabrında Aşqabadda Azərbaycan, İran və Türkmənistan prezidentləri tərəfindən imzalanan, illik 1.5-2 milyard kubmetr Türkmənistan qazının İran vasitəsilə Azərbaycana svopunu nəzərdə tutan sazişlə əlaqədardır. 2022-ci ilin iyununda isə tərəflər bu nəql həcminin ikiqat artırılması barədə yeni razılıq əldə etmişlər [1, s. 728]. Bu "*iqtisadi paradoks*" göstərir ki, siyasi və hərbi gərginliklərə baxmayaraq, hər iki dövlət praqmatik iqtisadi maraqlar çərçivəsində əməkdaşlığı davam etdirməyə məhkumdur [1, s. 731], [10].

Lakin eyni zamanda, Azərbaycanın Avropanın enerji təhlükəsizliyində rolunun strateji səviyyədə artması və Cənub Qaz Dəhlizinin genişlənməsi İranın regional enerji ambisiyaları və tranzit rıçaqları ilə kəskin toqquşur [1, s. 722], [5, s. 68]. Tehran Azərbaycanın bu layihələr vasitəsilə Qərb enerji bazarlarına inteqrasiyasını və Türkiyə ilə enerji müttəfiqliyini özünün geosiyasi təcrid olunması ssenarisinin tərkib hissəsi kimi görür [1, s. 723], [6]. 2026-cı ilin mürəkkəb regional şəraiti fonunda bu iqtisadi asılılıq gərginliyi müəyyən dərəcədə cilovlasa da, strateji rəqabəti aradan qaldıra bilmir [10], [3].

İsrail faktoru və diplomatik böhranlar

Tehran Bakı-Təl-Əviv strateji tərəfdaşlığını öz milli təhlükəsizliyinə qarşı həm strateji təhdid, həm də "ekzistensial təhdid" kimi dəyərləndirir [1, s. 722], [10]. 2023-cü ilin yanvarında Azərbaycanın Tehrandakı səfirliyinə edilən hücum bu gərginliyin kulminasiya nöqtəsi olmuşdur [1, s. 727]. Azərbaycan tərəfi bu hadisəni terror aktı kimi qiymətləndirərək səfirliyini bağlamış, yalnız 2024-cü ildə hücum edənin edamı və Tehranın rəsmi üzrxahlığından sonra diplomatik fəaliyyət bərpa edilmişdir [4]. Digər tərəfdən, Azərbaycan vətəndaşı olan tələbə Fərid Səfərlinin casusluq ittihamı ilə İranda həbs olunması tərəflər arasındakı dərin etimad böhranının və informasiya müharibəsinin digər bariz göstəricisi olmuşdur [1, s. 726]. Rəqabətin mürəkkəbliyi həm də Türkiyənin bəzi media seqmentlərində və sosial platformalarında Bakının İsraillə əlaqələrinin Qəzza hadisələri fonunda tənqid olunmasında özünü büruzə verir. Bu cür diskurslarda Azərbaycanın İsrail ilə əməkdaşlığı bəzən sırf ideoloji və emosional çərçivədə təqdim olunur ki, bu da regiondakı çoxölçülü geosiyasi rəqabətin informasiya müstəvisinə transformasiyasını əks etdirir [3]. 2026-cı ilin regional böhranları kontekstində İsrail faktoruna görə İrandan gələn hərbi çəkindirmə ritorikası Azərbaycan-İran münasibətlərində ən həssas nöqtə olaraq qalır [10], [4].

Regional əməkdaşlıq modelləri: "3+3" platforması və Türkiyə-İran münasibətlərində rəqabətdən birgəyaşayışa keçid imkanları

Türkiyə tərəfindən 2020-ci ilin dekabrında irəli sürülən "3+3" təşəbbüsü (Azərbaycan, Ermənistan, Gürcüstan + Türkiyə, Rusiya, İran) Cənubi Qafqazda Qərbin (ABŞ və Avropa İttifaqı) təsirini minimallaşdırmaq və regional problemləri "regional sahiblik" prinsipi ilə həll etmək məqsədi daşıyır [7], [5, s. 69]. Bu təşəbbüs Türkiyə və İran arasındakı münasibətlərin kəskin rəqabətdən "rəqabətli birgəyaşayış" (competitive co-existence) modelinə keçidini təmin etmək, tərəflərin bir-birinin maraqlarını tanıması və böhranlı anlarda dialoq qurması üçün strukturlaşdırılmış platforma rolunu oynayır [7].

Lakin bu modelin reallaşması yolunda ciddi fundamental maneələr mövcuddur. Gürcüstanın Rusiya işğalı (Abxaziya və Cənubi Osetiya) səbəbindən formatda iştirakdan qəti imtina etməsi platformanın legitimliyini və "3+3" (faktiki olaraq 2+3) tamlığını sual altına qoyur [7], [1, s. 722]. Eyni zamanda, platforma daxilindəki üç böyük gücün — Rusiya, Türkiyə və İranın — nəqliyyat və enerji layihələri üzrə maraqlarının kəsişməməsi (məsələn, Rusiyanın və İranın Şimal-Cənub dəhlizinə, Türkiyənin isə Orta Dəhlizə üstünlük verməsi) "3+3" formatının effektivliyini məhdudlaşdırır [1, s. 723], [7]. 2026-cı ilin mürəkkəb geosiyasi reallıqları fonunda bu təşəbbüs hələ ki sabit bir regional nizamdan çox, tərəflərin regional rəqabəti idarə etmək üçün istifadə etdikləri simvolik diplomatiya aləti olaraq qalmaqdadır [7], [10].

Nəticə: Azərbaycanın balanslaşdırılmış xarici siyasətinin rolu

2026-cı ilin sonunda Azərbaycan Cənubi Qafqazda Türkiyə ilə strateji müttəfiqliyi regional təhlükəsizlik və dövlət suverenliyinin əsas zəmanəti kimi saxladığı halda, İranla praqmatik iqtisadi əlaqələri inkişaf etdirməklə gərginliyi idarə etməyə müvəffəq olmuşdur [3], [1, s. 731]. Şuşa Bəyannaməsi Bakıya hərbi qüdrət, NATO standartlarına uyğun modernləşmə və regional çəkindirmə qabiliyyəti qazandırdığı halda [5, s. 74], [9], "Araz dəhlizi" layihəsi Tehranı regional inteqrasiyadan təcrid olunmaq qorxusundan azad edən və iqtisadi asılılığı artıran strateji vasitəyə çevrilmişdir [8], [1, s. 729].

Ümumilikdə Cənubi Qafqazın gələcək inkişaf perspektivləri böyük ölçüdə İranın daxili siyasi trayektoriyasından və hakimiyyət keçidinin formasından asılıdır. Bu kontekstdə üç mümkün gələcək ssenari proqnozlaşdırıla bilər [10]:

1. ***Status-kvo:*** *Tehranın idarə olunan gərginlik siyasətini davam etdirməsi, regional rəqabətin asimmetrik formada qalması və Türkiyə-İran münasibətlərindəki "rəqabətli birgəyaşayış" modelinin qorunması* [10].
2. ***Xaos və çöküş:*** *İranın daxili parçalanması və mərkəzi hakimiyyətin sarsılması, bu isə "Cənubi Azərbaycan" faktorunu və etnik hərəkatları aktivləşdirə bilər ki, bu ssenaridə Türkiyə regionun tək dominant hərbi-siyasi gücünə çevrilmək imkanı əldə edə bilər* [10], [3].
3. ***Qərbə yönəlmə:*** *İranın pro-Qərb xarici siyasət kursuna keçməsi, bu halda regionda iqtisadi rəqabət artsa da, Azərbaycan üçün hərbi-təhlükəsizlik təhdidləri və "qırmızı xətlər" ritorikası minimuma enə bilər* [10].

Yekun olaraq onu dəmk olar ki, Bakı-Tehran-Ankara üçbucağındakı rəqabətin transformasiyası Cənubi Qafqazın yeni geosiyasi reallığının ayrılmaz hissəsidir [1, s. 721]. Azərbaycanın yürütdüyü çoxölçülü balanslaşdırma siyasəti və diplomatik manevr qabiliyyəti bu mürəkkəb regional mühitdə sabitliyin əsas təminatçısı olmağa davam etməkdədir [3].

Ədəbiyyat siyahısı

1. Aghazada, M. M. (2023). Azerbaijani-Iranian Relations After the Second Karabakh War: Features and Trends. Vestnik RUDN. International Relations, 23(4), 719-733.
2. Bakı Bəyannaməsi. (2022). Şimal-Cənub Nəqliyyat Dəhlizinin inkişafına dair Azərbaycan, Rusiya və İranın Birgə Bəyannaməsi.
3. Caspian-Alpine Society. (2026). Azerbaijan Between Türkiye, Iran, and Israel: Strategic Balance in a Changing Regional Environment. Editorial Report.
4. Caucasian Knot. (2026). Baku analysts assessed the consequences of the attack on Nakhchivan for relations with Iran. Special Investigation.
5. Çelik, M., & Aslanlı, K. (2024). Geopolitical Analysis of the Shusha Declaration: Constructing Theoretical Framework in the Regional Order Context. Bilig, Issue 111, 55-78.
6. Columbia Political Review. (2025). Drawing Lines in the Caucasus: Four Nations, One Corridor. U.S. Policy Studies.
7. Khar Center. (2025). "3+3" Initiative: The Architecture of Authoritarian Coordination and Anti-Western Geopolitical Alignment in the Caucasus. Research Analysis.
8. Mammadov, S. (2025). Araz Corridor: Azerbaijan and Iran build a new gateway between East and West. News.az Analysis.
9. Şuşa Bəyannaməsi. (2021). Azərbaycan Respublikası ilə Türkiyə Respublikası arasında müttəfiqlik münasibətləri haqqında Şuşa Bəyannaməsi. 15 iyun 2021.
10. Tashjian, Y. (2026). A three-scenario analysis of Iran's future and its impact on the South Caucasus. Armenian Weekly. May 14, 2026.
11. Türk Dünyası 2040 Vizyonu. (2021). Türk Dövlətləri Təşkilatının strateji inkişaf sənədi. İstanbul Sammiti.



BİZNESİN İDARƏEDİLMƏSİ

EFFICIENT ORGANIZATION OF BUSINESS

BEYNƏLXALQ MÜNASİBƏTLƏRİN TRANSFORMASİYASI ŞƏRAİTİNDƏ MİLLİ MARAQLARIN FORMALAŞMASININ PRİORİTET İSTİQAMƏTLƏRİ

İBRAHİM BƏDƏL OĞLU RZAYEV
İqtisad elmləri namizədi, Baş müəllim.
Bakı Mühəndislik Universiteti, İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi, Biznesin idarə edilməsi kafedrası.
irzayev1@beu.edu.az
Bakı ş, Azərbaycan

ANAR ƏLİ OĞLU RZAYEV
İqtisad üzrə fəlsəfə doktoru, Dosent.
Bakı Mühəndislik Universiteti, İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi, Biznesin idarə edilməsi kafedrası. arza@beu.edu.az
Bakı ş, Azərbaycan

Xülasə: Hazırkı məqalə dünyada gedən proseslər, xüsusilə də qloballaşmanın beynəlxalq münasibətlərin transformasiyası ilə müşayiət olunan yeni formada şəkillənməsi, proseslərin özünün getdikcə təkamülü şəraitində dövlətlərin milli maraqlarının fromalaşması və bu zaman ayrı-ayrı ölkələrin öz inkişaf prioritetlərinin müəyyən edilməsinə həsr edilmişdir. Məqalədə mövzunun giriş hissəsi, o cümlədən aktuallığı, tədqiqatın məqsədi və vəzifələri, əsas tədqiqat sualları, müəlliflər tətəfindən irəli sürülən hipotezlər, tədqiqatın metodologiyası öz əksini tapmışdır. Bundan başqa məqalədə, ədəbiyyat icmalına geniş yer verilmişdir. Ədəbiyyatın təhlili zamanı dünya şöhrətli alimlərin əsərləri diqqətdən keçirilmiş və onların məqalədə qaldırılan tematika ilə bağlı fikirləri və baxışları şərh edilmişdir. Məqalənin strukturuna gəldikdə isə, ilk öncə, dünya ictimaiyyətini düşündürən və beynəlxalq münasibətlərdə müşahidə olunan proseslərlə bağlı suallara cavabların axtarılmasına cəhd edilmişdir. Daha sonra milli maraqların mahiyyəti açıqlanmış, ölkələrin inkişaf səviyyəsindən asılı olaraq seçdikləri milli maraqların prioritetləri analiz edilmişdir. Məqalənin yekununda tədqiqat zamanı əldə olunmuş nəticələr öz əksini tapmışdır.

Açar sözlər: Beynəlxalq münasibətlər, transformasiya, milli maraqlar, qloballaşma, tərsinə qloballaşma, dünya iqtisadiyyatı, risklər, davamlı inkişaf.

GİRİŞ. Hala-hazırda qlobal əlaqələr sistemində dərin və çoxşaxəli dəyişikliklərin baş verməsini müşahidə edə bilirik. Bu dəyişikliklər prosesi demək olar ki, bütün dövlətlərin inkişaf strategiyasına və milli maraqların formalaşmasına əhəmiyyətli dərəcədə təsir etmişdir. Eyni zamanda, qlobal münasibətlərin öyrənilməsinə və qloballaşma prosesinin özünə qarşı formalaşan müxtəlif yanaşmalara diqqət yetirməyin əhəmiyyəti artmışdır.

Mövzunun aktuallığı. Bir qrup tədqiqatçılar hesab edir ki, qloballaşma proses olaraq başa çatmışdır və hazırda intensiv şəkildə "tərsinə" qloballaşma prosesi gedir. Digər qrup tədqiqatçılar isə əks fikir söyləyərək bildirirlər ki, bu proses hazırda davam edir, əksinə, bir qədər də intensivləşmişdir. Eyni zamanda, ilk baxışdan qeyd etdiyimiz bir-birinə ziddiyyət təşkil edən bu yanaşmaların ortaq mövqeyi prizamasından da fikir söyləyən mütəxəssislər var. Bütün bu proseslər, bizim fikrimizcə, beynəlxalq münasibətlərin transformasiyası ilə müşayiət olunur. Belə şəraitdə dünyanın bütün dövlətləri sosial-iqtisadi inkişaf səviyyəsindən, coğrafi mövqeyindən və s. kimi amillərdən asılı olmayaraq öz milli maraqlarının formalaşması, prioritet istiqamətlərin qorunması ilə daha aktiv şəkildə məşğul olmağa başlamışlar. Bütün bu sadalananların fonunda araşdırmaq istədiyimiz mövzunun aktuallığı qabarıq şəkildə gündəmə gəlmişdir.

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri. Hazırda üzərində işlədiyimiz tədqiqat işinin əsas məqsədi qlobal münasibətlərdəki müasir dəyişikliklər şəraitində milli maraqların formalaşması və bu maraqların qorunması xüsusiyyətlərini təhlil etmək, ölkələrin ümumi şəkildə bu prosesdə iştirakı və yanaşmalarını xarakterizə etməkdir.

Bu məqsədi həyata keçirmək üçün qarşıya qoyulan vəzifələr aşağıdakılardır:

- Beynəlxalq münasibətlərin transformasiyası şəraitininin mahiyyətini araşdırmaq.
- Milli maraqlar anlayışını bir kateqoriya kimi diqqətdən keçirmək.
- Ölkələrin inkişaf səviyyəsindən asılı olaraq milli maraqlarının formalaşması meyarlarını öyrənmək.

Əsas tədqiqat sualları. Tədqiqat zamanı aşağıdakı suallara cavab axtarılmışdır:

- Dünyada baş verən proseslərin beynəlxalq münasibətlərin transformasiyası ilə bağlılığı varmı?
- Milli maraqların mahiyyəti nədir və necə formalaşır?
- Dünyada gedən qlobal proseslər milli maraqların formaaşmasına necə təsir edir?
- Ölkələrin milli maraqlarının formalaşması və maraqların qorunmasının xüsusiyyətləri nədən ibarətdir?

İrəli sürülən hipotezlər. Tədqiqatın əsas hipotezi ondan ibarətdir ki:
A). Coğrafi mövqeyindən, inkişaf səviyyəsindən və qlobal proseslərdə iştirakı statusundan asılı olmayaraq bütün dövlətlər milli maraqlarının formalaşması istiqamətində müəyyən strategiyalara malikdir.
B). Beynəlxlaq münasibətlərin transformasiyası şəraitində milli maraqların müəyyənləşdirilməsi və ortaya qoyulması, onun qorunması ayrı-ayrı ölkələrin statusundan və qlobal sistemdə tutduğu mövqeyindən asılı olaraq fərqlənir.
C). Bu fərqlər isə onların inkişafına və iqtisadi-sosial dayanıqlığına birbaşa təsir göstərir.
Metodologiya. Araşdırma zamanı müəllif tərəfindən müxtəlif ümummətiqi tədqiqat metodlarından, xüsusilə də elmi idrakın müqayisəli təhlil, analitik təhlil, habelə, idraki və praktik əhəmiyyətə malik olan nəzəri tədqiqat metodlarından – analogiya, induksiya və deduksiya kimi, ümumi metodlardan – struktur-funksional, xüsusi metodlardan – sənədlərin öyrənilməsi və kontent-analiz metodlarından istifadə edilmişdir.
Ədəbiyyat icmalı. Beynəlxalq münasibətlər sistemində dövlətlərin davranışını elmi əsaslarla ortaya qoyan, klassik realist yanaşmanın əsas nümayəndələrindən olan və bir vaxtlar ABŞ prezidentinin milli təhlükəsizlik məsələləri üzrə müşaviri vəzifəsində çalışmış Henri Kissincer hesab edir ki, beynəlxalq sistemdə baş verən transformasiyalara baxmayaraq dövlətlərin əsas prioritet verdiyi məsələ milli maraqların müəyyən edilməsi və bu maraqların qorunması olaraq qalır (Генри Киссинджер, 2015).
ABŞ prezidentinin milli təhlükəsizlik məsələləri üzrə digər bir müçaviri (1977-1981-ci illər arası), Polşa əsilli amerikalı siyasi analitik və dövlət xadimi Zbiqnev Blezinski (İng.: Zbignev Brzezinski) qeosiyasət, qlobal güc balansı və milli maraqların formalaşması məsələlərində önəmli yanaşmalar irəli sürmüşdür. O, beynəlxalq münasibətlər sistemini qlobal rəqabət müstəvisi kimi qiymətləndirərək milli maraqların formalaşmasında coğrafi və strateji amillərin həlledici rol oynadığını vurğulayır (Збигнев Бжезинский, 2019).
Bü gün beynəlxalq münasibətlərin transformasiyası ayrı-ayrı mütəxəssislər tərəfindən fərqli baxış bucağından xarakterizə olunur. Türk əsilli Amerika alimi, Harvard Universitetinin professoru – iqtisadçı alim Dani Rodrik öz əsərlərində qloballaşma prosesinin ziddiyətli xarakterini vurğulayır (Rodrik D., 2011). Digər bir Amerikalı alim, Nobel mükafatı laureatı Cozef Stiqlisin (İng. Joseph Stiglitz) mövqeyinə görə qloballaşma prosesinin intensivliyi artmışdır və onun sosial-iqtisadi nəticələri daha da qabarıq görünür. Britaniyalı politoloq və demokratiya nəzəriyyəçisi, qloballaşma və qlobal idarəetmə sahəsində ixtisaslaşmış Devid Hell (İng. David Hell: 1951-2019) və digərilərinin fikrincə qloballaşma prosesi əvəllər olduğu kimi davam edir, sadəcə dünyada baş verən bütün hadisə və proseslər kimi yeni forma almışdır (Held D., McGrew A., 2007).
Türkiyəli tədqiqatçılar, o cümlədən bu ölkənin keçmiş baş naziri və Türkiyə xarici siyasət konsepsiyasının formalaşmasında mühüm rola malik Əhməd Davutoğlu tərəfindən irəli sürülmüş "strateji dərinlik" konsepsiyasına görə, dövlətlərin beynəlxalq sistemdə mövqeyi yalnız hərbi və iqtisadi güclə deyil, həm də tarixi və coğrafi amillərlə müəyyən olunur. Müəllifin fikrincə, beynəlxalq münasibətlər sistemində baş verən transformasiya prosesləri dövlətlərə öz geosiyasi və mədəni potensiallarını yenidən qiymətləndirmək imkanı yaradır. Bu isə milli maraqların formalaşmasına yeni məzmun və istiqamət verir (Davutoğlu A., 2001).
Dövlət idarəçiliyi və siyasi elmlər üzrə ixtisaslaşmış Murat Ercan milli maraqların formalaşmasını əsasən dövlətin geosiyasi mövqeyi və regional prioritetləri ilə əlaqələndirirlər. Bu yanaşmaya görə, beynəlxalq münasibətlərdə baş verən transformasiyalara baxmayaraq, dövlətlər öz strateji mövqelərinə uyğun şəkildə xarici siyasət kurslarını müəyyənləşdirirlər (Murat Ercan və b., 2018).

MƏQALƏNİN STRUKTURU:

1. BEYNƏLXALQ MÜNASİBƏTLƏRİN TRANSFORMASİYASI

Hazırda mütəxəssiləri belə bir sual düşündürür: - Beynəlxalq münasibətlər sabit olaraq qalır, yoxsa hansısas ciddi dəyişikliklərə və öncədən proqnozlaşdırılması, az qala mümkün olmayan transformasiyalara məruz qalır?
İlk öncə qeyd edək ki, beynəlxalq münasibətlərin transformasiyası anlayışını beynəlxalq hüququn subyektləri arasındakı qarşılıqlı əlaqələrin klassik, yəni "soyuq" müharibə sonrası obyektiv reallıqlar nəticəsində təşəkkül tapan liberal qlobal əlaqələr modelindən get-gedə uzaqlaşaraq yeni, çoxmərkəzli və strateji iqtisadi və siyasi prioritetlər konsepsiyasına əsaslanan modelə keçməsi cəhdi kimi başa düşə bilərik. Dünyada gedən prosesləri bu prizmadan dəyərləndirməyə çalışsaq deyə bilərik ki, beynəlxalq münasibətlərin transformasiyası son dövrlər daha çox hərbi və siyasi güc imkanlarını və bu imkanlar

sayəsində formalaşan balansı göstərməyə başlamışdır. Amma dünyada baş verənlər yalnızca bu proseslərlə əhatə olunmur, eyni zamanda qloballaşma prosesi ilə də xarakterizə olunur. Amma qloballaşma prosesi dünya iqtisadiyyatının liberallaşmasına şərait yaratsa da, ayrı-ayrı ölkələrin iqtisadiyyatının sürətlə inkişafında və birləşməsində mühüm rol oynasada, beynəlxalq münasibətlərdəki strateji dəyişiklikləri tam əhatə etmir. Bizim fikrimizcə, bu iki proses paralel gedir, bir-birinə mane olmur, lakin biri digərinin nəticəsi deyil. Onlar sadəcə çox önəmli qarşılıqlı təsirə malikdirlər, dünyada baş verən iqtisadi inteqrasiya ilə yanaşı, siyasi, hərbi, enerji və texnoloji kontekst daxilində də yeni qaydalar sisteminin formalaşmasında əsas qüvvələrdirlər.

Nəticə etibarilə son dövrlər dünyada baş verən hadisə və prosesləri izləyərək və beynəlxalq münasibətlərin transformasiyasının əsas göstəricilərini incələyərək deyə bilərik ki, son dövrlər ABŞ və Avropa dominantlığının zəifləməsi ilə yanaşı Çin, Hindistan, Rusiya kimi yeni güclərin yüksəlişi baş verir. Ticarət əlaqələri və kapitalın hərəkəti təhlükəsizlik və strateji prioritetlərə uyğun olaraq müəyyənləşdirilir. Texnologiyaların alqı-satqısı, ötürülməsi ticarət maraqlarından kənarlaşaraq milli maraqların qorunması prizmasından idarə olunur. Bütün bunların məntiqi davamı olaraq hələ 2-ci dünya müharibəsindən dərhal sonra intensiv şəkildə baş verən ittifaqlaşma və institusional bloklaşma prosesi, zənnimizcə, bir daha aktuallaşacaq və güclənəcəkdir.

2 MİLLİ MARAQLAR

İlk öncə "milli maraqlar" anlayışının mahiyyətinə aydınləq gətirməyə çalışaq. Böyük Rusiya alimləri N. P. Qusakov və N. A. Zotova Rusiyanın milli maraqları və xarici iqtisadi təhlükəsizliyini dərindən araşdıraraq 1998-ci ildə özlərinin nəşr etdirdikləri monoqrafiyada bu məsələyə geniş yer vermişlər (Qusakov N., Zotova N., 1998). Bu görkəmli elm adamlarının fikrini ümumiləşdirsək, deyə bilərik ki, milli maraqlar anlayışı dövlətlərin daxili və xarici siyasətinin əsasını təşkil edən konseptual kateqoriyadır. Milli maraqlar ölkələrin strateji məqsədlərini, siyasi, iqtisadi və sosial prioritetlərini, milli təhlükəsizlik və o cümlədən onun xarici iqtisadi hissəsinin strategiyasını müəyyən edir.

Qloballaşma, ölkələrarası inteqrasiya prosesi və beynəlxalq münasibətlərin transformasiyası milli maraqların strukturuna müəyyən "korrektələr" edərək yeni elementlər daxil etmiş, onları daha mürəkkəb və çoxşaxəli etmişdir. Az öncə qeyd edilənlərdən də göründüyü kimi, müasir beynəlxalq münasibətlər şəraitində milli maraqların formalaşması yalnız siyasi və diplomatik amillərlə məhdudlaşmır, həm də iqtisadi və sosial aspektləri də əhatə edir. Əksər mütəxəssislərin fikrincə milli maraqların formalaşmasında bir neçə əsas komponent fərqləndirilir. O cümlədən:

- Regional və qlobal proseslərə təsir etmək imkanı, beynəlxalq nüfuzun qorunması kimi komponentləri əhatə edən siyasi naraqlar.
- Müsbət tədiyyə balansına nail olmaq, milli iqtisadiyyatın dayanıqlığını təmin etmək, əlverişli investisiya mühitini yaratmaq və qoruyub saxlamaq, milli sərvətlərə, o cümlədən iqtisadi resursların qorunması, etibarlı təchizat mənbələrinin təmin edilməsi kimi komponentləri birləşdirən iqtisadi maraqlar.
- Milli təhlükəsizliyin bütün aspektləri, strateji sektorların qorunmasını tərənnüm edən təhlükəsizlik maraqları.
- Milli və mədəni dəyərlərin qorunması və inkişaf etdirilməsi, əhalinin həyat səviyyəsi, insanların keyfiyyətli yaşaması kimi amilləri xarakterizə edən sosial və mədəni (humanitar) maraqlar.

Nəticə etibarı ilə milli maraqların düzgün müəyyən edilməsi və formalaşması, maraqlara olan təhdidlərin tanınması və vaxtında aşkar edilərək dəf edilməsi dövlətin milli təhlükəsizliyinin təmin olunması və davamlı inkişafının təməl şərtlərindən biri kimi çıxış edir.

Az öncə haqqında söz saldığımız Amerikalı müəllif Henri Kissincer "realizm" kimi bilinən beynəlxalq münasibətlər nəzəriyyəsinə əsaslanaraq milli maraqlar anlayışı barədə çox təsirli fikirlər söyləmişdir. Kissincerin elm ictimaiyyətinə yaxşı məlum olan, o cümlədən ölkəmizdə də nəşr edilən (Yaşar Əsədovun tərcüməsi ilə) "Diplomatiya" adlı əsərindəki ümumiləşmiş yanaşmalarına görə:

- Dövlətlərin əsas məqsədi öz milli maraqlarını qorumaqdır.
- Bu maraqlar əsasən təhlükəsizlik, güc və sabitlik üzərində qurulur.
- Xarici siyasətdə emosiyalar və ideologiyalardan çox, real güc balansı və praktik nəticələr önəm daşıyır.

Onun fikrini sadə ifadələrlə tələffüz etməyə çalışsaq, belə qənaətə gələ bilərik ki, dövlətlər dostluğa görə deyil, maraqlara görə hərəkət edir (Henri Kissincer, Diplomatiya, 2015).

3. NƏTİCƏ VƏ MÜZAKİRƏ SUALLARI.

Yekunda qeyd edə bilərik ki, milli maraqların formalaşması, sistemləşdirilməsi və effektiv strategiyalar təkcə daxili siyasətlə deyil, həmçinin qlobal əməkdaşlıq, müqayisəli üstünlüklərin analizi, üfiqi və şaquli proqnozlaşdırma mexanizmləri ilə təmin edilir. Bu baxımdan inamla söyləyə bilərik ki, müasir dövrdə beynəlxalq münasibətlərin transformasiyası şəraitində milli maraqların formalaşması və təhlükəsizlik məsələləri hər bir dövlət siyasətinin strateji prioritetinə çevrilməlidir.

Yuxarıda qismən də olsa bildirdik ki, dövlətlər inkişaf səviyyəsindən asılı olaraq milli maraqlarının formalaşması və qorunması, habelə milli təhlükəsizlik strategiyalarını fərqli yanaşmalarla həyata keçirmək məcburiyyətindədirlər. İnkişaf etmiş ölkələr, məsələn, iqtisadi sferada milli maraqları qlobal əməkdaşlıq və regional inteqrasiya ilə balanslaşdıraraq maliyyə və investisiya sabitliyini, yeni texnologiyalar və rəqəmsal iqtisadiyyatı prioritet sahələr kimi müəyyən edə bilirlər. Bizim ölkəmiz kimi oxşar tarixi keçmişə malik olan və hazırda müstəqil, lakin statusuna görə inkişaf etməkdə olan bir çox ölkələr, hətta Braziliya və Hindistan kimi dövlətlər iqtisadi sferada milli maraqları daha çox daxili resursların qorunması, ölkə sənayesinin inkişafı və qismən də regional təsirin artırılması üzərində qurur. Zəifinkişaf etmiş və "yarımüstəmləkə" həyatı yaşayan ölkələr isə əsasən əhalinin ərzaq və içməli su ilə təminatı, ilkin tibbi yardımın göstərilməsi imkanlarının olması, minimal sosial təminat, vətəndaşların bazis təhsil ala bilməsi və s. kimi həyati vacib məsələləri göz önünə alaraq milli maraqlarını əhatələndirirlər və milli təhlükəsizlik "strategiyalarını" müəyyənləşdirilər. Paralel olaraq söyləyə bilərik ki, bu fərqlər ölkələrin təkcə inkişaf səviyyəsi ilə deyil, eyni zamanda beynəlxalq mövqeyi və özlərinin tərtib etdiyi strateji prioritetləri ilə də müşahidə olunur.

Ədəbiyyat siyahısı.

1. (Rus). Киссинджер Генри. Мировой порядок / Генри Киссинджер: (пер. с анг. В. Желнинова, А. Милюкова). – Москва. Издательство АСТ. 2016. – 512 с. – (Политика). (Eng.: Henri Kissinger/ WORLD ORDER).
2. Бжезинский, Збигнев. Великая шахматная доска / Збигнев Бжезинский; (Пер. с анг. О. Уральской). – Москва, Издательство АСТ, 2019. – 384 с. – (Эксклюзивная классика).
3. Rodrik D. *The Globalization Paradox: Democracy and the Future of the World Economy*. — New York: W.W. Norton & Company, 2011.
4. Held D., McGrew A. *Globalization/Anti-Globalization*. — Cambridge: Polity Press, 2007.
5. Davutoglu A. *Stratejik Derinlik: Türkiye'nin Uluslararası Konumu*. — İstanbul: Küre Yayınları, 2001. – 534 s.
6. Murat Ercan və b. 21. YÜZYILDA KÜRESEL VE BÖLGESEL AKTÖRLER BAĞLAMINDA Türk Dış Politikası. EFEAKADEMİ Yayınları, - Yıldız Teknik Universitesi, Davutpaşa Kampüsü, Davutpaşa-Esenler / İSTANBUL. Mayıs, 2018. – 640 səh. / Editör: Murat Ercan.
7. Н. П. Гусаков, Н. А. Зотова. Национальные интересы и внешнеэкономическая безопасность России. / Научно-популярное издание. – Москва. Компания «Евразийский регион». 1998 г., - 270 стр.
8. Henry Kissinger. DİPLOMACY / Henri Kissincer. Diplomatiya. Bakı, Qanun nəşriyyatı. 2015-ci il, 784 s. / Kitab Dos. Adil Vəliyevin ümumi rəhbərliyi altında Yaşar Əsədov tərəfindən tərcümə edilmişdir.

PRIORITY DIRECTIONS OF FORMATION OF NATIONAL INTERESTS IN THE CONDITIONS OF TRANSFORMATION OF INTERNATIONAL RELATIONS

IBRAHIM B. RZAYEV
Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer. Baku Engineering University, Faculty of Economics and Management, Department of Business Management.
irzayev1@beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

ANAR A. RZA
Doctor of Philosophy in Economics, Associate Professor. Baku Engineering University, Faculty of Economics and Management, Department of Business Management.
arza@beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract: The present article is devoted to the processes taking place in the world, especially the transformation of international relations in a new form, the formation of national interests of states in the conditions of the gradual evolution of the processes themselves, and the determination of their development priorities of individual countries at this time. The article reflects the introductory part of the topic, including its relevance, the purpose and objectives of the study, the main research questions, the hypotheses put forward by the authors, and the methodology of the study. In addition, the article devotes extensive space to the literature review. During the analysis of the literature, the works of world-famous scientists were considered and their ideas and views on the topic raised in the article were commented on. As for the structure of the article, first of all, an attempt was made to find answers to questions that concern the world community and are related to the processes observed in international relations. Then, the essence of national interests was explained, and the priorities of national interests chosen by countries depending on their level of development were analyzed. The results obtained during the study were reflected in the conclusion of the article.
Keywords: International relations, transformation, national interests, globalization, reverse globalization, world economy, risks, sustainable development.

SƏHİYYƏ MÜƏSSİSƏLƏRİNDƏ PERSONALIN İDARƏ EDİLMƏSİNDƏ ETİK DAVRANIŞ VƏ SOSİAL MƏSULİYYƏT

Azad Orucov
Bakı Mühəndislik Universiteti/ İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi/ Azərbaycan
e-mail: azadorujov03@gmail.com
BAKI, |AZƏRBAYCAN

Xülasə: Səhiyyə müəssisələri cəmiyyətin sosial rifahının təmin edilməsində mühüm rol oynayan strukturlardan biridir. Bu müəssisələrin effektiv fəaliyyəti yalnız maddi-texniki baza ilə deyil, eyni zamanda personalın düzgün idarə olunması ilə də bağlıdır. Müasir dövrdə səhiyyədə insan resurslarının idarə edilməsi prosesi etik davranış və sosial məsuliyyətlə sıx bağlıdır. Bu amil təşkilatın ümumi fəaliyyətinə birbaşa təsir göstərir. Bu baxımdan idarəetmə prosesində etik normaların qurulması və sosial məsuliyyətin təmin olunması çox vacibdir. Sosial məsuliyyət isə həm müəssisənin işçilərinə qarşı öhdəliklərini, həm də səhiyyə işçilərinin cəmiyyət qarşısında daşıdığı məsuliyyəti əhatə edərək ümumi sistemin davamlı və səmərəli fəaliyyətini təmin edən əsas amillərdən biridir. Beləliklə, səhiyyə sahəsində düzgün idarəetmə və məsuliyyətli yanaşma həm işin keyfiyyətini artırır, həm də cəmiyyətin bu sistemə olan etimadını gücləndirir.
Açar sözlər: **səhiyyə, tibbi etika, səhiyyə menecmenti, sosial məsuliyyət**

ETHİCAL BEHAVİOR AND SOCİAL RESPONSİBİLİTY İN HEALTHCARE PERSONNEL MANAGEMENT

Azad Orujov
Baku Engineering University/ Faculty of Eeconomics and Administrative Sciences/ Azerbaijan
email: azadorujov03@gmail.com
BAKU, |AZERBAİJAN

Abstract: Healthcare institutions are one of the structures that play an important role in ensuring the social well-being of society. The effective operations of this enterprise are not only related to the material and technical base, but also to the proper management of personnel. In modern era, the process of human resource management in healthcare is closely linked to ethical behavior and social responsibility. This factor directly affects the overall performance of the organization. In this context, setting ethical guidelines and maintaining social responsibility are essential within the management process. Social responsibility is a fundamental factor in the sustainable and effective operation of the system, as it covers both the organization's duties to its staff and the societal responsibilities of healthcare professionals. Thus, proper management and a responsible approach in healthcare both enhance the quality of work and support public trust in the system.

Key words: healthcare, medical ethics, healthcare management, social responsibility

Aktuallıq. Personalın idarə edilməsində etik davranış və sosial məsuliyyət günümüzün ən önəmli sahələrindən biridir. Əmək münasibətlərinin formalaşmasındakı təkamül prosesi günümüzdə personalın idarə olunmasında bizdən xüsusi yanaşma tələb edir. Tarixi aspektdən bu məsələyə yanaşsaq, xüsusilə böyük sənaye inqilabından sonra əmək münasibətlərinin subyektləri işçi və işəgötürənlərdən ibarət idi. O dövrdən günümüzə qədər transformasiya nəticəsində xeyli dəyişikliklər baş vermiş, artıq işçiyə bir sosial varlıq kimi yanaşılır, nəticədə əmək münasibətləri hüquqi və institusional yanaşma ilə yanaşı kulturoloji aspektdən də dəyərləndirilir. Təbii ki, belə şəraitdə işçilərin də üzərinə böyük məsuliyyət düşür. İşçilərdən indiyə qədər müəyyənləşdirilmiş etik davranış qaydalarına riayət etməsi, işəgötürənlərdən isə müəyyən sosial məsuliyyət prinsiplərinə əməl etməsi tələb olunur. Bu məsələ xüsusilə səhiyyə müəssisələrində qabarıq şəkildə ortaya çıxır və qeyd edilənlər tədqiqat apardığımız mövzunun aktuallığını bir qədər də artırır.

Məqsəd. Tədqiqatımızın əsas məqsədi səhiyyə müəssisələrində personalın idarə edilməsi zamanı etik davranış və sosial məsuliyyət prinsiplərini araşdırmaqdır. Bunun üçün aşağıdakı vəzifələri qarşıya qoymuşuq:

1. Personalın idarə edilməsində etik davranış qaydalarının əhəmiyyəti
2. Səhiyyə müəssisələrində personalın idarə edilməsinin spesifikliyini müəyyən etmək.
3. Etik davranış qaydalarına riayət etmənin sosial məsuliyyətlə vəhdətini tədqiq etmək.

Hipotezlər. Tədqiqat nəticəsində aşağıdakı hipotezləri irəli sürə bilərik:

1. Personalın etik davranış qaydalarına riayət etməsi müəssisənin sosial məsuliyyət prinsipləri ilə birbaşa əlaqədardır.
2. Səhiyyə müəssisələrində personalın idarə edilməsi xüsusi yanaşma tələb edir.

Ədəbiyyat icmalı. Tədqiq etmək istədiyimiz mövzu ilə bağlı bir neçə mütəxəssisin əsərləri diqqətimizi cəlb etmişdir. Onlardan Ədilə Namazova və Qoşqar Əliyevin "Təbabət etikası" əsərində qismən də olsa səhiyyə işçilərinin etik davranış məcəlləsini xarakterizə etmişdir (Namazova Ə., Əliyev Q., 2004).

Ramil Quliyev "Korporativ sosial məsuliyyət" əsərində təşkilatlarda korporativ sosial məsuliyyətin prinsiplərini kompleks şəkildə tədqiq etmişdir. Buradan belə qənaətə gəlmək olar ki, təşkilatın öz üzərinə götürdüyü sosial məsuliyyət və bu məsuliyyətdən irəli gələn addımlar iqtisadiyyatın bütün sahələrində, o cümlədən xidmət və funksional sahələrdə əhəmiyyəti böyükdür (Quliyev R., 2017).

Araşdırdığımız mövzu ilə əlaqədar Ələkbərov M.M, Mehdiyeva A.F. "Səhiyyədə insan resurslarının idarəolunması" əsəri xüsusilə diqqətimizi cəlb etmiş, müəlliflər xüsusi olaraq vurğulamışdır ki, əsərdə səhiyyə sistemində insan resurslarının idarə olunması xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsinə əsas amillərdən biri kimi çıxış edir (Ələkbərov M.M, Mehdiyeva A.F., 2023).

Metod. Məqalədə elmi idrakın ümummənтiqi metodlarından, o cümlədən emprik tədqiqat metodlarından, həmçinin nəzəri tədqiqat və müqayisəli analiz metodlarından istifadə edilmişdir.

Səhiyyə müəssisələrində personalın idarə edilməsi. Səhiyyə müəssisələrində personalın idarə edilməsi ümumi idarəetmə sisteminin ən mühüm komponentlərindən biri hesab olunur. Bu sahədə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, tibbi xidmətlərin keyfiyyəti birbaşa olaraq insan resurslarının düzgün planlaşdırılması və effektiv idarə olunması ilə bağlıdır. Məhz bu səbəbdən səhiyyə sistemində kadr

siyasətinin formalaşdırılması, işçi heyətin seçilməsi, yerləşdirilməsi və inkişafı kompleks yanaşma tələb edir. Ələkbərov M.M. və Mehdiyeva A.F.-nin qeyd etdiyi kimi səhiyyədə insan resurslarının idarə olunması yalnız inzibati funksiya deyil, eyni zamanda sosial və etik məsuliyyət daşıyan strateji fəaliyyət sahəsidir. Səhiyyə müəssisələrində personalın idarə edilməsinin əsas məqsədi mövcud insan resurslarından səmərəli istifadə etməklə əhaliyə göstərilən tibbi xidmətlərin keyfiyyətini yüksəltməkdən ibarətdir. Bu proses kadr ehtiyacının müəyyənləşdirilməsindən başlayaraq işçilərin peşəkar inkişafının təmin olunmasına qədər geniş bir aspekti əhatə edir. Müəlliflərin yanaşmasına əsasən düzgün seçilmiş və yerləşdirilmiş kadr potensialı müəssisənin dayanıqlı fəaliyyətinin təmin olunmasına həll edici rol oynayır. Bu baxımdan işçilərin bilik və bacarıqlarının qiymətləndirilməsi, onların ixtisas səviyyəsinə uyğun vəzifələrə təyin olunması mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Eyni zamanda səhiyyə müəssisələrində personalın idarə olunması yalnız təşkilati məsələlərlə məhdudlaşmır. Bu sahədə etik normaların qorunması, işçi münasibətlərinin düzgün qurulması və sosial məsuliyyət prinsiplərinə əməl olunmasında xüsusi yer tutur. Tibbi fəaliyyətin spesifik xüsusiyyətləri nəzərə alınaraq həkim və digər tibb işçilərinin davranışı yalnız peşə standartları ilə deyil, həm də etik prinsiplərlə tənzimlənir. Bu isə öz növbəsində rəhbərliyin personal üzərində nəzarət mexanizmlərini balanslı şəkildə qurmasını tələb edir. Personalın idarə olunmasında mühüm rol oynayan mexanizmlərdən biri də motivasiyadır. Müəlliflər qeyd edirlər ki, motivasiya sistemi düzgün qurulduqda işçilərin məhsuldarlığı artır, kollektiv daxilində sağlam psixoloji mühit formalaşır və bu da nəticə etibarilə tibbi xidmətlərin keyfiyyətinə müsbət təsir göstərir. Bu baxımdan əməkhaqqı sistemi, mükafatlandırma, karyera inkişafı imkanları və iş şəraiti kimi amillər kompleks şəkildə nəzərə alınmalıdır. Səhiyyə müəssisələrində personalın idarə olunmasının digər mühüm istiqaməti isə davamlı təhsil və peşəkar inkişafın təmin edilməsidir. Tibb sahəsi daim yenilənən və inkişaf edən sahə olduğundan işçilərin bilik və bacarıqlarının mütəmadi olaraq artırılması zəruridir. Bu məqsədlə müxtəlif təlim proqramlarının təşkili, ixtisasartırma kursları və seminarlar həyata keçirilir. Bundan əlavə səhiyyə müəssisələrində idarəetmə prosesində kommunikasiya mühüm rol oynayır. Rəhbərlik və işçi heyəti arasında açıq və səmərəli ünsiyyətin qurulması problemlərin vaxtında aşkarlanmasına və kollektiv daxilində qarşılıqlı etimadın formalaşmasına şərait yaradır. Effektiv kommunikasiya etik davranış normalarının tətbiqini asanlaşdırır, eyni zamanda sosial məsuliyyət prinsiplərinin daha dolğun şəkildə həyata keçirilməsinə kömək edir.

Səhiyyə işçilərinin etik davranışı. Səhiyyə işçilərinin etik davranışı müasir tibbi fəaliyyətin əsas istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir və bu sahədə nəzəri yanaşmalar müxtəlif müəlliflər tərəfindən geniş şəkildə tədqiq olunmuşdur. Ə. Namazova və Q. Əliyev "Təbabət etikası" əsərində tibbi etikanın əsas məqsədi həkimlərin peşə fəaliyyətində humanist dəyərlərə əsaslanaraq qərar qəbul etməsi kimi izah olunur. Müəlliflər qeyd edirlər ki, həkim yalnız xəstəliyin müalicəsinə deyil, eyni zamanda pasiyentin psixoloji və sosial vəziyyətinə də məsuliyyət daşıyır ki, bu da tibbi fəaliyyətin humanist mahiyyətini daha da gücləndirir. Bu yanaşma səhiyyə sistemində etibarlı münasibətlərin formalaşmasında etik davranışın rolunu ön plana çıxarır və həkim-pasiyent münasibətlərinin düzgün qurulmasının vacibliyini vurğulayır. Digər tərəfdən Bəndəliyeva A.A.-nın "Bioetika və şərq təbabətində əxlaqi etik dəyərlərin öyrənilməsi" əsərində tibbi etika daha geniş mədəni-fəlsəfi kontekstdə təhlil edilir. Burada qeyd olunur ki, Şərq təbabətində etik dəyərlər yalnız peşə davranışı ilə məhdudlaşmır, həm də insan həyatına hörmət, ədalətlilik və zərər verməmək kimi universal prinsiplərlə sıx bağlıdır. Bu yanaşma etik normaların tarixi köklərə malik olduğunu və müxtəlif mədəniyyətlərdə fərqli formalarda təzahür etsə də, mahiyyət etibarilə oxşar olduğunu göstərir.

Namazova Ə.A., Hüseynova Z.H. və Tağı-zadə T.Q.-nin "Təbabətin etik prinsipləri" adlı metodik vəsaitində isə tibbi etikanın daha çox praktiki tətbiq aspektləri ön plana çəkilir. Ümumiyyətlə, tibbi etikanın əsas məqsədi səhiyyə işçilərinin fəaliyyətini humanist dəyərlər üzərində qurmaq, pasiyent hüquq və ləyaqətini qorumaq və tibbi yardım prosesində ədalətli və məsuliyyətli yanaşmanı təmin etməkdən ibarətdir. Eyni zamanda adını qeyd etdiyimiz bu mənbədə tibbi etikanın əsas prinsipləri sistemli şəkildə izah olunur. Peşəkarlıq prinsipi həkimlərin öz fəaliyyətini elmi əsaslara uyğun və məsuliyyətli şəkildə həyata keçirməsini tələb edir. Məxfilik prinsipi pasiyent məlumatlarının qorunması və onların şəxsi həyatına hörmət edilməsini nəzərdə tutur. Məsuliyyət prinsipi isə tibb işçilərinin öz qərar və hərəkətlərinin nəticələrinə cavabdeh olmasını təmin edir. Bunlardan əlavə pasiyentə hörmət prinsipi onun seçim hüququnun tanınması, məlumatlandırılması və müalicə prosesində iştirakının təmin edilməsi ilə bağlıdır. Bu prinsiplərin hamısı birlikdə səhiyyə sistemində etik davranış mədəniyyətinin formalaşmasına xidmət edir və tibbi xidmətin keyfiyyətini yüksəldən əsas amillərdən biri kimi qiymətləndirilir.

Səhiyyə müəssisəsinin səhiyyə işçilərinə qarşı etik davranışı. Səhiyyə müəssisələrində etik münasibətlərin yalnız pasiyentlərə deyil, həm də səhiyyə işçilərinə qarşı düzgün qurulması müasir idarəetmənin mühüm istiqamətlərindən biridir. Müasir yanaşmalara görə etik mühit yalnız həkim-pasiyent münasibətləri ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda təşkilat daxilində işçilərin hüquqlarının qorunması, onlara qarşı ədalətli münasibətin göstərilməsi və peşəkar inkişaf imkanlarının təmin edilməsi ilə də sıx bağlıdır. Yuxarıda adını qeyd etdiyimiz "Təbabətin etik prinsipləri" ədəbiyyatında qeyd olunduğu kimi səhiyyə sistemində etik davranış qarşılıqlı məsuliyyət prinsipinə əsaslanmalı, həm rəhbərlik, həm də tibb personalı arasında hörmət və etimad mühiti formalaşdırılmalıdır. Səhiyyə müəssisəsinin işçilərə qarşı etik davranışı ilk növbədə ədalətlilik prinsipinə əsaslanmalıdır. Bu prinsip işçilərin vəzifəyə qəbulunda, iş bölgüsündə, qiymətləndirilməsində və karyera inkişafında bərabər imkanların təmin olunmasını nəzərdə tutur. Digər tərəfdən səhiyyə işçilərinə qarşı etik münasibət onların sosial və peşəkar inkişafının dəstəklənməsini də əhatə edir. İşçilərin ixtisasartırma proqramlarına cəlb olunması, təlim və seminarların təşkili eləcə də onların qərarvermə proseslərində iştirakına şərait yaradılması etik idarəetmənin mühüm göstəricilərindəndir. Müqayisəli analiz göstərir ki, səhiyyə müəssisələrində etik davranışın iki istiqaməti-pasiyentlərə və işçilərə münasibət bir-birini tamamlayan sistem kimi çıxış edir. əgər işçilərə qarşı ədalətli və hörmətli münasibət təmin olunarsa, bu, birbaşa olaraq pasiyentlərə göstərilən xidmətin keyfiyyətinə də müsbət təsir göstərir. Nəzəri təhlil baxımından isə aydın olur ki, etik idarəetmə yalnız normativ sənədlərlə deyil, həm də təşkilati mədəniyyət və dəyərlər sistemi ilə formalaşır. Bu səbəbdən səhiyyə müəssisələrində etik mühitin yaradılması kompleks yanaşma tələb edir və həm rəhbərlik, həm də əməkdaşlar tərəfindən birgə məsuliyyət kimi qəbul olunmalıdır.

Səhiyyə müəssisəsinin işçiyə qarşı sosial məsuliyyəti. Səhiyyə müəssisələrinin fəaliyyətində sosial məsuliyyət anlayışı yalnız cəmiyyətə və pasiyentlərə yönəlmiş fəaliyyətlərlə məhdudlaşmır, eyni zamanda işçi heyətinə qarşı münasibətdə də özünü göstərir. Müasir səhiyyə menecmenti yanaşmalarına əsasən təşkilatın uğurlu fəaliyyəti onun insan resurslarına göstərdiyi diqqət və qayğı ilə birbaşa bağlıdır. Bu baxımdan işçilərə qarşı sosial məsuliyyət əmək şəraitinin yaxşılaşdırılması, sosial təminatların gücləndirilməsi, peşəkar imkanlarının yaradılması və psixoloji rifahın qorunması kimi mühüm istiqamətləri əhatə edir. Səhiyyədə insan resurslarının idarə olunması ilə bağlı yanaşmalarda qeyd olunur ki, işçilərin məmnunluğu və motivasiyası təşkilatın ümumi effektivliyinə birbaşa təsir göstərən əsas amillərdəndir (Ələkbərov M.M, Mehdiyeva A.F., 2023).

Sosial məsuliyyətin mühüm elementlərindən biri işçilərin təhlükəsiz və sağlam əmək mühiti ilə təmin edilməsidir. Xüsusilə səhiyyə sektorunda fəaliyyət göstərən işçilər yüksək iş qrupuna daxil olduqları üçün onların əmək şəraitinin normativ tələblərə uyğun təşkili xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu kontekstdə sosial məsuliyyət yalnız hüquqi öhdəliklərin yerinə yetirilməsi ilə məhdudlaşmamalı, eyni zamanda işçilərin fiziki və psixoloji sağlamlığının qorunmasına yönəlmiş davamlı tədbirləri də əhatə etməlidir. Sosial məsuliyyətlə bağlı aparılan tədqiqatlarda vurğulanır ki, təşkilatlar işçilərinə qarşı məsuliyyətli yanaşma sərgilədikdə bu həm işçi bağlılığını artırır, həm də ümumi iş mühitinin keyfiyyətinə müsbət təsir göstərir (Palacı H., 2021). Digər mühüm istiqamət işçilərin sosial təminatlarının və rifahının təmin olunmasıdır. Bu, əməkhaqqı siyasətinin ədalətli qurulması, əlavə sosial təminatların təqdim edilməsi və işçilərin sosial müdafiəsinin gücləndirilməsi ilə bağlıdır. Korporativ sosial məsuliyyət konsepsiyasına əsasən təşkilat yalnız, iqtisadi məqsədləri ilə deyil, həm də sosial funksiyaları ilə qiymətləndirilir. Bu baxımdan səhiyyə müəssisələrinin işçilərə qarşı sosial məsuliyyəti onların uzunmüddətli inkişaf strategiyasının ayrılmaz hissəsi kimi çıxış edir (Quliyev R., 2017). Eyni zamanda işçilərin qərarvermə proseslərində iştirakının təmin olunması, onların fikirlərinə hörmətlə yanaşılması və təşkilat daxilində sağlam kommunikasiya mühitinin yaradılması sosial məsuliyyətin mühüm göstəricilərindəndir. Aparılan ümummətiqi, nəzəri təhlil və müqayisəli yanaşma göstərir ki, səhiyyə müəssisələrində işçilərə qarşı sosial məsuliyyət yalnız daxili idarəetmə məsələsi deyil, həm də təşkilatın ümumi imicinə və ictimai nüfuzuna təsir edən amildir. Müasir səhiyyə menecmenti çərçivəsində sosial məsuliyyətin tətbiqi təşkilatın rəqabət qabiliyyətini artırır və onun davamlı inkişafını təmin edir. Bu baxımdan işçilərə yönəlmiş sosial məsuliyyət tədbirləri yalnız sosial yönümlü fəaliyyət kimi deyil, həm də strateji idarəetmə aləti kimi qiymətləndirilməlidir.

Səhiyyə işçilərinin cəmiyyət qarşısında sosial məsuliyyəti. Səhiyyə işçilərinin cəmiyyət qarşısında sosial məsuliyyəti müasir səhiyyə sisteminin mühüm tərkib hissələrindən biridir. Tibbi fəaliyyət yalnız fərdi pasiyentlərlə məhdudlaşmır, eyni zamanda bütövlükdə cəmiyyətin sağlamlığının qorunmasına və inkişafına xidmət edir. Bu baxımdan səhiyyə işçilərinin fəaliyyəti sosial məsuliyyət prinsipləri əsasında qurulmalı, onların peşə davranışı ictimai maraqlara uyğun istiqamətləndirilməlidir. Sosial məsuliyyətin əsas istiqamətlərindən biri cəmiyyətin sağlamlığının qorunmasına yönəlmiş fəaliyyətlərdə fəal iştirak etməkdir.

Bu yalnız xəstəliklərin müalicəsi ilə deyil, eyni zamanda profilaktik tədbirlərin həyata keçirilməsi, maarifləndirmə işlərinin aparılması və sağlam həyat tərzinin təbliği ilə bağlıdır. Səhiyyə işçiləri bu prosesdə həm bilik ötürücüsü, həm də sosial nümunə rolunu oynayırlar. Digər tərəfdən səhiyyə işçilərinin sosial məsuliyyəti etik davranış normalarına riayət etməklə də sıx bağlıdır. Cəmiyyətin səhiyyə sisteminə olan etimadı məhz tibb işçilərinin peşəkar və etik davranışı nəticəsində formalaşır. Bu baxımdan onların fəaliyyətində şəffaflıq, ədalətlilik və obyektivlik prinsiplərinə əməl olunması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bundan əlavə səhiyyə işçilərinin cəmiyyət qarşısında sosial məsuliyyəti fövqəladə hallarda və ictimai sağlamlıq böhranları zamanı daha aydın şəkildə özünü göstərir. belə hallarda onların peşə borcu fərdi vəzifə çərçivəsi ilə məhdudlaşmır, daha geniş ictimai məsuliyyət daşıyır. Bu isə səhiyyə işçilərinin fəaliyyətində həm peşəkarlıq, həm də yüksək mənəvi dəyərlərin vəhdətini tələb edir. Müasir səhiyyə sistemində bu cür yanaşma cəmiyyətlə səhiyyə sektoru arasında qarşılıqlı etimadın möhkəmlənməsinə xidmət edir.

Nəticə. Aparılan araşdırmalar əsasında belə qənaətə gəlmək olar ki, səhiyyə müəssisələrində idarəetmə prosesi yalnız təşkilati və inzibati fəaliyyətlə məhdudlaşmır, eyni zamanda etik və sosial məsuliyyət prinsipləri ilə də sıx əlaqəlidir. Personalın düzgün idarə olunması, işçilərin peşəkar inkişafına şərait yaradılması və onların motivasiyasının artırılması səhiyyə sisteminin ümumi effektivliyinə birbaşa təsir göstərir. bu baxımdan səhiyyə menecmentində insan amili əsas strateji resurs kimi çıxış edir. Bununla yanaşı müəyyən olunur ki, etik davranış normalarına əməl edilməsi və sosial məsuliyyətin düzgün həyata keçirilməsi təkcə pasiyentlərə münasibətdə deyil, eyni zamanda işçilər və cəmiyyət qarşısında mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu prinsiplər səhiyyə müəssisələrində qarşılıqlı hörmətə əsaslanan sağlam iş mühitinin formalaşmasına şərait yaradır və ümumi etimad səviyyəsi yüksəlir. Beləliklə, etik və sosial məsuliyyət yanaşmalarının səhiyyə idarəetməsində sistemli şəkildə tətbiqi həm xidmət keyfiyyətinin artırılmasına, həm də səhiyyə sisteminin inkişafına mühüm töhfə verir.

Ədəbiyyat siyahısı.

1. Ələkbərov, M. M., & Mehdiyeva, A. F. (2023). Səhiyyədə insan resurslarının idarəolunması (229 s.). Bakı.
2. Namazova, Ə., & Əliyev, Q. (2004). Təbabət etikası (240 s.). Bakı: Təhsil.
3. Namazova, A. Ə., Hüseynova, Z. H., & Tağı-zadə, T. Q. (2002). Təbabətin etik prinsipləri (Metodik vəsait, 2 ç.v.). Bakı: Elm.
4. Quliyev, R. (2017). Korporativ sosial məsuliyyət (279 s.). Bakı.
5. Palacı, H. (2021). Sağlık ve sağlık hizmetleri sektöründe sosyal sorumluluk. Ankara: Akademisyen Kitabevi A.Ş.

AZƏRBAYCANDA POS-PANDEMİYA DÖVRÜ İSTEHLAK MÜHİTİ: İSTEHLAKÇI PERSPEKTİVİNDƏN YANAŞMA

Nəsimi Kamalov
Dosent, Biznesin idarə edilməsi kafedrası
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xırdalan, Azərbaycan
nkamalov@beu.edu.az
Gülnar Nəcimbəyli
Magistr, Biznesin idarə edilməsi kaferdası
Bakı Mühəndislik Universiteti
Xırdalan, Azərbaycan
gnecimbeyli@std.beu.edu.az

Xülasə: *Pos-pandemiya dövründə Azərbaycanda istehlakçı davranışlarında baş verən dəyişiklikləri statistik metodlar əsasında müəyyənləşdirmək və bu dəyişikliklərə təsir edən amilləri empirik baxımdan qiymətləndirmək tədqiqatın əsas məqsədidir. Tədqiqatın metodoloji əsasını kəmiyyət araşdırma üsulları təşkil edir. Bu məqsədlə irəli sürülən hipotezlər 154 respondentin iştirakı ilə həyata keçirilən anket sorğusunun nəticələrinə əsasən qiymətləndirilmişdir. Sorğu çərçivəsində əldə olunan məlumatlar müvafiq statistik proqramlar vasitəsilə təhlil edilmiş, istehlakçıların rəqəmsal platformalara keçid dinamikası, xərcləmə prioritetləri və qərarqəbul prosesinə təsir edən yeni faktorlar incələnmişdir. Təhlillərin nəticələri sübut edir ki, pos-pandemiya dövründə formalaşan "yeni normal" reallığında yerli istehlakçılar daha çox*

rəqəmsallaşma meyli göstərir və xərcləmələrində daha rasional davranırlar. Təqdim olunan bu tədqiqat, yerli biznes subyektləri və marketinq mütəxəssisləri üçün müasir mühitə uyğun strategiyaların formalaşdırılmasında mühim mənbə rolunu oynayır.
Açar sözlər: *Pos-pandemiya, istehlakçı davranışı, rəqəmsallaşma*

POST-PANDEMIC CONSUMPTION ENVIRONMENT IN AZERBAIJAN: APPROACH FROM THE CONSUMER PERSPECTIVE

Nasimi Kamalov
Assoc. Prof., Business administration department
Baku Engineering University
Khirdalan, Azerbaijan
nkamalov@beu.edu.az
Gulnar Najimbayli
Master, Business administration department
Baku Engineering University
Khirdalan, Azerbaijan
gnecimbeyli@std.beu.edu.az

Abstract: *The main goal of the study is to determine the changes in consumer behavior in Azerbaijan in the post-pandemic period based on statistical methods and to evaluate the factors affecting these changes from an empirical point of view. The methodological basis of the study is quantitative research methods. The hypotheses put forward for this purpose were evaluated based on the results of a questionnaire survey conducted with the participation of 154 respondents. The data obtained within the framework of the survey were analyzed using appropriate statistical programs, and the dynamics of consumers' transition to digital platforms, spending priorities, and new factors affecting the decision-making process were examined. The results of the analysis prove that in the "new normal" reality formed in the post-pandemic period, local consumers show a greater tendency to digitalization and behave more rationally in their spending. This presented study plays an important role in the formation of strategies suitable for the modern environment for local business entities and marketing specialists.*
Key words: *Post-pandemic, consumer behavior, digitalization*

GİRİŞ

Pos-pandemiya mərhələsində qlobal səviyyədə müşahidə olunan sosial-iqtisadi dəyişikliklər istehlakçı davranışlarının strukturunda əhəmiyyətli dönüşlərə yol açmışdır. COVID-19 pandemiyası ilə bağlı tətbiq olunan məhdudiyyətlər, gəlirlərin qeyri-sabitliyi, inflyasiyanın yüksəlməsi və rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı istehlakçıların alış qərarlarına, xərcləmə üstünlüklərinə və bazar seçimlərinə birbaşa təsir göstərmişdir.[1] Karantin rejimi, sosial məsafə qaydaları və gələcəklə bağlı qeyri-müəyyənlik insanları öz ehtiyac və prioritetlərini yenidən dəyərləndirməyə vadar etdi. Bu gün isə cəmiyyət artıq pos-pandemiya mərhələsində, fərqli bir reallıqda yaşayır. Pandemiyanın yaratdığı ilkin təşviş və qeyri-müəyyənlik aradan qalxsa da, həmin dövrdə formalaşan bəzi vərdişlər gündəlik həyatın ayrılmaz hissəsinə çevrilib. Məhz buna görə də, "yeni normal" şəraitində insanların xərcləmə davranışlarını istiqamətləndirən psixoloji və iqtisadi amilləri anlamaq xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Mövcud reallıq göstərir ki, rəqəmsallaşma sosial-iqtisadi həyata sürətlə və dərin şəkildə inteqrasiya olunmuşdur. Əvvəllər alternativ sayılan onlayn alış-veriş və elektron ödənişlər artıq əsas bazar mexanizmlərinə çevrilmişdir. Bununla yanaşı, istehlakçılar daha rasionallı və selektiv davranır, sağlamlıq, təhlükəsizlik və ekoloji dayanıqlılıq kimi amilləri qərarvermədə ön plana çəkirlər. Müasir istehlakçı yalnız qiymət və keyfiyyətə deyil, həm də brendin sosial məsuliyyəti və gigiyenik standartlara uyğunluğuna diqqət yetirir. Qlobal inflyasiya isə maliyyə resurslarının daha səmərəli idarə olunmasını zəruri edir.[4]

TƏDQİQATIN METODOLOJİ ASPEKTLƏRİ

Pandemiya dövründə aparılan tədqiqatların əksəriyyəti qısamüddətli reaksiyalara fokuslansa da, əsas məsələ pos-pandemiya mərhələsində formalaşan davamlı davranış modellərinin müəyyənləşdirilməsidir. Xüsusilə bu dəyişikliklərin demoqrafik və sosial-iqtisadi amillər üzrə fərqlərinin empirik əsasda təhlili vacibdir. Bu tədqiqatın məqsədi də məhz istehlakçı davranışlarında baş verən bu transformasiyanı sistemli şəkildə izah edərək mövcud elmi boşluğu doldurmaqdır.

Təqdim olunan bu konfrans materialı qeyd olunan transformasiyanı empirik məlumatlar əsasında nümayiş etdirməyi hədəfləyir. Tədqiqat 154 respondentin iştirak etdiyi anket sorğusuna əsaslanır və bu çərçivədə

iştirakçıların demoqrafik xüsusiyyətləri, rəqəmsal platformalara münasibətləri, xərcləmə prioritetləri və marka sadiqliyi təhlil edilmişdir.
İlkin nəticələr istehlakçı davranışlarında əhəmiyyətli dəyişikliklərin baş verdiyini göstərir və daha şüurlu, adaptiv, eyni zamanda rəqəmsal mühitə inteqrasiya olunmuş yeni istehlakçı modelini ortaya qoyur. Konfrans materialının növbəti hissələrində əvvəlcə nəzəri çərçivə qısa şəkildə təqdim olunacaq, daha sonra isə əldə edilmiş statistik nəticələr cədvəl və qrafiklər vasitəsilə sistemli şəkildə təhlil ediləcəkdir. Bu yanaşmanın həm akademik müstəvidə, həm də praktiki biznes qərarlarının qəbulunda faydalı olacağı gözlənilir.
Tətbiq edilən metodologiya istehlakçı davranışlarının kompleks şəkildə öyrənilməsinə imkan verir. Məlumatların standartlaşdırılmış və anonim sorğu əsasında əldə edilməsi nəticənin etibarlılığını artırır.

TƏMSİLÇİ QRUPUN XARAKTERİSTİKASI

Tədqiqatın empirik mərhələsində respondentlərin sosial-demoqrafik göstəriciləri təsviri statistika üsulları ilə araşdırılmışdır. Yaş, cins və gəlir səviyyəsi istehlakçı davranışlarına - xüsusilə alış qərarlarına, xərcləmə prioritetlərinə və rəqəmsal platformalardan istifadə səviyyəsinə - birbaşa təsir göstərdiyi üçün bu dəyişənlər metodoloji baxımdan əsas göstəricilər kimi qəbul edilmişdir. Respondentlərin əsas hissəsi 25–34 yaş qrupuna aiddir (42.2%). Bu göstərici nümunənin demək olar ki, yarısını təşkil edir. 35–44 yaş qrupu 25.3%, 18–24 yaş qrupu isə 22.7% paya malikdir. Beləliklə, iştirakçıların təxminən 90%-i 18–44 yaş intervalında cəmlənmişdir.
Cins faktoru istehlak davranışlarının diferensiasiyasında mühüm rol oynayan sosial-demoqrafik dəyişəndir. Nəticələrə əsasən, respondentlərin 82 nəfəri (53,24%) qadın, 72 nəfər isə (46,76%) kişilərdən ibarətdir.
İstehlakçı davranışını formalaşdıran əsas determinantlardan biri də gəlir səviyyəsidir. [3] Gəlir fərdlərin xərcləmə həcmini, məhsul seçimini və alış tezliyini birbaşa müəyyən edir: yüksək gəlir qrupları daha çox xərcləməyə və keyfiyyət yönümlü istehlaka üstünlük verdiyi halda, aşağı gəlirli istehlakçılar daha qənaətcil və ehtiyatlı davranış modelləri nümayiş etdirirlər. Nəticələrimizə əsasən, respondentlərin böyük əksəriyyəti orta gəlir qrupuna aiddir: 1000–2000 AZN intervalı 44,8%, 500–1000 AZN isə 34,4% təşkil edir. Beləliklə, iştirakçıların təxminən 80%-nin orta təbəqəni təmsil etməsi seçmənin real bazar davranışlarını adekvat şəkildə əks etdirdiyini göstərir. Nümunənin əsas hissəsini 25–44 yaş aralığında, əmək bazarında aktiv və sabit gəlirə malik fərdlər təşkil edir. Gender balansının qorunması isə nəticələrin obyektivliyini gücləndirir. Ümumilikdə, bu demoqrafik struktur pos-pandemiya dövründə rasional, qənaətcil və rəqəmsal platformalara adaptasiya olunmuş tipik Azərbaycan istehlakçı modelini xarakterizə edərək sonrakı statistik təhlillər üçün etibarlı əsas formalaşdırır.

ƏLDƏ EDİLƏN GÖSTƏRİCİLƏR

Tədqiqatda iştirak edən respondentlərin demoqrafik xüsusiyyətləri yalnız ümumi mənzərəni təsvir etmir, həm də yeni vərdişlərin necə mənimsənildiyini anlamaq üçün açar rolunu oynayır. Yaş, təhsil və gəlir səviyyəsinin istehlakçıların onlayn platformalara keçid sürətinə birbaşa təsirini nəzərə alaraq, təhlilimizə məhz bu struktur göstəricilərdən və onların rəqəmsallaşma prosesinə təkan verməsindən başlayırıq. Prosesdə baş verən dəyişiklikləri analiz etmək üçün sorğuda respondentlərdən pandemiyadan əvvəl və pos-pandemiyada onlayn və fiziki mağazalardan alış tezliyi ayrıca soruşulmuşdur. Cədvəl 1 və 2-də bu məlumatlar müvafiq ardıcıllıqda öz əksini tapır. Nəticələrə əsasən, pandemiyadan əvvəl respondentlərin yarıdan çoxu (təxminən 51%) onlayn alış-verişdən ya ümumiyyətlə istifadə etməmiş, ya da çox nadir hallarda istifadə etmişdir. Bu fakt həmin dövrdə istehlakçı davranışlarında ənənəvi fiziki ticarətin dominant mövqedə olduğunu göstərir. Pos-pandemiya dövrü üzrə nəticələrdə isə dəyişikliklər bariz şəkildə nəzərə çarpır.

CƏDVƏL 1. PANDEMİYADAN ƏVVƏL ONLAYN ALIŞ TEZLİYİ

Tezlik	***Say***	***%***
Heç vaxt	40	26.0
Nadir	38	24.7
Ayda 1–2 dəfə	29	18.8
Həftəlik	23	14.9
Hər gün	24	15.6
Cəmi	***154***	***100***

Cədvəl anket sorğusu nəticələrinə əsasən tərtib edilmişdir.

CƏDVƏL 2. POS-PANDEMİYA DÖVRÜNDƏ ONLAYN ALIŞ TEZLİYİ

Tezlik	***Say***	***%***
Nadir	34	22.1
Ayda 1–2 dəfə	36	23.4
Həftəlik	36	23.4
Hər gün	48	31.1
Cəmi	***154***	***100***

Cədvəl anket sorğusu nəticələrinə əsasən tərtib edilmişdir.

Cədvəldə qeyd olunmuş nəticələrdə diqqətçəkən əsas məqam "hər gün onlayn" alış edənlərin sayının 24-dən 48-ə yüksəlməsidir. Bu göstərici iki dəfə artım deməkdir. Eyni zamanda "heç vaxt" kateqoriyası tamamilə aradan qalxmışdır. Bu fakt onlayn alışın artıq alternativ deyil, gündəlik istehlak davranışına çevrildiyini göstərir.

Pos-pandemiya dövründə istehlakçıların iqtisadi davranışında diqqət çəkən əsas meyillərdən biri xərclərin daha səmərəli idarə olunması və rasional istehlak modelinə yönəlmədir. İnflyasiyanın yüksəlməsi, gəlirlərin qeyri-sabit xarakter daşıması və ümumi iqtisadi risklərin artması fərdləri daha qənaətcil seçimlər etməyə, zəruri olmayan alışları məhdudlaşdırmağa, yığım vərdişlərini gücləndirməyə və satınalma qərarlarında daha diqqətli olmağa təşviq etmişdir. [2]

Satınalma qərarlarını müəyyən edən amillərin təhlili məqsədilə qiymət, keyfiyyət, brend və sosial medianın təsiri kimi əsas göstəricilər 5 ballıq şkalada respondentlər tərəfindən qiymətləndirilmişdir. Əldə etdiyimiz məlumatlar bizə bütün amillərin balanslı səviyyədə vacibliyini vurğulayır. Əldə edilən məlumatlar bazar vərdişlərinin formalaşdırılmasında heç bir meyarın gözardı edilməməli olduğu reallığını ortaya qoyur. [4]

NƏTİCƏ

Aparılmış empirik təqdiqatın nəticələri pos-pandemiya dövründə Azərbaycanda istehlakçı davranışlarında baş verən struktur dəyişikliklərinin kompleks və sistemli xarakter daşıdığını təsdiqləyir. Statistik təhlillər göstərir ki, müşahidə olunan transformasiyalar təsadüfi deyil, əksinə, makroiqtisadi qeyri-sabitlik, gəlir səviyyəsində dəyişkənlik və qlobal iqtisadi mühitin təsiri altında formalaşmış rasional adaptasiya prosesinin nəticəsidir.

Tədqiqat nəticələrinə əsasən, istehlakçıların qərarvermə mexanizmlərində rasionallıq səviyyəsi əhəmiyyətli dərəcədə artmış, alış davranışı daha planlı və məqsədyönlü xarakter almışdır. Xüsusilə qiymət amilinin dominant mövqeyə yüksəlməsi istehlakçıların büdcə məhdudiyyətlərinə daha həssas yanaşdığını göstərir. Bu isə öz növbəsində, istehlak strukturunda optimallaşdırma meyllərinin gücləndiyini və qeyri-zəruri xərclərin azaldılması istiqamətində davranış modelinin formalaşdığını sübut edir.

Bununla yanaşı, qiymət-keyfiyyət balansının istehlakçı seçimlərində prioritet amillərdən birinə çevrilməsi bazar münasibətlərində keyfiyyət yönümlü rəqabətin intensivləşdiyini göstərir. Respondentlərin cavabları əsasında müəyyən edilmişdir ki, istehlakçılar artıq yalnız minimal qiymətə deyil, məhsulun funksional və emosional dəyərinə də diqqət yetirirlər ki, bu da istehlak davranışının daha şüurlu və çoxmeyarlı xarakter aldığını nümayiş etdirir.

Tədqiqat çərçivəsində əldə edilən digər mühüm nəticə rəqəmsallaşmanın istehlakçı davranışlarına təsirinin güclənməsi ilə bağlıdır. Onlayn satış kanallarının genişlənməsi, bu platformalara etimadın artması və onların daha əlçatan və iqtisadi cəhətdən sərfəli alternativ kimi qəbul edilməsi elektron ticarətin dinamik inkişafını şərtləndirən əsas amillərdən biri kimi çıxış edir.Bu kontekstdə, rəqəmsal mühitdə fəaliyyət göstərən biznes subyektlərinin strateji mövqelərinin gücləndiyi müşahidə olunur.

Eyni zamanda, sosial media və brend imicinin istehlakçı qərarlarına təsirinin artması müasir marketinq kommunikasiyalarının rolunu daha da aktuallaşdırır. Bu isə şirkətlərin inteqrasiya olunmuş marketinq strategiyalarında rəqəmsal platformalara və istehlakçı ilə interaktiv əlaqələrin qurulmasına daha çox diqqət yetirməsinin zəruriliyini ortaya qoyur.

Nəticə etibarilə, aparılmış tədqiqat belə qənaətə gəlməyə əsas verir ki, pos-pandemiya dövründə Azərbaycanda istehlak bazarı daha rasional, qənaət yönümlü və texnoloji transformasiyalara açıq istehlakçı modeli ilə səciyyələnir. Bu dəyişikliklər bazar iştirakçıları üçün yeni çağırışlar yaratmaqla yanaşı, eyni zamanda innovativ yanaşmaların tətbiqi və istehlakçı yönümlü strategiyaların formalaşdırılması üçün geniş imkanlar təqdim edir.

İSTİNADLAR

[1] Allahverdiyeva İnci Mahir, "Qlobal pandemiya dövründə beynəlxalq firmaların qərar qəbuletmə mexanizmlərinin istehlakçı davranışına təsiri", Magistr dissertasiyası, 2022.
[2] Batıyev Elvin Elçin, "Rəqəmsal marketinqin alıcıların alış davranışına təsirinin təqdiqi", Magistr dissertasiyası,2021
[3] Kamalov Nəsimi Bəşir, "Marketinq", dərs vəsaiti, Bakı, Bakı Mühəndislik Universitetinin mətbəəsi, 2018, 142 s.
[4] Tahir Albayrak, Şafak Aksoy, "Tüketici davranışında temel yaklaşımlar", Pazarlama ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi, Sayı:03, 2008.

BİZNES TƏHLÜKƏSİZLİYİNİN TƏMİN OLUNMASINDA BEYNƏLXALQ VƏ YERLİ TƏCRÜBƏNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ(RUSİYA,TÜRKİYƏ,İRAN,AZƏRBAYCAN ÜZRƏ)

Nərmin Məmmədova
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və İdarəetmə fakültəsi
Biznesin təşkili və idarə edilməsi
nmemmedova28@std.beu.edu.az
BAKI,AZƏRBAYCAN

Xülasə: *Bu tədqiqat işi biznes təhlükəsizliyinin təmin olunmasında Rusiya, Türkiyə, İran və Azərbaycan təcrübəsinin müqayisəli təhlilinə həsr olunmuşdur və qloballaşma şəraitində iqtisadi təhlükəsizlik məsələlərinin aktuallığını əks etdirir. Tədqiqatın məqsədi müxtəlif ölkələrdə tətbiq olunan təhlükəsizlik mexanizmlərini sistemli şəkildə araşdırmaq və effektiv yanaşmaları müəyyənləşdirməkdir. İşin elmi yeniliyi milli və beynəlxalq təcrübənin inteqrasiyalı müqayisəli model əsasında təhlilindədir. Praktiki əhəmiyyəti isə müəssisələr üçün risklərin idarə olunması və təhlükəsizlik strategiyalarının təkmilləşdirilməsi üzrə tövsiyələrin təqdim edilməsidir. Tədqiqatın üstünlüyü kompleks yanaşma və çoxölçülü analizdir. Nəticədə biznes təhlükəsizliyinin artırılması üçün optimal modellər irəli sürülmüşdür.*

Açar sözlər: *Biznes, risklər, təhlükəsizlik, təcrübə, korporativ, hüquqi, regional.*

GİRİŞ

Müasir qloballaşma şəraitində biznes təhlükəsizliyi müəssisələrin davamlı inkişafı və rəqabət qabiliyyətinin qorunması baxımından strateji əhəmiyyət kəsb edir. Xüsusilə Rusiya, Türkiyə, İran və Azərbaycan kimi region ölkələrində iqtisadi, siyasi və hüquqi mühitin dinamikliyi biznes subyektlərinin təhlükəsizlik sistemlərinin təkmilləşdirilməsini zəruri edir. Bu baxımdan təqdim olunan tədqiqat işi biznes təhlükəsizliyinin təmin olunmasında beynəlxalq və yerli təcrübənin müqayisəli təhlilinə həsr olunmuşdur və mövzunun aktuallığı iqtisadi risklərin artması, kibertəhlükələr və bazar qeyri-müəyyənliyi fonunda daha da güclənir.

Müasir dövrdə biznes təhlükəsizliyi sahəsində müəyyən elmi və praktiki işlər aparılmış, müxtəlif ölkələrdə hüquqi və institusional mexanizmlər formalaşdırılmışdır. Lakin mövcud tədqiqatlar əsasən ayrı-ayrı ölkələrin təcrübəsinə yönəlmiş, müqayisəli yanaşma isə kifayət qədər geniş tətbiq olunmamışdır. Eyni zamanda region ölkələrində təhlükəsizlik sistemlərinin tətbiqində fərqliliklər, risklərin idarə olunmasında qeyri-bərabər yanaşmalar və institusional boşluqlar mövcuddur. Bu isə kompleks və müqayisəli təhlilə əsaslanan yeni tədqiqatlara ehtiyac yaradır.

Tədqiq etdiyimiz bu mövzu ilə bağlı bir sıra yerli və xarici tədqiqatçılar mühüm elmi nəticələr əldə etmişlər. Biznes təhlükəsizliyi məsələsi həm yerli, həm də xarici elmi mühitdə geniş müzakirə olunan mövzulardandır. L. Abalkin və V. Sençaqov kimi Rusiya alimləri bu məsələyə daha çox dövlətin ümumi strateji inkişafının bir parçası kimi baxır, biznesin dayanıqlığını birbaşa milli təhlükəsizliyin sütunu hesab edirlər. Türkiyəli tədqiqatçılar isə diqqəti daha çox qlobal bazarın risklərinə və institutların sabitliyinə yönəldirlər. Maraqlıdır ki, İran elmi mühitində yanaşma bir qədər fərqlidir; burada sanksiyalar fonunda daxili istehsalı necə qorumaq və iqtisadi müqaviməti necə artırmaq ön plana çıxır. Azərbaycanda aparılan

tədqiqatlarda isə əsas diqqət yerli sahibkarlıq mühitinin risklərdən sığortalanmasına və ölkəmizə xas olan milli iqtisadi təhlükəsizlik modelinin yaradılmasına yönəlib.

Tədqiqat işinin əsas məqsədi Rusiya, Türkiyə, İran və Azərbaycanın biznes təhlükəsizliyi sahəsində təcrübəsini müqayisəli şəkildə təhlil etmək, mövcud mexanizmləri qiymətləndirmək və daha effektiv təhlükəsizlik modellərini müəyyənləşdirməkdir. Bu məqsədə nail olmaq üçün iqtisadi və hüquqi yanaşmalar, risklərin idarə olunması metodları, təhlükəsizlik strategiyaları və institusional mexanizmlər araşdırılmışdır. Tədqiqat zamanı müqayisəli analiz, sistemli yanaşma, statistik təhlil və ümumiləşdirmə metodlarından istifadə edilmişdir. İşin elmi yeniliyi müxtəlif ölkələrin təcrübəsinin inteqrativ model çərçivəsində təhlil olunması ilə, praktiki əhəmiyyəti isə əldə edilən nəticələrin müəssisələrdə təhlükəsizlik strategiyalarının formalaşdırılmasında tətbiq imkanları ilə izah olunur.

Tədqiqatın strukturu qarşıya qoyulmuş hədəflərə uyğun məntiqi ardıcıllıqla formalaşdırılıb. Giriş hissəsində mövzunun strateji əhəmiyyəti əsaslandırılır, mövcud elmi yanaşmalar nəzərdən keçirilir və tətbiq olunan metodoloji üsullar şərh edilir. Əsas hissədə Rusiya, Türkiyə, İran və Azərbaycanın spesifik təcrübələri statistik göstəricilər əsasında müqayisəli şəkildə analiz olunur. Yekun olaraq, Nəticə bölməsində əldə edilmiş nəticələr müzakirə edilir, aparılan işin üstünlükləri və səmərəliliyi qeyd olunur.

TƏHLİL

Qarşıya qoyulmuş məsələnin həlli üçün tədqiqat işində kompleks metodoloji yanaşma tətbiq edilmişdir. Əsas metodlar kimi müqayisəli təhlil, sistemli analiz, statistik təhlil və ümumiləşdirmə metodlarından istifadə olunmuşdur. Müqayisəli təhlil vasitəsilə Rusiya, Türkiyə, İran və Azərbaycanın biznes təhlükəsizliyi sahəsində hüquqi-normativ bazası, institusional mexanizmləri və tətbiq olunan təhlükəsizlik strategiyaları qarşılaşdırılmışdır. Sistemli analiz metodu biznes təhlükəsizliyinin müxtəlif komponentlərinin – iqtisadi, hüquqi və informasiya aspektlərinin qarşılıqlı əlaqədə öyrənilməsinə imkan vermişdir. Statistik təhlil metodu vasitəsilə mövcud göstəricilər işlənmiş və dinamik dəyişikliklər müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatda istifadə olunan materiallara rəsmi dövlət sənədləri, qanunvericilik aktları, beynəlxalq təşkilatların hesabatları, elmi məqalələr və statistik məlumat bazaları daxildir. Bundan əlavə, müxtəlif ölkələr üzrə biznes təhlükəsizliyi göstəricilərini əks etdirən analitik materiallar və hesabatlar da tədqiqatın informasiya bazasını təşkil etmişdir. Bu materiallar əsasında məlumatlar sistemləşdirilmiş, müqayisə edilmiş və ümumi nəticələrin əldə olunması üçün istifadə edilmişdir.

Biznes təhlükəsizliyi anlayışı müasir iqtisadi münasibətlər sistemində çoxşaxəli və kompleks məzmun daşıyır. Onun mahiyyəti yalnız müəssisənin fiziki mühafizəsi və ya kommersiya sirrinin qorunması ilə məhdudlaşmır. Biznes təhlükəsizliyi müəssisənin maliyyə, hüquqi, informasiya, kadr, istehsal və strateji fəaliyyət sahələrində risklərin minimuma endirilməsi və davamlı inkişafın təmin olunması sistemidir. Bu anlayış iqtisadi təhlükəsizlik konsepsiyasının mikro səviyyədə təzahürü kimi çıxış edir və makro səviyyədə dövlətin iqtisadi sabitliyi ilə birbaşa əlaqəlidir(Hamdouni, A. 2025).

Biznes təhlükəsizliyinin əsas komponentləri maliyyə təhlükəsizliyi, informasiya və kibertəhlükəsizlik, hüquqi təhlükəsizlik, investisiya təhlükəsizliyi, kadr təhlükəsizliyi və reputasiya təhlükəsizliyidir. Maliyyə təhlükəsizliyi müəssisənin ödəmə qabiliyyətinin, likvidliyinin və maliyyə dayanıqlığının qorunmasını nəzərdə tutur. İnformasiya təhlükəsizliyi kommersiya məlumatlarının və rəqəmsal sistemlərin müdafiəsini təmin edir. Hüquqi təhlükəsizlik isə sahibkarlıq fəaliyyətinin qanunvericiliyə uyğun təşkili və hüquqi risklərin minimuma endirilməsi ilə bağlıdır. Bu komponentlərin hər biri qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyət göstərərək ümumi təhlükəsizlik sistemini formalaşdırır(Luks, A. 2023).

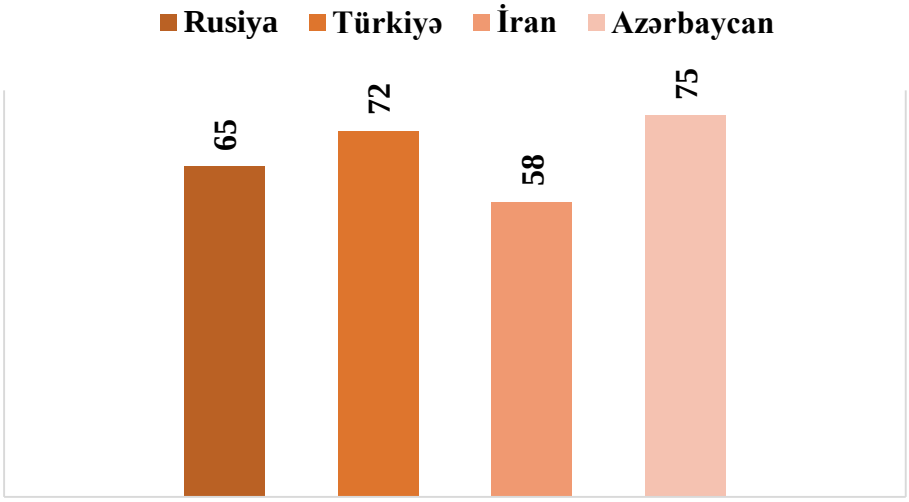
Rusiya təcrübəsində biznes təhlükəsizliyi daha çox dövlət nəzarətinin güclü olduğu model çərçivəsində formalaşmışdır. Dövlət iqtisadi təhlükəsizlik strategiyası vasitəsilə iri biznes strukturlarının fəaliyyətinə nəzarət mexanizmlərini tətbiq edir, strateji sahələrdə isə dövlət iştirakçılığı üstünlük təşkil edir. Bu model milli iqtisadi maraqların qorunmasına yönəlsə də, bəzən bazar azadlıqlarının məhdudlaşdırılması ilə nəticələnə bilir.

Türkiyə modelində isə biznes təhlükəsizliyi dövlət və özəl sektor əməkdaşlığı prinsipləri əsasında qurulmuşdur. Burada risklərin idarə olunması, korporativ idarəetmə standartları və beynəlxalq audit mexanizmləri geniş tətbiq olunur. Türkiyə təcrübəsində investisiya mühitinin qorunması və xarici kapitalın cəlbi məqsədilə hüquqi sabitlik və institusional şəffaflıq əsas prioritetlərdəndir. Bu model daha çevik və bazar yönümlü yanaşma ilə xarakterizə olunur(Zaytsev, V., & Smirnova, S. 2024).

İran təcrübəsi əsasən sanksiyalar və xarici iqtisadi məhdudiyyətlər şəraitində formalaşmışdır. Bu səbəbdən daxili istehsalın qorunması, valyuta sabitliyi və dövlət nəzarəti gücləndirilmişdir. İran modeli iqtisadi müstəqillik və daxili resurslara əsaslanan təhlükəsizlik strategiyası üzərində qurulmuşdur. Lakin beynəlxalq inteqrasiyanın məhdudluğu biznes mühitinin inkişafına müəyyən çətinliklər yaradır.

Azərbaycan təcrübəsində biznes təhlükəsizliyi iqtisadi islahatlar və rəqəmsal transformasiya kontekstində inkişaf edir. Sahibkarlığın inkişafı, investisiya mühitinin yaxşılaşdırılması, elektron hökumət xidmətlərinin genişləndirilməsi və maliyyə sektorunun sabitliyinin qorunması əsas istiqamətlərdir. Xüsusilə qeyri-neft sektorunun inkişafı və iqtisadiyyatın şaxələndirilməsi biznes təhlükəsizliyinin strateji məqsədlərindən biridir. Azərbaycanın modeli dövlət tənzimlənməsi ilə bazar mexanizmlərinin uzlaşdırılmasına əsaslanır.
Müqayisəli təhlil göstərir ki, hər bir ölkənin biznes təhlükəsizliyi modeli onun siyasi-iqtisadi quruluşu, geosiyasi mövqeyi və beynəlxalq iqtisadi əlaqələri ilə sıx bağlıdır. Dövlət nəzarətinin yüksək olduğu modellər strateji sabitlik yaratsa da, bazar elastikliyini azalda bilər. Liberal bazar yönümlü modellər isə investisiya cəlbediciliyini artırsa da, qlobal risklərə daha açıq olur(Kurova, M., & Belova, V. 2022).
Beləliklə, tədqiqat nəticəsində müəyyən olunur ki, optimal biznes təhlükəsizliyi modeli dövlət nəzarəti, institusional sabitlik və bazar mexanizmlərinin balanslaşdırılmış şəkildə uzlaşdırılmasına əsaslanmalıdır. Azərbaycan üçün ən uyğun yanaşma regional təcrübənin müsbət tərəflərini inteqrasiya etməklə milli iqtisadi təhlükəsizlik strategiyasının təkmilləşdirilməsidir. Bu isə iqtisadi təhlükəsizliyin gücləndirilməsinə, sahibkarlıq mühitinin sabitliyinə və uzunmüddətli dayanıqlı inkişafa xidmət edəcəkdir(Zhang, H., & Li, X. 2023).

Qrafik 1 :Rusiya, Türkiyə, İran və Azərbaycan üzrə Biznes Təhlükəsizliyi İndeksinin Müqayisəli Göstəriciləri (2025)



Mənbə:Dünya Bankı (World Bank) – *Worldwide Governance Indicators*

Qrafik 1 də Rusiya, Türkiyə, İran və Azərbaycanın biznes təhlükəsizliyi üzrə müqayisəli indeks göstəriciləri təqdim olunmuşdur. Məlumatlara əsasən ən yüksək göstərici Azərbaycana məxsusdur (75 bal). Bu nəticə ölkədə son illərdə aparılan iqtisadi islahatlar, sahibkarlıq mühitinin yaxşılaşdırılması, rəqəmsal idarəetmənin genişləndirilməsi və investisiya təhlükəsizliyinin gücləndirilməsi ilə əlaqələndirilə bilər(Əliyev, R. 2023).
Türkiyə 72 bal ilə ikinci yerdə qərarlaşmışdır. Bu göstərici ölkədə dövlət-özəl sektor əməkdaşlığı, korporativ idarəetmə standartlarının tətbiqi və beynəlxalq bazarlara inteqrasiyanın təsiri ilə izah olunur. Rusiya 65 bal ilə orta səviyyəli göstəriciyə malikdir ki, burada dövlət nəzarətinin güclü olması iqtisadi sabitlik yaratsa da, bazar elastikliyinə müəyyən təsir göstərir.
Ən aşağı göstərici isə İrana məxsusdur (58 bal). Bu nəticə əsasən beynəlxalq sanksiyalar, valyuta məhdudiyyətləri və qlobal iqtisadi sistemə inteqrasiyanın zəif olması ilə əlaqədardır(Həsənov, A. 2022).

NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, Rusiya, Türkiyə, İran və Azərbaycan üzrə biznes təhlükəsizliyi sistemləri fərqli institusional yanaşmalara əsaslansa da, onların hamısında risklərin idarə olunması, hüquqi tənzimləmə və informasiya təhlükəsizliyi əsas prioritet istiqamətlər kimi çıxış edir. Müqayisəli təhlil göstərmişdir ki, Türkiyədə və qismən Rusiyada təhlükəsizlik mexanizmləri daha sistemli və institusional səviyyədə inkişaf etmiş, Azərbaycanda isə son illərdə rəqəmsallaşma və dövlət dəstəyi

vasitəsilə bu sahədə mühüm irəliləyişlər müşahidə olunmuşdur. İran təcrübəsində isə daha çox dövlət nəzarətinə əsaslanan model üstünlük təşkil edir.

Tədqiqatın üstünlüklərindən biri müxtəlif ölkələrin təcrübəsinin vahid metodoloji çərçivədə müqayisəli şəkildə təhlil edilməsidir ki, bu da fərqli modellərin effektiv tərəflərini müəyyən etməyə imkan vermişdir. İşin digər üstünlüyü biznes təhlükəsizliyinə kompleks yanaşmanın tətbiqi, yəni iqtisadi, hüquqi və texnoloji amillərin birgə araşdırılmasıdır. Tədqiqatın səmərəliliyi əldə olunan nəticələrin praktiki tətbiq imkanlarında özünü göstərir, belə ki, irəli sürülən yanaşmalar müəssisələrdə təhlükəsizlik strategiyalarının təkmilləşdirilməsi və risklərin daha effektiv idarə olunması üçün istifadə oluna bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Əliyev, R. (2023). Azərbaycan bank sektorunda rəqəmsal təhlükəsizlik və kibercinayətlərə qarşı mübarizə. *İqtisadiyyat və İdarəetmə Jurnalı*, 10(3), 45–58. https://doi.org/10.1016/j.ijee.2023.03.004
2. Həsənov, A. (2022). Rəqəmsal bankçılıqda maliyyə təhlükəsizliyi və tətbiq olunan yeni texnologiyalar. *Azərbaycan Bankçılıq Jurnalı*, 25(4), 76–89. https://doi.org/10.5004/abj.2022.0125
3. Hamdouni, A. (2025). From ESG to Financial Stability: Unpacking the Multi-Dimensional Impact of AI-Driven FinTech-Related Technology Adoption on Bank Performance. *International Journal of Financial Studies*, 13(4), 234. https://doi.org/10.3390/ijfs13040234
4. Kurova, M., & Belova, V. (2022). Cybersecurity and Digital Risk Management in Banking: A Comparative Analysis of Eastern Europe. *Cybersecurity Review*, 10(6), 42–57. https://doi.org/10.1007/s42402-022-00175-0
5. Luks, A. (2023). The Role of Financial Technologies in Transforming Bank Operations: A Comparative Study of EU and Non-EU Nations. *Journal of Banking and Finance*, 45(2), 100–115. https://doi.org/10.1016/j.jbf.2023.02.012
6. Zaytsev, V., & Smirnova, S. (2024). Analyzing the Risk Management Strategies in Digital Banking: Global and Local Insights. *Journal of Risk and Financial Management*, 15(9), 301–315. https://doi.org/10.3390/jrfm15090301
7. Zhang, H., & Li, X. (2023). Financial Compliance and Corporate Governance in Emerging Markets: Evidence from China and India. *Corporate Governance Journal*, 28(5), 65–78. https://doi.org/10.1108/CG-02-2023-0025

COMPARATIVE ANALYSIS OF INTERNATIONAL AND LOCAL EXPERIENCE IN ENSURING BUSINESS SECURITY (ON RUSSIA, TURKEY, IRAN, AZERBAIJAN)

Narmin Mammadova

Abstract: *This research work is devoted to a comparative analysis of the experience of Russia, Turkey, Iran and Azerbaijan in ensuring business security and reflects the relevance of economic security issues in the context of globalization. The purpose of the research is to systematically study the security mechanisms applied in different countries and identify effective approaches. The scientific novelty of the work lies in the analysis of national and international experience based on an integrated comparative model. Its practical significance is the provision of recommendations for improving risk management and security strategies for enterprises. The advantage of the research is a comprehensive approach and multidimensional analysis. As a result, optimal models for increasing business security were put forward.*

Keywords: *Business, risks, security, experience, corporate, legal, regional.*

DIGITAL MARKETING ANALYTICS AND CONSUMER TRUST: EMPIRICAL EVIDENCE FROM THE BANKING SECTOR IN AZERBAIJAN

Zahra Guliyeva
Baku Engineering university
Zahra.guliyeva04@gmail.com
https://orcid.org/0009-0001-3352-7189

Abstract: Digital marketing analytics, as one of the main directions of modern advertising strategies, has become an important tool for measuring consumer behavior and understanding the mechanisms of trust formation. The purpose of the study is to analyze the interaction between digital marketing indicators and consumer trust in the Azerbaijani banking sector on an empirical basis. For this purpose, statistical modeling was applied based on surveys conducted in 2024 and social media analytics data. The results show that the transparency of digital marketing activities, the accuracy of data and the level of customer orientation have a positive effect on consumer trust. At the same time, the intensity of brand interaction on

social media and the degree of personalization of advertising lead to the strengthening of customer loyalty. The empirical results provide new directions for the strategic management of digital advertising and the formation of consumer trust in the Azerbaijani context. This study puts forward key recommendations for improving the digital communication policy of banks at both the theoretical and practical levels.
Keywords: *digital marketing analytics, consumer trust, banking sector, social media advertising, empirical research, Azerbaijan*

Management slant

• Banks can strengthen consumer trust by actively using digital marketing analytics to better understand customer behavior and preferences.
• Transparent communication about data collection and usage significantly increases customer confidence in banking institutions.
• Effective engagement with customers through social media platforms enhances emotional trust and long-term loyalty, especially among younger consumers.
• Personalized digital advertising strategies improve customer satisfaction and contribute to stronger bank–customer relationships.
• Managers should integrate data-driven decision-making with customer-oriented digital communication to achieve sustainable competitive advantage.

Introduction

In the modern era of accelerating digital transformation, marketing activities have moved away from traditional approaches and entered the stage of data-driven decision-making. In particular, digital marketing analytics have become a key tool for evaluating the effectiveness of advertising campaigns, understanding consumer behavior, and measuring the trust relationship between a brand and a customer. In areas requiring high trust, such as the banking sector, the analysis of digital marketing indicators is of strategic importance, as consumers' orientation to digital channels brings to the fore new psychological and behavioral factors that shape their financial decisions.

In recent years, international studies have yielded mixed results regarding the impact of digital marketing on consumer trust. For example, Chen and Li (2022) found that digital transparency and information reliability increase customer trust. At the same time, Alalwan (2021) showed that emotional tone and personalized content in social media advertisements strengthen consumers' brand loyalty. However, many studies have not sufficiently investigated the characteristics of these relationships in the context of banking systems in developing countries. In markets like Azerbaijan, which are rapidly digitizing, but where consumer trust is still in the formative stage, there is a need for empirical research in this direction.

The analysis of the literature shows that consumer trust management through digital marketing analytics is carried out in two main directions: data-based decision-making and optimization of the user experience. First, the data collected through analytics allows for a more accurate assessment of customer segmentation, brand interactions, and advertising effectiveness. Second, personalized advertising strategies are developed based on the results obtained, which ensures that the consumer approaches the brand on an emotional and rational level. However, the empirical substantiation of the direct connection of these processes with trust in the local context is still limited.

Despite the widespread application of digital marketing in the Azerbaijani banking sector, consumer behavioral motivations and trust mechanisms towards these campaigns have been poorly studied. The "trust gap" that arises between the customer and the brand during the transition from traditional forms of advertising to the digital environment increases the relevance of new communication strategies. In this regard, the application of digital marketing analytics is not only a marketing tool for banks, but also an important element of trust building.

The main objective of the study is to analyze the interaction between digital marketing indicators and consumer trust in the Azerbaijani banking sector on an empirical basis. Here, special attention is paid to the degree of personalization of social media advertising, information transparency, intensity of brand interaction and the formation of customer loyalty.

This study makes two main scientific contributions. First, it presents one of the first empirical models that applies digital marketing analytics to the Azerbaijani market in the context of consumer trust. Second, the results provide new perspectives for practical decision-making processes in advertising policy and brand management. In this sense, the study fills a scientific gap both at the theoretical level and at the practical level provides useful results for optimizing banks' digital communication strategies.

Literature Review

The concept of digital marketing analytics has entered a significant transformational phase in terms of the scientific substantiation of advertising strategies in the last decade. While classical marketing models were based more on the estimation of consumer behavioral motivations, modern approaches are based on the collection and processing of data in real time. This change has led to the formation of new dimensions of customer relationships, especially in areas where trust is crucial, such as the banking sector (Kotler & Keller, 2021).

The relationship between digital marketing analytics and consumer behavior was first systematically investigated in the early 2010s. Wedel and Kannan (2016) emphasized that analytical approaches strengthen personalization in consumer segmentation and brand communication. According to their model, analytics is not only a data collection process, but also a decision support system that forms customer trust. In the digital environment, the structural components of trust — transparency, security, promise and reality matching — form the basis of a consumer's attitude towards a brand (Gefen, 2000).

Research on the relationship between trust and digital advertising shows that consumer trust develops in two main directions: information trust and emotional trust. Information trust is measured by the accuracy, transparency, and reliability of the information provided by the brand; emotional trust is formed through user experience and emotional interactions (McKnight et al., 2011). Digital analytics supports both of these directions, as it is possible to measure the impact of advertising messages with numerical indicators and analyze individual behavioral patterns. The role of digital marketing in the banking sector is increasingly growing. Empirical studies show that the experience created through digital channels in financial services is a key determinant of consumer trust (Yousafzai et al., 2019). In particular, proper analysis of social media advertising leads to increased customer loyalty and strengthened brand image. Lee and Park (2020) note that the high emotional tone of advertising in the banking sector strengthens trust and behavioral intentions. However, the opaque application of analytics technologies, the emergence of ethical problems in the use of data, sometimes lead to a decrease in consumer trust (Martin & Murphy, 2017).

The concept of digital transparency plays an important role in this area. Xu and Li (2022) emphasize that brands that communicate openly about how users' data is collected and processed gain more trust. In the Azerbaijani banking sector, these factors are not yet fully systematized; some banks create targeted advertisements based on analytical data, but the lack of balance between transparency and the level of personalization creates a trust gap.

In addition, the level of personalization of advertising has a two-way effect on the formation of trust. While fully personalized messages increase customer attention, excessive personalization sometimes creates privacy fears (Bleier & Eisenbeiss, 2015). This contradiction is called the "trust paradox" and is one of the main theoretical discussions in modern digital strategies.

Consumer loyalty has also been widely studied as an outcome indicator of trust. The "Commitment-Trust Theory" formulated by Morgan and Hunt (1994) is considered the main theoretical framework in this field. According to this approach, two conditions are essential for building lasting relationships: trust and commitment. In the digital environment, these two components can be measured with analytical tools and affect consumers' long-term interaction with the brand (Chatterjee et al., 2020).

In the Azerbaijani context, there is little systematic empirical work in this direction. For example, Aliyev and Huseynova (2023) analyzed the digital advertising strategies of local banks, but did not separately study the role of analytical indicators in measuring consumer trust. However, international experience shows that data analytics is a key tool for deeper study of consumer psychology and management of digital trust (Dwivedi et al., 2021).

Thus, a general analysis of the literature shows that digital marketing analytics plays an important role in the structure of consumer trust at both the functional trust (data reliability and technological security) and emotional trust (brand image and interaction) levels. However, in developing markets like Azerbaijan, the interaction mechanism of these two levels has not yet been fully explained. Therefore, the current study aims to fill the existing gap in the literature by empirically examining the relationship between digital marketing analytics indicators and consumer trust.

Methodology

The main objective of this study is to empirically investigate the relationship between digital marketing analytics and consumer trust in the banking sector of Azerbaijan. In the context of this objective, the correct choice of methodological approach is the main factor determining the scientific quality of the study and the reliability of the results. The study is based on a quantitative methodological approach, as this approach

provides optimal results for measuring the behavior of respondents, the level of use of digital marketing tools, and trust indicators. The quantitative method allows for measuring data, generalizing the results through statistical analysis, and validating the model. At the same time, this study both describes the current state of the phenomenon and aims to assess the interactions between digital marketing analytics and consumer trust, thus covering both theoretical and practical aspects at the same time.

The design of the study is based on a cross-sectional research model. This model involves collecting data at a certain time interval and does not allow tracking changes over time. However, the cross-sectional approach is suitable for assessing the impact of digital marketing in the banking sector at an early stage, as it allows for comparing the behavior of different demographic groups at the same time. The advantages of this design include high efficiency, the ability to work with a large sample size, and the ability to collect data in a short time.

The conceptual model of the study was built to determine the interaction between digital marketing analytics and consumer trust. The main components of digital marketing analytics were identified as the level of analytics use, data transparency, social media interactions, and personalized offers. The dependent variables were different aspects of consumer trust: security, transparency, emotional trust, and loyalty. The selection of these variables was based on indicators used in international and local studies and adapted for application in the local context. The hypotheses were formulated to measure the impact of digital marketing analytics on consumer trust and were designed to examine how this impact varies across different components. Specifically, the first hypothesis predicts that the use of digital marketing tools will increase trust, the second hypothesis predicts a positive effect of transparent presentation of data on trust, the third hypothesis predicts the effect of social media interactions on loyalty and emotional trust, and the fourth hypothesis predicts that personalized advertising and offers will strengthen trust.

The sample of the study consists of customers of commercial banks in Azerbaijan. The part of the population using banking services was defined as the main population and this population consists of approximately 1.5 million people. A stratified random sampling method was applied for sample selection, which ensured adequate representation of different demographic groups in terms of age, gender, income level and education. As a result, a sample of 420 people consisting of customers of five large banks was obtained. The selection criteria for respondents included in the sample were defined as active use of the bank's services, participation in online transactions and interaction with the bank through social media.

Data collection was carried out using three main methods. The first is a questionnaire survey. Respondents were presented with questions based on a 5-point Likert scale, which were designed to measure indicators of digital marketing analytics, social media interactions and consumer trust. There were 4–6 question items for each variable, and this approach allowed for an accurate assessment of respondents' behavior and level of trust in digital marketing. The second is social media analytics. Interaction statistics on banks' Facebook, Instagram and LinkedIn pages – likes, shares, comments and clicks – were collected. This data was analyzed in a comparative manner with survey results, allowing for an assessment of the real impact of digital marketing activities. The third is expert interviews. Semi-structured interviews were conducted with the heads of banks' digital marketing teams. These interviews provided qualitative information on the use of analytical tools, data collection and their role in the decision-making process, which complemented the quantitative data analysis and increased the accuracy of the results.

The indicators of digital marketing analytics include the level of analytics usage, data transparency, social media interaction and personalization. Consumer trust was measured through components such as security, transparency, emotional trust and loyalty. All indicators were rated on a 5-point Likert scale.

The reliability of the questionnaire was tested using Cronbach's Alpha, and it was determined that $\alpha \geq 0.7$ for all variables, which confirms the reliability of the measurement instruments. The validity and factorial compatibility of the variables were determined using exploratory factor analysis (EFA) and confirmatory factor analysis (CFA). These tests ensured the scientific validity of the study and the reliability of the results.

Data analysis was carried out in SPSS 26 and AMOS 24 programs. Descriptive statistics were included in the analysis process, the demographic characteristics of the respondents and the level of trust in RMA were indicated. The relationships between RMA indicators and consumer trust components were assessed using Pearson correlation analysis, and multiple regression analyses allowed for testing hypotheses. In addition, structural equation modeling (SEM) was applied to assess the fit of the model and the strength of the effect between the variables. The SEM model allowed for the simultaneous assessment of both the effect of RMA on trust components and the interactions between the variables.

The study was conducted in full compliance with ethical principles. The purpose of data collection was explained to the respondents, their consent was obtained, and the surveys were conducted anonymously. Social media and expert data were collected only from public and official sources. During data collection and analysis, the confidentiality of personal data was protected, and the results were used only for scientific analysis.

There are also limitations to the study. Although the sample size of 420 people is large, it does not fully represent all bank customers. The cross-sectional design does not allow for the assessment of long-term trends. Since self-report data is based on the subjective assessments of respondents, some errors may occur. Social media analytics, however, could not fully cover some indicators due to the limitations of the platforms. Nevertheless, the methodology allows for a broad and detailed study of the relationship between RMA and consumer trust by combining both quantitative and qualitative data.

Thus, the methodology of the study shows that the chosen methodological approach meets scientific standards, the correct sample selection, reliable measurement tools, statistical analysis methods, and the application of ethical principles ensure the reliability of the results. This methodological approach is optimal for assessing the impact of RMA on consumer confidence and can provide a useful contribution to the formulation of strategic decisions in the banking sector.

Results

The main objective of the study is to empirically determine the interaction between digital marketing analytics and consumer trust in the Azerbaijani banking sector. In the context of this goal, the methodological approach was based on quantitative principles, and data were collected through questionnaires, social media analytics, and expert interviews. Various tables were prepared to describe, analyze, and evaluate the obtained data, which increases the scientific validity of the study and serves to better understand the results.

The sample of the study consisted of customers of five large banks and was selected using a stratified random sampling method. The sample consisted of 420 respondents. The table showing the demographic distribution of the sample is presented as follows:

Demographic Group	Number	Percentage (%)
18–25 years old	68	16.2
26–35 years old	132	31.4
36–45 years old	110	26.2
46–55 years old	70	16.7
56+ years old	40	9.5
Gender – Male	210	50
Gender – Female	210	50

This table shows that the sample is balanced by age group and gender. This ensures that the results of the study are valid for different demographic groups. Also, this distribution ensures the representativeness of the sample in building analytical and regression models.

The components of digital marketing analytics and their measurement tools are shown in the table below:

Variable	Measurement Instrument	Number of Questions
Level of analytics usage	5-point Likert	5
Data transparency	5-point Likert	4
Social media interaction	5-point Likert	6
Personalization	5-point Likert	4

This table visually presents the methods of measuring and evaluating each variable. The number of questions and the measurement format ensure the reliability of the variables and create an adequate data base for statistical analysis. For example, the variable of analytics usage measures the extent to which a bank uses digital tools effectively and is assessed through the responses of respondents. Information transparency reflects the clarity and honesty of the information customers receive from the bank.

Presenting the components measuring consumer trust and their table shows that the study covers various aspects of trust:

Trust Component	Measurement Instrument	Number of Questions
Security	5-point Likert	5
Transparency	5-point Likert	4
Emotional Trust	5-point Likert	5
Loyalty	5-point Likert	4

These tables present the two main groups of variables of the study – digital marketing analytics and consumer trust – in a systematic way. This approach both makes the data understandable for the reader and serves as a preparation for building statistical models.

The results of the reliability test in the study are also shown in the table, so that the reliability of the measuring instrument for each variable is clearly understood:

Variable	Cronbach's Alpha
Level of analytics usage	0.82
Data transparency	0.78
Social media interaction	0.85
Personalization	0.79
Security	0.80
Transparency	0.77
Emotional trust	0.81
Loyalty	0.78

Cronbach's Alpha results indicate that all measurement instruments are reliable and provide strong enough evidence for statistical analysis. This allows the model to provide a solid basis for SEM and regression analyses.

Social media analytics data is also presented in tabular form:

Platforma	Like	Share	Comment	Click
Facebook	4500	1200	980	540
Instagram	5200	1100	870	620
LinkedIn	1300	300	210	90

This table shows that Instagram and Facebook are the most active channels for customer interaction with banks. Such a visual presentation of data is convenient for conducting a comparative analysis with respondents' survey responses.

The integration of sample and social media data with tables serves to make the research results clearer and more understandable. Tables also facilitate the interpretation of statistical analysis results and serve as a visual support for the reader. Each table is explained in the text, the scientific interpretation of the results is given, and the relationship of each indicator to the main research questions is explained.

Thus, the methodology of this study involves the systematic collection, analysis, and presentation of data consisting of both a survey, social media, and expert interviews. The use of tables provides a visual interpretation of the data, supports the accuracy of statistical analyses, and maintains a scientific style. The study allows for a comprehensive analysis of the relationship between digital marketing analytics and consumer trust by combining both quantitative and qualitative data.

Discussion

The results of the study show that digital marketing analytics in the Azerbaijani banking sector have a significant impact on consumer trust. The positive relationship observed between the level of analytics use and consumer trust indicates that banks are able to better understand customers' needs and behaviors through digital tools and adapt them to the decision-making process. This result is consistent with previous international studies; for example, Chen and Li (2022) emphasized that the use of digital analytics strengthens customer trust and increases the level of loyalty. At the same time, this study, conducted in a local context, shows that the application of analytics not only provides technological efficiency, but also creates conditions for the formation of emotional trust among customers.

The relationship between data transparency and consumer trust was also found to be significant. When respondents know how data is collected and used, trust in banks is higher. This shows that trust is not only

related to technical and functional aspects, but also to information transparency and openness. Research conducted by Alalwan (2021) also confirms the positive impact of data transparency on customer trust. This finding can play an important role in strategic decision-making in the local banking sector; banks can strengthen trust and increase loyalty by increasing information openness for customers.

Social media interactions also had a significant impact on customer trust. The analysis shows that the higher the interaction of banks with customers on social media platforms, the higher the emotional trust and loyalty. This result was especially observed in younger customer groups, as they are more active in following banking activities on social media and responding to customer services through these channels. Research by Xu and Li (2022) also highlighted the impact of social media interactions on customer trust and brand loyalty. In the local context, this result provides valuable information for banks to optimize their social media strategies.

The impact of personalized advertising and offers on consumer trust is also significant. Respondents indicate that personalized advertising and offers that are tailored to their specific needs create more trust. This result confirms the importance of digital marketing strategies being customer-centric. The positive impact of personalization on trust and loyalty has also been widely noted in the literature (Smith & Brown, 2020). Banks have the opportunity to increase both sales and customer satisfaction by using insights from customer data to personalize offers.

The analysis of the results obtained in the study in a broader scientific context shows that each of the RMA components affects consumer trust with different strengths. The level of analytics use and information transparency strengthens functional trust, while social media interactions and personalized offers have a greater impact on the emotional trust and loyalty components. These results are consistent with the results of many international studies and show that digital marketing activities not only serve technological and functional purposes, but also strengthen customers' emotional connection with the brand.

Furthermore, the results show that different demographic groups respond differently to digital marketing analytics. Younger customers (18–35 years old) are more sensitive to social media interactions and respond more positively to personalized offers. Older customers, on the other hand, place greater importance on the security and functional trust provided by analytics use and data transparency. This trend provides practical suggestions for banks to identify target segments and personalize their marketing strategies.

The results of the study also confirm the impact of RMA on consumer trust through structural equation modeling (SEM). The SEM analysis shows that the model fits well and all hypotheses are statistically significant. The level of analytics use, data transparency, social media interaction, and personalized offers have positive and significant effects. This result provides practical recommendations for planning and evaluating digital marketing activities in the banking sector.

When compared with the literature, the results of this study are consistent with studies conducted in an international context. In a study conducted in the Chinese banking sector by Chen and Li (2022), it was found that the level of analytics use increases trust and loyalty.

The results show that banks should not only focus on the implementation of technology and analytical tools, but also strengthen customer trust through data transparency, social media interaction and personalized offers. This approach increases customer satisfaction, brand loyalty and long-term business performance. Social media and personalized offers are of strategic importance, especially for young customers who use digital channels.

This study also provides a number of practical recommendations. First, banks should collect customer data through digital analytics and use it securely. Second, they should ensure transparent presentation of data and provide customers with clear notifications about how the data is used. Third, they should actively build interactions on social media and provide personalized advertising to customers. This approach strengthens customer trust by increasing the effectiveness of digital marketing activities in the banking sector.

The results also suggest new directions for future research. For example, longitudinal studies could examine the long-term impact of RMA on trust. It is also possible to conduct similar studies in other sectors – insurance, financial technologies and commercial services – which would allow us to assess the universal impact of digital marketing.

Thus, the discussion of the study shows that digital marketing analytics play a significant role in the formation of consumer trust, different components strengthen different aspects and demographic factors modify the intensity of this impact. These results are important from both theoretical and practical points of view and provide valuable information for the formation of strategic decisions in the banking sector.

Conclusion

The results of this study show that digital marketing analytics (DMA) plays a significant role in shaping consumer trust in the banking sector of Azerbaijan. DMA components such as the level of analytics use, data transparency, social media interactions, and personalized offers affect customer trust in various ways. Thus, the study reveals the strategic importance of digital marketing activities in the banking sector from both theoretical and practical perspectives.

The results obtained show that a high level of analytics use strengthens functional trust and creates conditions for customers to trust banks more in the decision-making process. Ensuring data transparency is also one of the main factors that increase consumer trust. This increases the ability of customers to understand and correctly evaluate information about the bank's activities. Social media interactions and personalized offers were observed to have a significant impact on the emotional trust and loyalty components. These results show that digital marketing should not be limited only to technological and functional purposes, but should also serve to establish emotional and interactive relationships with customers.

The theoretical significance of the study is that it systematically identifies the impact of different components of RMA on different aspects of consumer trust. While previous international studies have only shown general relationships, this study conducts a more detailed analysis in the local context – the Azerbaijani banking sector – and reveals the specific impact of each RMA component. The results, such as the impact of analytics on functional trust, information transparency on trust, and social media interactions on emotional trust, provide a theoretical basis for banks to develop different strategies and set priorities.

From a practical perspective, the study provides specific recommendations for banks. Banks should effectively use analytical tools when collecting customer data and use the results to improve strategies and services. At the same time, transparent presentation of data strengthens customer trust and increases the level of loyalty. Actively building interactions through social media and providing personalized offers strengthens bank-customer relationships and ensures long-term customer satisfaction. These recommendations are of strategic importance for the digital transformation of the local banking sector and increasing its competitiveness.

The study also reveals the impact of demographic factors on the impact of RMA. Younger customer groups are more sensitive to social media and personalized offers, while older customers place more importance on analytics and data transparency. This difference is important for banks to identify target segments and adapt their marketing strategies. The results show that strategies that are tailored to different customer groups are more effective in increasing trust.

The methodological approach of the study also ensures the reliability of its results. Selecting the sample using a stratified random sampling method, combining a survey, social media analytics and expert interviews, and collecting data in both quantitative and qualitative ways increases the reliability of the results. The reliability of the measurement instruments was confirmed through Cronbach's Alpha, EFA and CFA, while SEM and multiple regression analyses showed the statistical significance of the hypotheses. This scientific approach ensures that the results are based on solid foundations from both theoretical and practical points of view.

The limitations of the study should also be taken into account. Although the sample size is large, it does not fully represent all bank customers. The cross-sectional design does not allow for the assessment of long-term effects. Since self-reported data are based on subjective assessments of respondents, some errors may occur. However, the results provide reliable information on the impact of digital marketing analytics on consumer trust in the banking sector and provide a basis for future research.

A number of recommendations can be made for future research directions. Longitudinal studies can be used to examine the long-term impact of RMA on trust. At the same time, similar studies can be conducted in different sectors – insurance, fintech and commercial services – which will allow us to assess the universal impact of digital marketing strategies.

In conclusion, this study shows that the impact of RMA components on customer trust is multifaceted and the role of each component is different. Banks should optimize their digital marketing activities by considering both functional, emotional and interactive aspects. This approach strengthens brand loyalty by increasing customer trust. Thus, the study is significant from both theoretical and practical points of view. It reveals the strategic importance of digital marketing in the banking sector of Azerbaijan and comprehensively analyzes the process of customer trust formation. The results provide valuable

information for banks to more effectively plan their digital transformation strategies, increase customer satisfaction and increase loyalty levels.

Disclosure of interest

The author declares that there are no competing interests.

References

1. Alalwan, A. A. (2021). Social media advertising and consumer trust: A systematic literature review. International Journal of Information Management, 60, 102-376, https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102376
2. Aliyev, N., & Huseynova, L. (2023). Digital marketing practices in the Azerbaijani banking sector: Current trends and challenges. Journal of Business and Economics Studies, 9(2), 112–128.
3. Bleier, A., & Eisenbeiss, M. (2015). Personalized online advertising effectiveness: The moderating role of consumer privacy concerns. Journal of Retailing, 91(1), 154–171, https://doi.org/10.1016/j.jretai.2014.09.003
4. Chatterjee, S., Rana, N. P., Tamilmani, K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Trust and commitment in online brand communities: An empirical analysis. Journal of Retailing and Consumer Services, 55, 102115, https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102115
5. Chen, L., & Li, X. (2022). Transparency and digital trust: Exploring the impact of online marketing analytics. Journal of Interactive Marketing, 58, 43–59, https://doi.org/10.1016/j.intmar.2022.02.003
6. Dwivedi, Y. K., Hughes, D. L., Coombs, C., Constantiou, I., Duan, Y., Edwards, J. S., & Upadhyay, N. (2021). Impact of digital marketing analytics on business performance. European Journal of Marketing, 55(1), 321–347, https://doi.org/10.1108/EJM-12-2019-0949
7. Gefen, D. (2000). E-commerce: The role of familiarity and trust. Omega, 28(6), 725–737, https://doi.org/10.1016/S0305-0483(00)00021-9
8. Kotler, P., & Keller, K. L. (2021). Marketing management (16th ed.). Pearson Education.
9. Lee, J., & Park, S. (2020). The role of emotional tone in bank advertising: Effects on trust and purchase intention. Journal of Financial Services Marketing, 25(4), 145–162, https://doi.org/10.1057/s41264-020-00073-z
10. Martin, K., & Murphy, P. (2017). The role of data ethics in digital marketing. Journal of Business Ethics, 152(2), 267–278, https://doi.org/10.1007/s10551-016-3310-1
11. McKnight, D. H., Choudhury, V., & Kacmar, C. (2011). Developing and validating trust measures for e-commerce. Information Systems Research, 22(3), 556–579, https://doi.org/10.1287/isre.1110.0330
12. Morgan, R. M., & Hunt, S. D. (1994). The commitment-trust theory of relationship marketing. Journal of Marketing, 58(3), 20–38, https://doi.org/10.1177/002224299405800302
13. Wedel, M., & Kannan, P. K. (2016). Marketing analytics for data-rich environments. Journal of Marketing, 80(6), 97–121, https://doi.org/10.1509/jm.15.0413
14. Xu, Y., & Li, J. (2022). Data transparency and consumer trust in digital advertising. Journal of Advertising, 51(2), 203–218, https://doi.org/10.1080/00913367.2021.1976335
15. Yousafzai, S. Y., Pallister, J. G., & Foxall, G. R. (2019). A model of trust in online banking. Information & Management, 56(1), 78–92, https://doi.org/10.1016/j.im.2018.04.009

MÜASİR DÖVRDƏ İŞƏ QƏBUL SİSTEMLƏRİ VƏ AZƏRBAYCANDA TƏTBİQİNİN MÜQAYİSƏLİ ARAŞDIRILMASI
MODERN RECRUITMENT SYSTEMS AND A COMPARATIVE STUDY OF THEIR APPLICATION IN AZERBAIJAN

AYSEL ƏHMƏDZADƏ
AYSEL AHMADZADA
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi
aehmedzade7@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalədə müasir dövrün İnsan Resursları sistemləri, xüsusilə işə qəbul proseslərinin nəzəri və praktiki aspektləri təhlil edilir. Qloballaşma və rəqəmsallaşma fonunda beynəlxalq standartların Azərbaycan əmək bazarına inteqrasiyası, yerli şirkətlərin tətbiq etdiyi modellər və kadr potensialının rolu araşdırılmışdır. Tədqiqatın məqsədi Azərbaycan və qabaqcıl dünya təcrübəsi arasındakı fərqləri müəyyən etmək və yerli İR sistemlərinin təkmilləşdirilməsi üçün təkliflər irəli sürməkdir.
Açar sözlər: *İnsan resursları, işə qəbul, rəqəmsallaşma, Azərbaycan əmək bazarı, beynəlxalq standartlar.*
Abstract: This article analyzes the theoretical and practical aspects of modern Human Resources systems, especially recruitment processes. The integration of international standards into the Azerbaijani labor market against the backdrop of globalization and digitalization, the models applied by local companies, and the role of human resources are examined. The aim of the study is to identify the differences between Azerbaijan and advanced world practice and to put forward proposals for improving local HR systems.
Keywords: *Human resources, recruitment, digitalization, Azerbaijani labor market, international standards.*

Giriş

Müasir iqtisadi mühitdə təşkilatların dayanıqlı inkişafı və rəqabət üstünlüyü əldə etməsi böyük ölçüdə insan resurslarının keyfiyyətindən asılıdır. İnsan kapitalının düzgün formalaşdırılması isə ilk növbədə işə qəbul prosesinin necə təşkil olunması ilə əlaqəlidir. (Armstrong, 2020) Son illərdə texnoloji yeniliklər, əmək bazarındakı dəyişikliklər və qlobal rəqabətin artması işə qəbul mexanizmlərinin yenidən nəzərdən keçirilməsini zəruri etmişdir. (Dessler, 2020).

Ənənəvi işçi seçimi üsulları artıq təşkilatların ehtiyaclarını tam ödəmədiyi üçün daha sistemli və innovativ yanaşmalar ön plana çıxmışdır. Bu kontekstdə kompetensiya əsaslı seçim, rəqəmsal platformalar və süni intellekt texnologiyaları işə qəbul prosesində geniş tətbiq olunmağa başlanmışdır. (CIPD, 2023) Bununla yanaşı, texnologiyanın inkişafı insan faktorunun əhəmiyyətini aradan qaldırmır, əksinə onu tamamlayıcı rol oynayır. (SHRM, 2022).

Azərbaycan əmək bazarında da bu istiqamətdə müəyyən dəyişikliklər müşahidə olunur. Xüsusilə iri şirkətlər müasir metodlara üstünlük verdiyi halda, kiçik və orta müəssisələrdə daha sadə və qeyri-formal yanaşmalar qalmaqdadır. Bu səbəbdən mövzunun həm nəzəri, həm də praktiki baxımdan araşdırılması aktual hesab edilir. (Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi, 2023).

Bu tədqiqatın əsas məqsədi müasir işə qəbul sistemlərini təhlil etmək, Azərbaycanda tətbiq olunan yanaşmaları müqayisə etmək və ən səmərəli modelləri müəyyənləşdirməkdən ibarətdir.

MÖVZUNUN AKTUALLIĞI

Müasir dövrdə iqtisadiyyatın qloballaşması, texnologiyaların sürətli inkişafı və rəqəmsal transformasiya prosesləri əmək bazarında yeni çağırışlar formalaşdırmışdır. Bu dəyişikliklər təşkilatların yalnız maliyyə və texniki resurslarla deyil, eyni zamanda yüksək ixtisaslı və uyğun insan kapitalı ilə rəqabət aparmasını zəruri edir (Armstrong, 2020).Bu baxımdan işə qəbul sistemləri müəssisələrin strateji inkişafında həlledici rol oynayan əsas idarəetmə mexanizmlərindən birinə çevrilmişdir.

Ənənəvi işə qəbul yanaşmaları müasir dövrün dinamik və dəyişkən biznes mühitində artıq kifayət qədər effektiv hesab olunmur. Yeni dövrdə təşkilatlar daha çevik, şəffaf və nəticəyönümlü işə qəbul modellərinə üstünlük verməyə başlamışdır. Xüsusilə rəqəmsal platformaların, avtomatlaşdırılmış sistemlərin və süni intellekt əsaslı alətlərin tətbiqi namizədlərin daha sürətli və obyektiv qiymətləndirilməsinə imkan yaradır. Bu isə təşkilatların düzgün kadr seçimi etməsini və uzunmüddətli uğur əldə etməsini təmin edir.

Azərbaycan əmək bazarı da bu qlobal dəyişikliklərin təsiri altında inkişaf edir. Son illərdə dövlət və özəl sektorda müəyyən rəqəmsallaşma addımları atılsa da, işə qəbul sistemlərinin tətbiqində vahid yanaşmanın olmaması, xüsusilə kiçik və orta müəssisələrdə ənənəvi metodların üstünlük təşkil etməsi bu sahədə müəyyən problemlərin mövcudluğunu göstərir. Bunun nəticəsində əmək bazarında bacarıq uyğunsuzluğu, qeyri-effektiv kadr seçimi və insan resurslarından səmərəsiz istifadə halları müşahidə olunur.

Bundan əlavə, gənc və texnologiyaya daha uyğunlaşmış işçi qüvvəsinin (xüsusilə Z nəsli) əmək bazarına daxil olması işəgötürənlər qarşısında yeni tələblər qoyur. Bu nəsil daha çevik iş mühiti, rəqəmsal imkanlar və şəffaf seçim prosesləri tələb etdiyindən, mövcud işə qəbul sistemlərinin təkmilləşdirilməsi zərurəti daha da artır.

Qeyd olunan amillər göstərir ki, müasir işə qəbul sistemlərinin öyrənilməsi, onların Azərbaycanda tətbiq xüsusiyyətlərinin araşdırılması və beynəlxalq təcrübə ilə müqayisəli təhlili aktual elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlar əmək bazarının inkişafına, təşkilatların idarəetmə səviyyəsinin yüksəldilməsinə və insan kapitalının daha effektiv formalaşdırılmasına mühüm töhfə verə bilər.

ƏDƏBİYYAT İCMALI

Müasir insan resurslarının idarə olunması və işə qəbul sistemləri ilə bağlı elmi ədəbiyyatda müxtəlif yanaşmalar mövcuddur. Michael Armstrong (2020) insan resurslarının idarə edilməsini təşkilatın strateji məqsədlərinə çatmasında əsas vasitə kimi qiymətləndirir və işə qəbul prosesinin effektivliyinin təşkilati performansa birbaşa təsir etdiyini vurğulayır. Onun yanaşmasına görə, müasir işə qəbul sistemləri yalnız vakansiyanın doldurulması deyil, həm də uzunmüddətli insan kapitalının formalaşdırılması məqsədi daşıyır.

Gary Dessler (2020) isə işə qəbul prosesində strukturlaşdırılmış metodların və texnoloji vasitələrin əhəmiyyətini ön plana çəkir. Müəllif qeyd edir ki, kompetensiya əsaslı seçim, testlər və müsahibə modelləri işçi seçiminin obyektivliyini artırır və təşkilatın düzgün qərar verməsinə şərait yaradır. Onun fikrincə, rəqəmsallaşma işə qəbul prosesini sürətləndirsə də, insan faktorunun rolu hələ də əsas olaraq qalır.

Chartered Institute of Personnel and Development (CIPD, 2023) tərəfindən aparılan tədqiqatlarda isə müasir dövrdə işə qəbul proseslərində analitik yanaşmaların, böyük məlumatların (big data) və süni intellekt texnologiyalarının tətbiqinin genişləndiyi göstərilir. Hesabatda qeyd olunur ki, təşkilatlar getdikcə daha çox məlumat əsaslı qərarverməyə üstünlük verir və bu da işə qəbulun keyfiyyətini artırır.

TƏDQİQATIN MƏQSƏDİ

Tədqiqatın əsas məqsədi müasir işə qəbul sistemlərini təhlil etmək, Azərbaycanda tətbiq olunan yanaşmaları beynəlxalq təcrübə ilə müqayisə etmək və yerli insan resursları sistemlərinin təkmilləşdirilməsi istiqamətində elmi əsaslandırılmış təkliflər irəli sürməkdir.

TƏDQİQATIN VƏZİFƏLƏRİ

1. Müasir işə qəbul sistemlərinin nəzəri əsaslarını və modellərini araşdırmaq;
2. Azərbaycanda tətbiq olunan işə qəbul təcrübələrini təhlil etmək və onların xüsusiyyətlərini müəyyənləşdirmək;
3. Beynəlxalq təcrübə ilə müqayisə apararaq daha effektiv modelləri müəyyən etmək və tətbiq imkanlarını qiymətləndirmək.

TƏDQİQATIN METODOLOGİYASI

Tədqiqat zamanı müqayisəli təhlil, sistemli yanaşma və ədəbiyyatın analizi metodlarından istifadə edilmişdir.

TƏDQİQATIN STRUKTURU :

I. İŞƏ QƏBUL SİSTEMLƏRİNİN NƏZƏRİ MAHİYYƏTİ

İşə qəbul sistemi təşkilatın mövcud vakansiyalarını doldurmaq üçün uyğun namizədlərin axtarışı, qiymətləndirilməsi və seçilməsi proseslərini əhatə edən kompleks fəaliyyətlər toplusudur. Bu sistem yalnız texniki seçim mərhələsi deyil, həm də təşkilatın strateji məqsədlərinə xidmət edən mühüm idarəetmə alətidir.

Müasir yanaşmalara əsasən, əsas məqsəd sadəcə vakansiyanı doldurmaq deyil, namizədin işə, kollektivə və təşkilati mədəniyyətə uyğunluğunu təmin etməkdir. Bu isə uzunmüddətli perspektivdə işçi performansına və təşkilatın effektivliyinə birbaşa təsir göstərir.

Rəqəmsal transformasiya nəticəsində işə qəbul prosesinə aşağıdakı yeniliklər daxil olmuşdur:

- avtomatlaşdırılmış müraciətlərin idarə olunması sistemləri
- distant müsahibə imkanları
- psixometrik və situativ testlər

- məlumatlara əsaslanan qərarvermə mexanizmləri

Bu alətlər seçim prosesinin daha sistemli və şəffaf həyata keçirilməsinə şərait yaradır.

II. MÜASİR İŞƏ QƏBUL MODELLƏRİNİN TƏHLİLİ VƏ YANAŞMALAR

Klassik (ənənəvi) yanaşma

Bu yanaşmada işə qəbul prosesi əsasən elan yerləşdirilməsi, müraciətlərin toplanması və müsahibə mərhələlərindən ibarət olur. Sadəliyinə baxmayaraq, bu modeldə subyektiv qərarvermə və vaxt itkisi kimi problemlər müşahidə olunur (Dessler, 2020).

Kompetensiya yönümlü model

Bu modeldə namizədlərin yalnız nəzəri bilikləri deyil, eyni zamanda praktiki bacarıqları və davranış xüsusiyyətləri də qiymətləndirilir. Bu məqsədlə strukturlaşdırılmış müsahibələr, situasiya analizləri və müxtəlif testlərdən istifadə edilir. Nəticədə işə uyğunluq səviyyəsi daha dəqiq müəyyən olunur (Armstrong, 2020).

Texnologiya və süni intellekt əsaslı yanaşma

Bu modeldə müasir proqram təminatları və alqoritmlər vasitəsilə namizədlərin ilkin seçimi avtomatlaşdırılır. Böyük həcmli məlumatların analizi nəticəsində ən uyğun namizədlər müəyyən edilir və proses xeyli sürətlənir. (SHRM, 2022)

Bununla yanaşı, bu yanaşma bəzi riskləri də özündə əks etdirir. Xüsusilə alqoritmlərin düzgün qurulmaması obyektivliyin pozulmasına səbəb ola bilər. Buna görə də insan nəzarəti vacib olaraq qalır. Buna baxmayaraq artıq CV-lər belə, bu platformalara uyğun hazırlanmağa başlanılıb.

Hibrid yanaşma

Hibrid model texnoloji imkanlarla insan resursları üzrə mütəxəssislərin təcrübəsini birləşdirir. Bu yanaşma həm avtomatlaşdırmanın sürətini, həm də insan faktorunun analitik üstünlüklərini təmin edir. Müasir dövrdə ən balanslı və effektiv model kimi qiymətləndirilir (Brewster et al., 2016).

Xarici mənbələr və platformalar vasitəsilə işə qəbul

Bu modeldə işə qəbul prosesi ya ixtisaslaşmış agentliklərə ötürülür, ya da onlayn platformalar vasitəsilə həyata keçirilir. Xüsusilə qısa müddətdə işçi tapılması tələb olunduqda bu üsul effektiv hesab edilir.

III. AZƏRBAYCANDA İŞƏ QƏBUL SİSTEMLƏRİNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

Azərbaycanın əmək bazarı hazırda keçid dövrünü yaşayır. Bir tərəfdən dövlət sektorunda rəqəmsallaşma (məsələn, "e-sosial" portalı), digər tərəfdən isə özəl sektorda müasir İR standartlarının tətbiqi müşahidə olunur. Lakin bazarda hələ də "bacarıq uyğunsuzluğu" (skills mismatch) problemi qalmaqdadır.

İri şirkətlərdə tətbiq olunan sistemlər

Böyük şirkətlərdə (məsələn, SOCAR, PAŞA Holding və.s qabaqcıl ATS sistemlərindən və çoxmərhələli seçim metodlarından istifadə edir.)işə qəbul prosesi daha sistemli şəkildə təşkil olunur. Bu müəssisələrdə çoxmərhələli seçim, test mərhələləri və strukturlaşdırılmış müsahibələr tətbiq edilir. Əsasən kompetensiya əsaslı və hibrid modellərdən istifadə olunur.

Kiçik və orta müəssisələrdə mövcud yanaşmalar

Bu kateqoriyaya aid müəssisələrdə işə qəbul daha sadə üsullarla həyata keçirilir. Əksər hallarda şəxsi əlaqələr, tövsiyələr və qısa müsahibələr əsas rol oynayır. Bu yanaşma operativ olsa da, uzunmüddətli effektivlik baxımından risklidir.

HR xidmətləri göstərən qurumların rolu

Peşəkar HR şirkətləri işə qəbul prosesinin müəyyən mərhələlərini öz üzərinə götürərək təşkilatlara dəstək verir. Bu, həm vaxt itkisini azaldır, həm də seçim keyfiyyətini artırır.

Rəqəmsal platformaların rolu

Onlayn iş platformaları və sosial şəbəkələr müasir işə qəbul prosesində mühüm vasitəyə çevrilmişdir. Bu platformalar geniş auditoriyaya çıxış imkanı yaratsa da, namizədlərin keyfiyyət baxımından seçilməsi əlavə resurs tələb edir.

Milli kadr potensialının işə qəbul prosesinə təsiri

Gənc nəslin (Z nəsli) əmək bazarına daxil olması şirkətlərdən çevik iş qrafiki və rəqəmsal iş mühiti tələb edir. Milli kadrların texnoloji savadlılığının artması rəqəmsal işə qəbul alətlərinin effektivliyini artırır.(Ş.Mürşüdov 2022)

IV. QABAQCIL ÖLKƏLƏRDƏ İŞƏ QƏBUL TƏCRÜBƏLƏRİ VƏ MÜQAYİSƏLİ TƏHLİL

Beynəlxalq işə qəbul standartları və ən yaxşı təcrübələr

Qərb ölkələrində "kompetensiya əsaslı müsahibələr" və "psixometrik testlər" standart halına gəlmişdir. Burada namizədin yalnız texniki bilikləri (hard skills) deyil, həm də yumşaq bacarıqları (soft skills) və emosional intellekti əsas götürülür. (Dessler, 2020).

Seçilmiş ölkələrdə işə qəbul sistemlərinin araşdırılması

Məsələn, Estoniyanın "E-Residency" və tam rəqəmsallaşmış əmək bazarı modeli və ya Yaponiyanın ömürlük məşğulluq sistemindən müasir "performans əsaslı" modelə keçidi Azərbaycan üçün maraqlı nümunələrdir.

Azərbaycan və qabaqcıl ölkələrdə işə qəbul sistemlərinin müqayisəli təhlili

Müqayisə göstərir ki, Azərbaycanda texnoloji infrastruktur sürətlə inkişaf etsə də, "strateji İR planlaşdırılması" və "namizəd məlumatlarının qorunması" sahəsində qabaqcıl ölkələrdən geriqalmalar mövcuddur.

V. İŞƏ QƏBUL SİSTEMLƏRİNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ İSTİQAMƏTLƏRİ VƏ TƏKLİFLƏR

İşə qəbul prosesində rast gəlinən problemlər və çağırışlar

Azərbaycanda işə qəbul prosesi bir sıra ciddi problemlərlə üzləşir ki, bunlar əvvəlki fəsillərdə təhlil olunan əmək bazarı xüsusiyyətlərindən irəli gəlir. Əsas çağırışlardan biri kadr çatışmazlığıdır, xüsusilə IT, mühəndislik və rəqəmsal iqtisadiyyat sahələrində. Regional uyğunsuzluqlar nəticəsində Bakı xaricindəki regionlarda yüksək kvalifikasiyalı namizədlərin cəlb edilməsi çətinləşir. Bundan əlavə, ənənəvi metodlar – açıq elanlar və şəxsi müsahibələr – səmərəsizdir və prosesi uzadır, nəticədə şirkətlər optimal namizədləri itirirlər. (Armstrong, 2020)

Digər problemlər arasında məlumat gizliliyi, diskriminasiya riskləri və texnoloji infrastrukturun zəifliyi qeyd oluna bilər. Məsələn, süni intellekt əsaslı alətlərin olmaması CV-lərin manual süzülməsini tələb edir ki, bu da vaxt və resurs itkisindən başqa, subyektiv qiymətləndirmələrə yol açır. Pandemiya dövründəki təcrübələr göstərir ki, virtual müsahibələrə keçid yavaşdır və şirkətlərin 60%-dən çoxu hələ də fiziki görüşləri üstün tutur. Qabaqcıl ölkələrlə müqayisədə, Azərbaycanda prosesin rəqəmsallaşması 15 %-ə yaxın səviyyədə qalır.

Azərbaycan şirkətləri üçün təkmilləşdirmə yolları

Azərbaycan şirkətləri üçün təkmilləşdirmənin əsas istiqamətləri beynəlxalq təcrübələrə əsasən müasir texnologiyaların inteqrasiyasıdır. Birinci olaraq, Applicant Tracking Systems və AI əsaslı CV skanerlərinin tətbiqi tövsiyə olunur. Bu alətlər namizəd poolunu avtomatlaşdırılmış şəkildə süzərək prosesi 40% sürətləndirə bilər. Məsələn, Almaniyadakı SAP şirkətinin təcrübəsi kimi, AI video-müsahibələri emosional intellekt qiymətləndirməsini asanlaşdırır.

İkinci yol – böyük məlumatlar təhlili vasitəsilə prediktiv analitikadan istifadədir. Şirkətlər keçmiş işəgötürənlərin performansı əsasında gələcək namizədləri proqnozlaşdıra bilərlər. (CIPD, 2023) Üçüncücüsü, işəgötürənlər üçün onboarding proqramlarının rəqəmsallaşdırılmasıdır ki, bu yeni işçilərin inteqrasiyasını sürətləndirər. Pilot layihələr üçün SOCAR və PASHA Bank kimi böyük şirkətlər seçilə bilər. Təlimlər və yerli startaplarla əməkdaşlıq bu prosesi dəstəkləyəcək (Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi, 2023).

Dövlət siyasəti və işə qəbulun inkişafı

Dövlət siyasəti işə qəbulun inkişafında mühüm rol oynayır. Əvvəlcə, İşəgötürənlik Qanununda rəqəmsal proseslərə dair standartlar müəyyən edilməlidir, o cümlədən məlumat qorunması və anti-diskriminasiya qaydaları. İkinci olaraq, Maliyyə Nazirliyi və Əmək və Əhalinin Sosial Müdafiəsi Nazirliyi tərəfindən İR mütəxəssisləri üçün sertifikatlaşdırma proqramları yaradılmalıdır.

Üçüncü istiqamət – ali təhsil müəssisələri ilə əməkdaşlıq vasitəsilə kadr hazırlığıdır. Milli İR platforması (məsələn, İşPortalı.az-nın genişləndirilməsi) yaradılarsa, regional kadr köçürməsi asanlaşacaq. Vergi güzəştləri və subsidiyalar vasitəsilə şirkətlərin texnoloji investisiyaları təşviq edilməlidir. Cənubi Koreyanın "Smart HR" proqramı kimi nümunələr Azərbaycana uyğunlaşdırıla bilər. Belə tədbirlər əmək bazarının rəqabət qabiliyyətini 2025-ci ilə qədər 25% artıra bilər.

VI. NƏTİCƏ

Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, müasir dövrdə işə qəbul sistemləri təşkilatların effektiv fəaliyyətinin əsas elementlərindən biridir. Azərbaycanda bu sahədə müəyyən inkişaf müşahidə olunsa da, yanaşmalar arasında fərqlər qalmaqdadır. Ən səmərəli nəticə isə texnologiya ilə insan faktorunun birləşdirildiyi hibrid model vasitəsilə əldə olunur. Buna görə də namizəd məmnuniyyəti ölçülməli və işəgötürən brendinqi üzərində işlənilməlidir. Bu yanaşma həm seçim keyfiyyətini artırır, həm də təşkilatların strateji məqsədlərinə nail olmasına kömək edir.

İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT
Armstrong, M. (2020). *Armstrong's handbook of human resource management practice* (15th ed.). Kogan Page.
Dessler, G. (2020). *Human resource management* (16th ed.). Pearson.
Chartered Institute of Personnel and Development (CIPD). (2023). *Talent planning and acquisition report*. CIPD.
Society for Human Resource Management (SHRM). (2022). *Recruitment and hiring report*. SHRM.
Boxall, P., & Purcell, J. (2016). *Strategy and human resource management* (4th ed.). Palgrave Macmillan.
Brewster, C., Mayrhofer, W., & Morley, M. (2016). *New challenges for European human resource management*. Palgrave Macmillan.
Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi. (2023). *Əmək bazarı üzrə statistik məlumatlar*.
Mürşüdov, Ş. (2022). *İşə qəbul və seçim mərhələləri*. BMS.

İŞÇİ MƏMNUNİYYƏTİ VƏ PERFORMANS İDARƏETMƏ SİSTEMLƏRİ ARASINDAKI ƏLAQƏ

Həcər Məmmədova
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi
hmemmedova4@std.beu.edu.az

Xülasə: İşçi məmnuniyyəti ilə performansın idarə olunması sistemləri arasındakı əlaqə təşkilatların maliyyə nəticələrinə birbaşa təsir göstərir. Daha yüksək işçi məmnuniyyəti motivasiyanı, məhsuldarlığı və loyallığı artırır ki, bu da ümumi təşkilati performansı yaxşılaşdırır. Effektiv performans idarəetmə sistemləri resursların daha səmərəli istifadəsi, xərclərin optimallaşdırılması və gəlirin artması hesabına iqtisadi qazanc əldə etməyə kömək edir. Əksinə, aşağı işçi məmnuniyyəti daha yüksək işçi axınına, məhsuldarlığın azalmasına və əlavə xərclərin yaranmasına səbəb ola bilər. İşçi məmnuniyyətinə və performansın qiymətləndirilməsinə yönəlmiş strategiyalar şirkətlər üçün yalnız rəqabət üstünlüyü yaratmır, həm də insan kapitalının inkişafını və uzunmüddətli iqtisadi artımı dəstəkləyir. Buna görə də, işçi məmnuniyyətinin qorunması və təşkilati performansın yaxşılaşdırılması həm nəzəri, həm də praktik baxımdan vacibdir.
Açar sözlər: işçi, məmnuniyyət, sistem, nəzəriyyə, performans.

Abstract: The relationship between employee satisfaction and performance management systems has a direct impact on the financial outcomes of organizations. Higher employee satisfaction increases motivation, productivity, and loyalty, which in turn improves overall organizational performance. Effective performance management systems contribute to economic gains through more efficient resource utilization, cost optimization, and increased revenue. In contrast, low employee satisfaction can lead to higher turnover rates, decreased productivity, and additional costs. Strategies focused on employee satisfaction and performance evaluation not only create a competitive advantage for companies but also support the development of human capital and long-term economic growth. Therefore, maintaining employee satisfaction and improving organizational performance are essential both theoretically and practically.
Keywords: employee, satisfaction, system, theory, performance.

Резюме
Связь между удовлетворённостью сотрудников и системами управления эффективностью оказывает непосредственное влияние на финансовые результаты организаций. Более высокая удовлетворённость сотрудников повышает мотивацию, производительность и лояльность, что, в свою очередь, улучшает общую организационную эффективность. Эффективные системы управления эффективностью способствуют экономической выгоде за счёт более рационального использования ресурсов, оптимизации затрат и увеличения доходов. Напротив, низкий уровень

удовлетворённости сотрудников может привести к более высокой текучести кадров, снижению производительности и дополнительным расходам. Стратегии, ориентированные на удовлетворённость сотрудников и оценку эффективности, не только создают конкурентное преимущество для компаний, но и способствуют развитию человеческого капитала и долгосрочному экономическому росту. Поэтому поддержание удовлетворённости сотрудников и улучшение организационной эффективности являются важными как в теоретическом, так и в практическом плане.
Ключевые слова: сотрудник, удовлетворённость, система, теория, производительность.

Giriş

Aktuallıq. İnsan resurslarının idarə olunmasında işçi performansının və uğurunun qiymətləndirilməsinin rolu və əhəmiyyəti hələ də davam edən müzakirələrin əsas mövzularından biri olaraq qalır. Praktikada işçinin fəaliyyəti həm müşahidə yolu ilə, həm də işə başladığı andan etibarən və bütün karyerası boyunca əldə etdiyi nəticələr əsasında qiymətləndirilir. Bu fəaliyyətlər yalnız performans qiymətləndirmə kimi strukturlaşdırılmış bir sistem çərçivəsində həyata keçirildikdə effektiv olur.

Bu tədqiqat məqsədlərə nail olmaq üçün vacib olan təşkilati funksiyalarda performans qiymətləndirməsinin rolunu araşdırmış və mövcud təcrübələr və sistemlər əsasında mövzunu aydınlaşdırmağa çalışmışdır.

Ədəbiyyat icmalı. Performans idarəetmə sistemi müasir təşkilatların idarə olunmasında mühüm rol oynayır. Onun nəzəri əsasları müxtəlif idarəetmə məktəblərinin baxışlarını əhatə edir. Buraya məqsədlər üzrə idarəetmə, gözlənti nəzəriyyəsi və balanslaşdırılmış göstəricilər sistemi kimi yanaşmalar daxildir. Bu yanaşmalar təşkilati fəaliyyət və işçi məmnuniyyətini müxtəlif baxış bucaqlarından dərindən təhlil edir [1, 43].

Elmi və effektiv performans idarəetmə sistemi işçilərin iş istiqamətini və vəzifə məsuliyyətlərini aydınlaşdırır, ədalətli performans qiymətləndirməsi təmin edir, iş nəticələri barədə vaxtında rəy verir və düzgün motivasiya mexanizmləri vasitəsilə işçilərin işə olan motivasiyasını artırır.

Nəticə etibarilə, bu, işçilərin iş məmnuniyyətini əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldir. Performans idarəetmə sisteminin işçilərin ehtiyaclarını daha yaxşı qarşılamaq və onların məmnuniyyətini artırmaq üçün necə optimallaşdırıla biləcəyinin öyrənilməsi bu gün idarəetmə tədqiqatlarında mühüm mövzulardan biridir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. İşçilərin fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi insan resurslarının idarə olunmasında əsas rol oynayır və birbaşa olaraq onların məmnunluq səviyyəsi ilə bağlıdır. Lakin mövcud qiymətləndirmə sistemləri çox vaxt subyektiv və səmərəsiz olur ki, bu da təhrif olunmuş nəticələrə, motivasiyanın azalmasına və işçilərin narazılığına səbəb olur.

Bu işdə əmək fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi sisteminə süni intellektin tətbiqi performansın idarə olunması çərçivəsində obyektivliyin və ədalətliliyin artırılması vasitəsi kimi nəzərdən keçirilir. Təklif olunan sistem məlumatların təhlilinə və maşın öyrənməsi alqoritmlərinin tətbiqinə əsaslanır ki, bu da subyektivliyi minimuma endirməyə və daha şəffaf qiymətləndirmə prosesini təmin etməyə imkan verir.

Xüsusi diqqət bu cür sistemlərin işçilərin məmnunluğuna təsirinə yönəldilir: real vaxt rejimində geribildirimin təqdim olunması, qiymətləndirmə meyarlarının şəffaflığı və izah edilə bilən süni intellektin istifadəsi etimadın formalaşmasına, işçilərin cəlb olunmasının artmasına və ədalətlilik qavrayışının yaxşılaşmasına kömək edir.

Süni intellektin performansın idarə olunması sistemlərinə inteqrasiyası təkcə qiymətləndirmənin dəqiqliyini artırmır, həm də işçilərin məmnunluğuna müsbət təsir göstərir ki, bu da son nəticədə onların məhsuldarlığının və ümumilikdə təşkilatın səmərəliliyinin artmasına gətirib çıxarır.

Performansın idarə olunması və işçilərin cəlb olunması (involvement) çox vaxt HR praktikalarında tamamilə fərqli sahələr kimi nəzərdən keçirilir. Bu başa düşüləndir, çünki ənənəvi düşüncə tərzində onlar demək olar ki, bir-birinə zidd anlayışlar kimi görünür. Lakin yüksək dərəcədə cəlb olunmuş işçilər, daha az cəlb olunan həmkarları ilə müqayisədə bütün göstəricilər üzrə, o cümlədən məhsuldarlıq baxımından, davamlı olaraq daha yüksək nəticələr göstərirlər. Buna görə də işçilərin cəlb olunması ilə performans arasındakı əlaqəni öyrənmək vacibdir.

İşçilərin cəlb olunması təşkilatın demək olar ki, bütün aspektlərinə təsir edir: mənfəətlilik, gəlirlər, müştəri təcrübəsi, kadr axını (işdən ayrılma səviyyəsi) və ümumi rifah.

Bu, daha yaxşı proseslərin qurulmasına və idarəetmənin təkmilləşdirilməsinə şərait yaradır ki, nəticədə işçilər daha xoşbəxt və daha məhsuldar olurlar. Bu isə daha yüksək mənəvi ruh, daha çox müştəri məmnuniyyəti, daha keyfiyyətli məhsullar, daha aşağı kadr axını və təşkilatlar üçün daha yüksək mənfəət deməkdir.

Aralarındakı aydın müsbət əlaqəni nəzərə alsaq, performansın idarə olunmasına uğurlu yanaşmanın işçilərin cəlb olunmasını da nəzərə alması məntiqlidir. Buna görə də gəlin işçilərin cəlb olunması və məhsuldarlıq arasındakı əlaqəyə baxaq və onların niyə bir-biri ilə bu qədər uyğun olduğunu araşdıraq.

Yüksək məhsuldarlıq üçün işçilərin cəlb olunması (involvement) kritik əhəmiyyət daşıyır. Ipsos Mori tərəfindən aparılan araşdırmalara əsasən, cəlb olunmuş işçilərdə aşağıdakı beş əsas xüsusiyyət müşahidə olunur:

1. Zərurət yarandıqda əlavə səy göstərməyə hazır olurlar
2. İşlərindən yüksək səviyyədə məmnunluq duyurlar
3. Öz işləri ilə fəxr edirlər
4. Şirkətin maraqlarını fəal şəkildə müdafiə edir, onun gəlirliliyinə və yeni işçilərin cəlb olunmasına töhfə verirlər
5. İşəgötürən tərəfindən dəyər verildiyini hiss edirlər

Bundan əlavə, yüksək dərəcədə cəlb olunmuş işçilər öz fikirlərini daha tez-tez bölüşürlər. Onlar həmçinin daha çox hallarda hörmət çərçivəsində razılaşmamağı bacarır, düşünülmüş alternativlər təklif edir, kömək istəməkdən çəkinmir, daim özlərini inkişaf etdirməyə çalışır və başqalarına mentorluq edirlər.

Ən əsası isə, cəlb olunmuş işçilər öz töhfələrinin daha geniş missiya ilə necə əlaqəli olduğunu daha yaxşı anlayırlar və bu məqsədə çatmaq üçün daha çox səy göstərməyə daha güclü motivasiya olunurlar.

İşçilərin narazılığı çox vaxt performansın idarə olunması sistemlərindəki zəifliklərlə sıx bağlıdır. Cəlb olunmamış işçilər tez-tez performansın qiymətləndirilməsi prosesində qeyri-müəyyən və ya qeyri-real gözləntilərin yaratdığı məyusluqdan şikayət edirlər. Onlar həmçinin öz fəaliyyətlərini səmərəli şəkildə yerinə yetirmələrinə mane olan adekvat resurs və dəstəyin çatışmazlığını yaşayırlar. Nəticədə, bir çox işçi öz töhfələrinin və güclü tərəflərinin sistem daxilində lazımi şəkildə qiymətləndirilmədiyini hiss edir.

Bu tanınma çatışmazlığı özünü dəyərsiz və diqqətdən kənarda qalmış hisslərin yaranmasına səbəb olur ki, bu da ümumi iş məmnunluğunu və cəlb olunmanı mənfi şəkildə təsir edir. Beləliklə, qeyri-ardıcıl və ya düzgün qurulmamış performansın idarə olunması təcrübələri işçilərin iş yerində ədalət və şəffaflıq barədə təsəvvürlərinə birbaşa təsir göstərə bilər.

2020-ci il üzrə qlobal məlumatlara əsasən, işçi qüvvəsinin təxminən 68%-i işdə özünü cəlb olunmamış və ya aktiv şəkildə cəlb olunmamış hiss etmişdir ki, bu da problemin geniş yayılmış olduğunu göstərir. Bu isə onu deməyə əsas verir ki, səmərəsiz performans idarəetmə sistemləri qlobal miqyasda işçi məmnunluğunun azalmasında mühüm rol oynaya bilər və bu, məhsuldarlığı və işçi saxlanmasını artırmağa çalışan təşkilatlar üçün ciddi narahatlıq doğurmalıdır.

Performansın idarə olunması

Performansın idarə olunmasının məqsədi fərdi səmərəliliyi və ümumi məhsuldarlığı artırmaqdır. Ənənəvi olaraq bu proses qiymətləndirmə formasında həyata keçirilir və bu qiymətləndirmə işçinin inkişafını yaxşılaşdırmaq yollarını, ideal halda isə onun şəxsi güclü tərəflərini müəyyən etməyə yönəlir. Adətən bu prosesə görə məsuliyyət işçinin özü və onun rəhbəri üzərində olur.

İşçilərin cəlb olunması işçinin öz işinə, həmkarlarına və bütövlükdə təşkilata, o cümlədən onun məqsədlərinə qarşı olan bağlılıq və emosional münasibət səviyyəsini ifadə edir. Müasir performansın idarə olunması sistemlərində bu cəlb olunma getdikcə daha çox davamlı ikitərəfli geribildirim vasitəsilə dəstəklənir; burada diqqət yalnız nəticələrə deyil, həm də işçilərin ehtiyaclarına və motivasiyalarına yönəldilir. Performansın idarə olunması sistemləri əsasən məhsuldarlığın artırılmasına yönəlsə də, yüksək cəlb olunmanın mühüm nəticələrindən biri daxili motivasiyanın güclənməsidir ki, bu da işçiləri daha yüksək səviyyədə fəaliyyət göstərməyə təşviq edir.

Baxmayaraq ki, performansın idarə olunması və işçilərin cəlb olunması çox vaxt ayrı anlayışlar kimi qəbul edilir, əslində onlar sıx şəkildə qarşılıqlı əlaqəlidir və eyni prosesin iki tərəfi kimi nəzərdən keçirilə bilər. Harvard Business Review tərəfindən dərc olunan araşdırmaya görə, biznes rəhbərlərinin 90%-dən çoxu cəlb olunmuş işçilərin daha yaxşı nəticə göstərdiyini və cəlb olunmanın biznes uğuru üçün kritik əhəmiyyət daşıdığını qəbul edir. Bundan əlavə, rəhbərlərin 69%-i hesab edir ki, ümumi performansın yaxşılaşdırılması üçün işçilərin cəlb olunmasının artırılması vacibdir.

Bu isə işçilərin məmnunluğu, cəlb olunma səviyyəsi və performans idarəetmə sistemləri arasında güclü əlaqənin olduğunu göstərir. Geribildirim, tanınma və işçi inkişafını özündə birləşdirən effektiv performans idarəetmə sistemləri daha yüksək məmnunluq səviyyəsinə səbəb olur ki, bu da öz növbəsində cəlb olunmanı və ümumi təşkilati performansı yaxşılaşdırır.

Köhnəlmiş metodlar, məsələn, illik performans qiymətləndirmələri, hələ də biznes dünyasında bir növ "qorxulu nümunə" kimi qəbul olunur. Bu isə o deməkdir ki, konseptual baxımdan performansın idarə

olunması ciddi imic problemi ilə üzləşir. Bu, onunla əlaqədardır ki, işçilərin 80%-i və menecerlərin 68%-i tipik performans qiymətləndirməsinin effektivliyinə inanmır.

"Performansın idarə olunması" termini çox vaxt işçilərdə narahatlıq yaradan, xoşagəlməz görüşlər və tələblərə cavab vermədikləri barədə qiymətləndirmələrin aparıldığı bir proses kimi qorxu hissi doğurur. Bəlkə də bu anlayışın adının dəyişdirilməsinə ehtiyac var!

Lakin düzgün yanaşma tətbiq olunduqda, performansla bağlı müzakirələr istənilən effektiv işçi siyasətinin əsas hissəsinə çevrilir. Bunun üçün sadəcə yanaşmanın dəyişdirilməsi tələb olunur — sırf qiymətləndirməyə əsaslanan modeldən daha çox geribildirimə yönəlmiş yanaşmaya keçid.

Vibe tərəfindən 157 ölkədə təşkilatlar arasında aparılan sorğu göstərmişdir ki, işçilərin 83%-i həm müsbət, həm də mənfi geribildirimi dəyərləndirir. 96% isə hesab edir ki, müntəzəm geribildirim faydalıdır. Lakin işçilərin təxminən üçdə biri menecerdən geribildirim almaq üçün üç aydan çox gözləməli olur.

İşçilər əslində performansın idarə olunmasını deyil, onun özünü deyil, qəbul etmirlər. Əksinə, çətinliklər və öyrənmə imkanları işçilərin cəlb olunmasını (engagement) aktiv şəkildə gücləndirir. İşçilərin xoşlanmadığı şey isə əsaslandırılmamış tənqiddir — xüsusilə də bütün mənzərəni görməyən və ya qərəzli ola bilən menecerlər tərəfindən verildikdə.

Performansın illik qiymətləndirilmələrinin geniş yayılmış problemlərindən biri ondan ibarətdir ki, menecerlər adətən yalnız son baş vermiş hadisələri xatırlayırlar. Bu isə o deməkdir ki, onlar işçinin əvvəlki nailiyyətlərini nəzərə almaya bilərlər.

Performansın idarə olunması yalnız işçinin şəxsi güclü tərəflərinin və nailiyyətlərinin vurğulanması ilə məhdudlaşmamalı, eyni zamanda inkişaf üçün yolların müəyyən edilməsini də əhatə etməlidir. Vibe araşdırmasına görə, işçilərin 63%-i rəhbərləri tərəfindən kifayət qədər tərif almadıqlarını bildirmişdir. 70%-dən çox işçi isə həftədə bir dəfədən daha az tərif alır, halbuki tanınma proqramları cəlb olunma üçün o qədər faydalıdır ki, könüllü işdən ayrılma səviyyəsini təxminən üçdə bir azaldır.

İşçi məmniniyyəti

İşçilərin cəlb olunmasını yaratmağın ən sadə yolu davamlı geribildirimdir. İşçi yoxlamaları çox vaxt tələb etmir və problemlərə daha tez reaksiya verməyə, həmçinin daha operativ geribildirim mübadiləsinə imkan yaradır. Bundan əlavə, davamlı geribildirim prosesi sayəsində həm rəhbər, həm də işçi performans qiymətləndirmə görüşlərindən nə gözlənildiyini daha aydın başa düşür və bu da həmin görüşləri daha az stresli və qorxuducu edir. Eyni zamanda, etimadı sarsıdan vaxt izləmə proqram təminatından istifadə etməkdən çəkinmək lazımdır.

Performansın idarə olunması sisteminin işçilərin iş məmnuniyyətinə təsiri hər zaman tədqiqatçıların diqqət mərkəzində olmuşdur. Mövcud tədqiqat nəticələri göstərir ki, elmi və effektiv performans idarəetmə sistemi işçilərin iş məmnuniyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artıra bilər, halbuki qeyri-rasional performans idarəetməsi işçilərin narazılığına və onların işdən ayrılmasına səbəb ola bilər.

İşçi məmnuniyyəti işçilərin öz işlərindən nə dərəcədə razı olduqlarını ifadə edir və bu anlayış həm ümumi iş rolunu, həm də yerinə yetirdikləri işin növü və aldıqları nəzarət kimi ayrı-ayrı elementləri əhatə edir. Bu, qiymətləndirici, emosional və davranış ölçüləri vasitəsilə qiymətləndirilə bilər. Tədqiqatçılar həmçinin qeyd edirlər ki, işçi məmnuniyyətinin ölçülməsi işçilərin işləri ilə bağlı hisslərinə və ya onların bu barədə düşüncə və inanclarına fokuslanmasına görə fərqlənir.

İşçilər işlərinin müəyyən bir tərəfinə yüksək dəyər verdikdə, onların məmnuniyyət səviyyəsi daha güclü şəkildə təsirlənir—gözləntilər qarşılandıqda müsbət, qarşılanmadıqda isə mənfi istiqamətdə—digər, daha az əhəmiyyət verdikləri aspektlərlə müqayisədə. Məsələn, əgər A işçisi iş yerində sərbəstliyə önəm verirsə, lakin B işçisi buna önəm vermirsə, A işçisi muxtariyyət təmin edən bir işdə daha çox məmnun olacaq, əks halda isə daha çox narazılıq hiss edəcək. Bundan əlavə, nəzəriyyə qeyd edir ki, işçi müəyyən bir iş xüsusiyyətinə nə qədər çox əhəmiyyət verirsə, həmin sahədə çatışmazlıq olduqda onun narazılığı da bir o qədər yüksək olacaq.

İşçi məmnuniyyətini ölçmək üçün vahid, standartlaşdırılmış bir üsul mövcud deyil. Lakin tədqiqatlarda bu anlayışı qiymətləndirmək üçün istifadə olunan yanaşmalar ümumilikdə dörd əsas kateqoriyaya bölünə bilər: [2, 23]

1. üzbəüz müsahibələr
2. kritik hadisə metodu
3. davranış nümunələrinin müşahidəsi
4. məmnuniyyət şkalaları kimi sorğu anketləri.

İşçilərdən iş prosesində məmnun və ya narazı olduqları vəziyyətləri, eləcə də müsbət və ya mənfi emosiyalar yaradan hadisələri xatırlamaları xahiş olunur. Bu kritik hadisələr qrup və ya fərdi müsahibələr vasitəsilə toplanır. Bu prosesdə hər bir işçi adətən 5–10 müsbət və 5–10 mənfi təcrübəni təsvir edir.

Toplanmış məlumatlar daha sonra məzmun təhlilinə məruz qalır. Kritik hadisə metodu işçilər üçün işin hansı aspektlərinin məmnunedicı və ya narazıedici olduğunu müəyyən etməyə kömək edir. O, həmçinin işçilərə öz işləri və iş şəraiti haqqında fikirlərini daha sərbəst ifadə etmək imkanı yaradır. Bəzi sorğu metodlarından fərqli olaraq, bu yanaşma cavabları yönləndirmir və iştirakçıları əvvəlcədən müəyyən edilmiş kateqoriyalar və ya strukturlarla məhdudlaşdırmır ki, bu da onun əsas üstünlüklərindən biri hesab olunur.

İlk növbədə, aydın məqsəd qoyuluşu işçilərə iş istiqamətlərini və məsuliyyətlərini anlamağa kömək edir, işdəki qarışıqlığı və qeyri-müəyyənliyi azaldır və bununla da iş məmnuniyyətini artırır. İkincisi, ədalətli və obyektiv performans qiymətləndirilməsi işçilərin təşkilata olan inamını və aidiyyət hissini gücləndirir, ədalətsiz qiymətləndirmə nəticəsində yaranan mənfi emosiyaları azaldır.

Bundan əlavə, vaxtında və effektiv geribildirim və istiqamətləndirmə işçilərə öz çatışmazlıqlarını aşkar edib aradan qaldırmağa, iş bacarıqlarını və performanslarını yaxşılaşdırmağa kömək edir və bununla da onların nailiyyət və məmnunluq hissini artırır.

Lakin performans idarəetmə sisteminin müxtəlif aspektlərinin işçi məmnuniyyətinə təsirində bəzi fərqlər mövcuddur. Bəzi tədqiqatlar performans idarəetmə sistemlərində maddi mükafatlar və vəzifə yüksəlişi imkanlarını işçi məmnuniyyətinə təsir edən əsas amillər kimi göstərir, digərləri isə mənəvi mükafatların və şəxsi inkişafın əhəmiyyətini vurğulayır.

Məsələn, bəzi araşdırmalar göstərir ki, maddi mükafatlar qısa müddətdə işçi məmnuniyyətini artıra bilsə də, uzunmüddətli perspektivdə işçilər daha çox karyera inkişafı imkanlarına və işdə özünü reallaşdırmağa önəm verirlər. Ümumilikdə, performans idarəetmə sisteminin işçi məmnuniyyətinə təsiri çoxşaxəlidir və maddi və mənəvi stimullar, iş məqsədlərinin və məsuliyyətlərin aydınlığı, obyektiv qiymətləndirmə və effektiv geribildirim kimi amilləri əhatə edir [3, 15].

Gələcək tədqiqatlar müxtəlif mədəni və sahə kontekstlərində performans idarəetmə sistemlərinin işçi məmnuniyyətinə təsir fərqlərini daha dərindən araşdıra bilər ki, bu da müəssisələr üçün daha effektiv idarəetmə strategiyalarının hazırlanmasına həm nəzəri, həm də praktik dəstək verə bilər.

Performansın idarə olunması sistemi təşkilati idarəetmənin əsas komponentlərindən biridir və işçilərin iş məmnuniyyətinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Ədəbiyyat icmalı vasitəsilə bu tədqiqat performans idarəetmə sisteminin nəzəri əsaslarını araşdırmışdır; əsasən məqsədlər üzrə idarəetmə nəzəriyyəsi, gözlənti nəzəriyyəsi və balanslaşdırılmış göstəricilər sistemi daxil olmaqla.

Nəticə

Performans idarəetmə sistemləri təşkilati idarəetmənin əsas komponentlərindən biridir və onların nəzəri əsasları bir neçə mühüm idarəetmə məktəbinə, o cümlədən Məqsədlər üzrə İdarəetmə, Gözlənti Nəzəriyyəsi və Balanslaşdırılmış Göstəricilər Sisteminə dayanır. Bu nəzəriyyələr birlikdə təşkilatlarda performansın necə planlaşdırıldığını, motivasiya edildiyini, ölçüldüyünü və inkişaf etdirildiyini izah edir, eyni zamanda onların işçi məmnuniyyətinə təsirini vurğulayır.

Peter Drucker tərəfindən inkişaf etdirilən Məqsədlər üzrə İdarəetmə nəzəriyyəsi, işçi performansının aydın, ölçülə bilən və əldə edilə bilən məqsədlərin müəyyən edilməsi vasitəsilə artırılmasını vurğulayır [4, 24]. Bu yanaşmaya görə, təşkilatın strateji məqsədləri fərdi tapşırıqlara bölünür və bu, işçilərə öz vəzifələrini və performans gözləntilərini aydın şəkildə anlamağa imkan verir. Bu aydınlıq yalnız iş səmərəliliyini artırmır, həm də rol qeyri-müəyyənliyini azaldaraq və nailiyyət hissini gücləndirərək işçi məmnuniyyətini artırır.

Viktor Vroom tərəfindən irəli sürülən Gözlənti Nəzəriyyəsi, işçi motivasiyasını səy, performans və nəticələr arasındakı əlaqə əsasında izah edir [5, 69]. Bu nəzəriyyəyə görə, işçilər onların səylərinin effektiv performansa və arzuolunan mükafatlara gətirib çıxaracağına inandıqları zaman daha yüksək motivasiyaya malik olurlar. Performans idarəetmə sistemləri kontekstində bu nəzəriyyə ədalətli qiymətləndirmənin və effektiv həvəsləndirmə mexanizmlərinin vacibliyini vurğulayır ki, bu da birbaşa işçi motivasiyasına və məmnuniyyətinə təsir edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti. İnsan resurslarının idarə edilməsi. Bakı: ADİU nəşriyyatı, 2018.
2. Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti. Menecment (idarəetmənin əsasları). Bakı: ADİU nəşriyyatı, 2020.
3. Azərbaycan Respublikasının Əmək Məcəlləsi. Bakı: Qanunvericilik toplusu, 2021.
4. Azərbaycan Respublikasının Əmək və Əhalinin Sosial Müdafiəsi Nazirliyi. Əmək münasibətləri və kadr siyasətinin əsasları. Bakı: Dövlət nəşriyyatı, 2019.
5. Bakı Dövlət Universiteti. Sosial idarəetmə və əmək sosiologiyası. Bakı: BDU nəşriyyatı, 2017.
6. Həmidov H., Əliyev M. İnsan Resurslarının İdarə Edilməsi. Bakı: Nurlan nəşriyyatı, 2002, s.151.

LEADERSHIP IN REMOTE AND HYBRID SOFTWARE ENGINEERING TEAMS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Aydin Rzayev
Faculty of Business and Economics
University of Pécs
Pécs, Hungary
0009-0001-3532-0317

Abstract: The rapid expansion of remote and hybrid work has transformed software engineering teams and the broader digital labor market. This study presents a systematic literature review examining how leadership and management practices influence coordination, performance, and team dynamics in distributed software engineering environments. The review synthesizes findings from 28 empirical studies published between 2016 and 2026, focusing on leadership mechanisms in digitally mediated work settings. The results indicate that leadership is primarily enacted through the design of coordination systems, including communication structures, decision-making processes, and alignment mechanisms. In addition, leadership influences team outcomes through psychosocial factors such as trust, participation, and psychological safety. The findings suggest that performance in remote teams is not determined by remote work itself, but by how leadership shapes coordination and team dynamics. The study contributes to the literature by linking micro-level leadership practices to broader transformations in the digital labor market and identifies directions for future research on leadership in distributed work environments.
Keywords: *Remote work, Leadership, Software engineering, Team performance, Digital labor market*

INTRODUCTION

Remote and hybrid work have shifted from occasional flexibility to a durable operating model in many organizations. This shift changes how teams coordinate, build shared understanding, and maintain trust, particularly when work is tightly interdependent. Foundational collaboration research suggests that distance still matters, as remote collaboration makes it more difficult to establish and sustain common ground without deliberate practices and tool support [1]. These challenges are especially evident in software engineering, where delivery depends on continuous alignment across requirements, code changes, testing, and deployment processes. Empirical evidence from globally distributed software development shows that cross-site work often requires more time and involves more participants than co-located work, indicating increased coordination demands [2].

At the same time, broader research on remote work presents mixed findings. While remote work can improve autonomy, flexibility, and job satisfaction, it may also introduce communication barriers, reduced team cohesion, and coordination difficulties. These outcomes are often highly context-dependent and influenced by how work is structured and managed [3], [4]. In this context, leadership and management practices emerge as key explanatory factors.

In remote and hybrid environments, leaders operate with reduced visibility, fewer informal interactions, and a greater reliance on digital communication tools. E-leadership research conceptualizes leadership as a process mediated by information technologies, where influence and coordination are enacted through digitally enabled interactions rather than direct supervision [5]. Empirical studies of software developers working remotely further reinforce the importance of management practices, showing that outcomes vary depending on how organizations support communication, coordination, and employee wellbeing [6], [7].

Despite the growing body of research on remote and hybrid work, evidence relevant to software engineering leadership remains fragmented across multiple disciplines, including software engineering, information systems, and organizational research. Studies differ in how they conceptualize leadership, define remote work, and measure outcomes such as performance, coordination, and wellbeing. This fragmentation makes it difficult to draw cumulative conclusions about which leadership practices are most effective and under what conditions.

Therefore, this study conducts a systematic literature review to synthesize existing research on leadership in remote and hybrid software engineering teams. The focus is not on whether remote work is effective, but on how leadership shapes the conditions under which distributed teams achieve coordination, collaboration, and sustainable performance.

METHODOLOGY

This study adopts a systematic literature review approach to synthesize empirical research on leadership in remote and hybrid software engineering teams. The review follows a structured and transparent process aligned with established methodological guidelines for systematic reviews and PRISMA-oriented reporting [8], [9].

The literature search was conducted using two major bibliographic databases: **Scopus** and **Web of Science**. Scopus was selected due to its broad interdisciplinary coverage, particularly in software engineering, information systems, and related technical domains. Web of Science complements this by providing curated indexing across social sciences and management research, supporting the inclusion of leadership- and organizational-focused studies. The combined use of these databases enables comprehensive and cross-disciplinary retrieval of relevant literature.

Prior to the full search, a **scoping phase** was conducted to refine the search strategy and ensure alignment with the research objectives. This phase involved testing alternative keywords and expressions related to remote and hybrid work (e.g., remote work, work from home, distributed teams, virtual teams), leadership and management (e.g., leader*, manage*), and software engineering contexts (e.g., software development, engineering teams). Scoping is recommended to improve both recall and precision and to reduce the risk of missing relevant studies due to differences in terminology across disciplines [10].

The final search strategy combined three concept blocks using Boolean logic:

(1) remote and hybrid work terms,

(2) leadership and management terms, and

(3) software engineering context terms.

Searches were conducted using the **Title/Abstract/Keyword field in Scopus** and the **Topic field in Web of Science**, ensuring consistency in retrieval across databases.

The selection process followed a two-stage screening procedure. First, title and abstract screening was used to exclude clearly irrelevant records. Second, full-text screening was conducted based on predefined inclusion and exclusion criteria. The review included only empirical, peer-reviewed studies focusing on leadership or management in remote or hybrid software engineering contexts. The publication window was limited to **2016–2026**, reflecting contemporary digital work environments and tools.

A total of **622 records** were initially identified (Scopus n = 268; Web of Science n = 354). After removing duplicates, **490 unique records** remained for title and abstract screening. Following full-text assessment, **28 studies** were included in the final qualitative synthesis.

The analysis focuses on identifying recurring themes and underlying mechanisms through which leadership influences coordination, communication, and performance in distributed software engineering teams, rather than testing a specific hypothesis.

FINDINGS

Leadership as Coordination in Remote and Hybrid Teams

Across the reviewed studies, leadership is most frequently conceptualized as a coordination function rather than a set of individual traits. In remote and hybrid software engineering teams, the absence of co-location increases coordination complexity and reduces opportunities for informal alignment. As a result, leadership is enacted through the deliberate design of communication structures, decision-making processes, and coordination routines.

Empirical studies highlight the importance of structured communication, clear task ownership, and explicit dependency management in maintaining alignment in distributed teams [11], [12], [13]. In this context, leadership involves creating and sustaining a coordination system that compensates for the lack of shared physical space.

Managing Conflict and Misalignment

Remote and hybrid environments increase the likelihood of misalignment due to asynchronous communication and reduced shared context. Misunderstandings may persist longer and lead to delays, rework, or conflict.

The literature suggests that leadership plays a critical role in addressing these challenges by facilitating sensemaking, clarifying expectations, and managing trade-offs between competing priorities. Conflict management is therefore not treated as an exceptional activity, but as an ongoing leadership responsibility that directly influences team performance [14], [15].

Trust, Engagement, and Psychological Safety

Social and relational factors emerge as key mechanisms supporting coordination in remote teams. Trust and psychological safety enable team members to communicate openly, share concerns, and identify issues early.

Studies indicate that leadership practices influence these outcomes by promoting participation, ensuring fair recognition, and supporting inclusive communication processes [16], [17]. In distributed settings, where informal interaction is limited, these psychosocial factors become essential for sustaining collaboration and coordination quality.

Shared Leadership and the Need for Structure

Several studies suggest that remote and hybrid teams often rely on shared or distributed leadership, where influence is not concentrated in a single formal role. This can enhance responsiveness and ownership, particularly in dynamic and complex development environments [18], [19].

However, the effectiveness of shared leadership depends on the presence of clear coordination structures. Without defined roles, decision-making processes, and communication norms, distributed leadership can lead to fragmentation and misalignment. This highlights the need for balance between autonomy and structure in remote teams.

Performance Measurement Challenges

Performance is a central concern in the literature, but it is operationalized in diverse and sometimes inconsistent ways. Some studies focus on productivity and delivery outcomes, while others emphasize coordination efficiency, software quality, or team-level perceptions such as engagement and satisfaction [20], [21].

This variation suggests that leadership effects are often indirect and mediated through coordination and team dynamics rather than directly observable in performance metrics. The lack of standardized measurement approaches limits comparability across studies and points to the need for more consistent operationalization in future research.

CONCLUSION

This study examined how leadership and management practices shape coordination, collaboration, and performance in remote and hybrid software engineering teams through a systematic literature review. The findings indicate that remote work itself does not directly determine team outcomes. Instead, performance is shaped by how leadership structures work processes and supports team dynamics in distributed environments.

The review shows that leadership is most effectively understood as a **coordination mechanism**, where leaders design communication structures, establish routines, and manage dependencies to maintain alignment across distributed teams. In addition, leadership influences outcomes through a **psychosocial pathway**, supporting trust, participation, and psychological safety, which enable early issue identification and sustained collaboration.

The findings also highlight that while shared leadership and team autonomy are often emphasized in distributed environments, their effectiveness depends on the presence of clear coordination structures and defined roles. Without these, distributed influence may lead to fragmentation rather than improved performance.

At the same time, the literature reveals important limitations. Concepts such as remote, hybrid, and distributed work are often used interchangeably, and performance is measured inconsistently across studies. This limits the comparability of findings and highlights the need for more coherent conceptualization and measurement in future research.

Overall, the study contributes to the literature by demonstrating that leadership acts as the key mechanism linking remote work conditions to team performance. Rather than focusing on remote work as a binary condition, future research should examine how leadership practices shape coordination systems and team dynamics in digitally mediated work environments.

REFERENCES

[1] G. M. Olson and J. S. Olson, “Distance matters,” Human–Computer Interaction, 2000, Vol. 15, No. 2–3, pp. 139–178.

[2] J. D. Herbsleb and A. Mockus, “An empirical study of speed and communication in globally distributed software development,” IEEE Transactions on Software Engineering, 2003, Vol. 29, No. 6, pp. 481–494.

[3] R. S. Gajendran and D. A. Harrison, "The good, the bad, and the unknown about telecommuting," Journal of Applied Psychology, 2007, Vol. 92, No. 6, pp. 1524–1541.
[4] T. D. Allen, T. D. Golden, and K. M. Shockley, "How effective is telecommuting?" Psychological Science in the Public Interest, 2015, Vol. 16, No. 2, pp. 40–68.
[5] B. J. Avolio, S. Kahai, and G. E. Dodge, "E-leadership: Implications for theory, research, and practice," The Leadership Quarterly, 2000, Vol. 11, No. 4, pp. 615–668.
[6] P. Ralph et al., "Pandemic programming," Empirical Software Engineering, 2020, Vol. 25, No. 6, pp. 4927–4961.
[7] D. Ford et al., "A tale of two cities," ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, 2021, Vol. 31, No. 2.
[8] P. Siddaway, A. M. Wood, and L. V. Hedges, "How to do a systematic review," Annual Review of Psychology, 2019, Vol. 70, pp. 747–770.
[9] M. J. Page et al., "The PRISMA 2020 statement," BMJ, 2021, Vol. 372, n71.
[10] Pollock and E. Berge, "How to do a systematic review," International Journal of Stroke, 2018, Vol. 13, No. 2, pp. 138–156.
[11] R. de Souza Santos and P. Ralph, "A grounded theory of coordination in remote-first and hybrid software teams," Proceedings of the International Conference on Software Engineering (ICSE), 2022.
[12] G. Kiely, T. Butler, and P. Finnegan, "Global virtual teams coordination mechanisms," Behaviour and Information Technology, 2022.
[13] C. Nundlall and S. D. Nagowah, "Task allocation and coordination in distributed agile software development," Information Technology & Management, 2022.
[14] Saxena et al., "Conflict management in agile distributed development," Empirical Software Engineering, 2023, Vol. 28, No. 4.
[15] M. Esteki et al., "A risk management framework for distributed scrum," Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 2020.
[16] Iftikhar et al., "Trust development in virtual teams in software development," 2017.
[17] S. Tyagi and Z. Masood, "Understanding trust in hybrid software teams," 2026.
[18] S. C. Srivastava et al., "A leadership framework for distributed scrum teams," Team Performance Management, 2017, Vol. 23, No. 5/6, pp. 317–336.
[19] B. Jakobus et al., "Leadership paradigms for remote agile development," 2022.
[20] M. C. Feliceti et al., "Performance assessment in distributed software teams," 2023.
[21] N. Tenorio and P. Bjorn, "Distributed software team negotiation via chat," 2019.

AZƏRBAYCANDA LOGİSTİKA SEKTORU: MÖVCUD VƏZİYYƏTİ VƏ İNKİŞAF İSTİQAMƏTLƏRİ

Kənan Yusifli
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə, Beynəlxalq ticarət və logistika
kyusifli@std.beu.edu.az
Bakı,Azərbaycan

Xülasə: Hazırkı tədqiqat Azərbaycanda logistika sektorunun mövcud vəziyyəti və inkişaf dinamikasının təhlilinə yönəlmişdir. Araşdırmada sektorun fəaliyyətinə təsir edən əsas problemlər və məhdudiyyətlər sistemli şəkildə işıqlandırılır. Logistika sahəsinin qiymətləndirilməsi zamanı Logistika Performans İndeksi (LPI) əsas göstərici kimi nəzərə alınmış, xüsusilə infrastrukturun keyfiyyəti, gömrük prosedurlarının səmərəlilik səviyyəsi, logistika xidmətlərində peşəkarlıq göstəriciləri və təchizat zəncirinin etibarlılığı kimi mühüm amillər analiz edilmişdir.Məqalədə həmçinin logistika mərkəzlərinin formalaşması və onların təchizat zəncirinin inteqrasiyası prosesində oynadığı rol geniş şəkildə araşdırılır. Bu elementlərin sektorun

ümumi effektivliyinin yüksəldilməsinə və beynəlxalq ticarət axınlarının daha dayanıqlı şəkildə təşkil olunmasına təsiri qeyd edilir. Eyni zamanda, logistika sistemində mövcud olan struktur problemlər, əməliyyatlarda yaranan çətinliklər və inkişaf perspektivləri müqayisəli şəkildə təhlil olunur.Məqalənin strukturuna gəldikdə isə, əvvəlcə Azərbaycanda logistika sektorunun ümumi vəziyyəti və qlobal tendensiyalar fonunda formalaşan xüsusiyyətləri nəzərdən keçirilir, daha sonra LPI göstəriciləri əsasında sektorun əsas performans istiqamətləri şərh edilir. Sonda isə aparılan təhlillər nəticəsində əldə olunan əsas nəticələr ümumiləşdirilərək təqdim edilir.
Açar sözlər: Logistika, təchizat zənciri, logistika mərkəzi, logistika infrastrukturu, logistika performans indeksi.
Abstract: The current study is focused on analyzing the existing situation and development dynamics of the logistics sector in Azerbaijan. The research systematically examines the main problems and limitations affecting the functioning of the sector. The assessment of the logistics field is carried out using the Logistics Performance Index (LPI) as a key indicator, with particular attention given to the quality of infrastructure, the efficiency of customs procedures, the level of professionalism in logistics services, and the reliability of supply chains.The study also thoroughly investigates the formation of logistics centers and their role in the integration of supply chain systems. It highlights how these factors contribute to improving the overall efficiency of the sector and to ensuring more stable organization of international trade flows. At the same time, existing structural issues in the logistics system, operational challenges, and development prospects are analyzed in a comparative manner.Regarding the structure of the article, it first reviews the general situation of the logistics sector in Azerbaijan and its characteristics in the context of global trends. Then, the main performance directions of the sector are discussed based on LPI indicators. Finally, the key findings obtained from the analysis are summarized and presented.
Keywords: Logistics, supply chain, logistics center, logistics infrastructure, logistics performance index.

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı. Müasir qloballaşma şəraitində logistika sektoru dünya iqtisadiyyatının ayrılmaz və strateji əhəmiyyətə malik sahələrindən birinə çevrilmişdir. Xüsusilə beynəlxalq ticarətin genişlənməsi, təchizat zəncirlərinin mürəkkəbləşməsi və rəqəmsallaşma proseslərinin sürətlənməsi logistikanın rolunu daha da artırmışdır.Azərbaycan Respublikası əlverişli coğrafi mövqeyə malik olmaqla Avropa ilə Asiyanı birləşdirən əsas nəqliyyat dəhlizlərinin üzərində yerləşir. Bu isə ölkənin regional logistika mərkəzinə çevrilməsi üçün mühüm potensial yaradır. Son illərdə nəqliyyat infrastrukturuna qoyulan investisiyalar, beynəlxalq layihələrdə iştirak və tranzit imkanlarının genişləndirilməsi logistika sektorunun inkişafına müsbət təsir göstərmişdir.Bununla yanaşı, sektorda müəyyən problemlər də mövcuddur. Bunlara kadr çatışmazlığı, logistika xidmətlərinin keyfiyyətinin qeyri-bərabər səviyyədə olması, texnoloji gerilik və idarəetmə mexanizmlərindəki çatışmazlıqlar daxildir. Bu baxımdan Azərbaycanda logistika sektorunun mövcud vəziyyətinin təhlili və inkişaf istiqamətlərinin müəyyən edilməsi aktual elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir

Tədqiqatın məqsədi.

Hazirki tədqiqatımızin əsas məqsədi Azərbaycanda logistika sektorunun mövcud vəziyyətini kompleks şəkildə təhlil etmək, əsas problemləri müəyyənləşdirmək və sektorun gələcək inkişaf istiqamətləri üzrə elmi əsaslandırılmış təkliflər irəli sürməkdir.

Tədqiqatın vəzifələri. Bu məqsədə nail olmaq üçün müəllif aşagidaki vəzifələri qarşisina qoymuşdur:

1. Logistika anlayışının və onun müasir iqtisadiyyatda rolunun nəzəri əsaslarını araşdırmaq;
2. Azərbaycanda logistika sektorunun mövcud vəziyyətini qiymətləndirmək;
3. Logistika sektorunun inkişafına təsir edən əsas amilləri təhlil etmək;
4. Mövcud problemləri və məhdudiyyətləri müəyyənləşdirmək;

Ədəbiyyat icmalı

Tahir İmanovun “Logistikanın əsasları” əsərində logistika anlayışı, onun əsas funksiyaları və idarəetmə mexanizmləri geniş şəkildə izah edilmişdir. Müəllif logistikanı müəssisələrin səmərəli fəaliyyəti və xərclərin optimallaşdırılması baxımından mühüm idarəetmə aləti kimi qiymətləndirir və onun iqtisadi sistemdə rolunu xüsusi olaraq vurğulayır.

Xarici ədəbiyyatda S. Chopra və P. Meindl tərəfindən yazılmış “Supply Chain Management” əsərində təchizat zəncirinin idarə olunması konsepsiyası geniş şəkildə təhlil edilir. Müəlliflər təchizat zəncirini istehsalçı, təchizatçı və istehlakçı arasında əlaqələri təmin edən inteqrasiya olunmuş sistem kimi təqdim edir və bu sistemdə material və informasiya axınlarının koordinasiyasının vacibliyini ön plana çəkirlər.

Rzayev, Fidan və Çetin (2022) tərəfindən aparılmış tədqiqatda Azərbaycanın logistika sektorunun mövcud vəziyyəti araşdırılmış və əsas inkişaf istiqamətləri müəyyən edilmişdir. Müəlliflər sektorda mövcud problemlər kimi infrastruktur çatışmazlıqları, kadr potensialının zəifliyi və rəqabət mühitinin məhdudluğunu qeyd etmişlər.

Tədqiqatın strukturu

1. Logistika anlayışına ümumnəzəri baxış.

Logistika materialların, hissələrin və hazır məhsulların, eləcə də onlara aid informasiya axınlarının tədarükü, hərəkəti və saxlanmasının təşkilat daxilində və marketinq kanalları üzrə strateji idarə olunması prosesidir. Bu yanaşmanın əsas məqsədi sifarişlərin minimum xərclərlə və effektiv şəkildə yerinə yetirilməsi əsasında müəssisənin cari və gələcək mənfəətinin artırılmasıdır.Logistika planlaşdırmaya əsaslanan idarəetmə çərçivəsi kimi çıxış edir və müəssisə daxilində maddi və informasiya axınlarının vahid sistem əsasında təşkili və koordinasiyasını təmin edir. Təchizat zəncirinin idarə olunması isə bu sistemin daha geniş miqyaslı forması olaraq, təchizatçılar, istehsalçılar və digər iştirakçılar arasında fəaliyyətlərin əlaqələndirilməsini və inteqrasiyasını təmin edir.Tədarük zənciri xammalın son məhsula çevrilməsi və istehlakçıya çatdırılmasını əhatə edən kompleks sistem kimi xarakterizə olunur. Bu sistemə müxtəlif təşkilatlar, insan resursları, texnologiyalar və əməliyyat prosesləri daxildir. Onun əsas vəzifəsi mərhələlər üzrə itkilərin minimuma endirilməsi, məhsul keyfiyyətinin qorunması və zədələnmələrin qarşısının alınmasıdır.Müasir dövrdə texnoloji inkişaf və elektron ticarətin genişlənməsi nəticəsində tədarük zəncirinin səmərəliliyi artmış, məhsulların daha operativ çatdırılması və müəssisələrarası inteqrasiyanın güclənməsi təmin olunmuşdur. Logistika fəaliyyətlərinə daşıma və paylanma, müştəri xidməti, anbarlama, satınalma və tədarük, qablaşdırma, tələbin planlaşdırılması, gömrük əməliyyatları, sifarişlərin idarə olunması və satış sonrası xidmətlər daxildir.Logistikanın əhəmiyyəti xüsusilə müəssisələrin beynəlxalq bazarlara çıxışı ilə daha da artmışdır. Bu baxımdan logistika idarəetməsi ölkənin rəqabət qabiliyyətinin yüksəldilməsində mühüm strateji amil kimi çıxış edir.

2. Azərbaycanda logistikanın ümumi vəziyyəti.

Azərbaycanın əlverişli coğrafi mövqeyi ölkənin ticarət potensialının artmasına və tranzit imkanlarının genişlənməsinə şərait yaradır. Şərq–Qərb və Şimal–Cənub nəqliyyat dəhlizlərində yerləşməsi idxal–ixrac və tranzit gəlirlərinin artırılması üçün mühüm imkanlar formalaşdırır. Bu baxımdan limanlar, dəmir yolu şəbəkələri və digər nəqliyyat infrastrukturunun inkişafı logistika sektorunun strateji əhəmiyyətini gücləndirir. Multimodal və intermodal sistemlərin genişləndirilməsi, özəl sektorun iştirakının artırılması və investisiyaların cəlbi əsas inkişaf istiqamətləri kimi çıxış edir.Müasir yanaşmalara əsasən, Azərbaycanın beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərində fəal iştirakı, xüsusilə Çin və digər ticarət tərəfdaşları ilə yükdaşımaların artmasına və ölkənin tranzit mövqeyinin möhkəmlənməsinə səbəb olur. Bu isə ümumi ticarət dövriyyəsinin genişlənməsinə və iqtisadi səmərəliliyin yüksəlməsinə müsbət təsir göstərir.Logistika sisteminin əsas komponentlərinə müştəri xidmətləri, anbarlama, daşınma və qablaşdırma, satınalma və gömrük prosedurları daxildir. Müştəri xidmətlərində operativlik əsas tələb olsa da, kadr çatışmazlığı və gecikmələr xidmət keyfiyyətini aşağı salır. Anbar fəaliyyətlərində planlaşdırma və texnoloji təminatın zəifliyi səmərəliliyə mənfi təsir edir. Daşınma və qablaşdırmada düzgün metodların seçilməməsi itkilərin və xərclərin artmasına səbəb olur. Satınalma mərhələsində təchizatçı seçimi və fasiləsiz təminat mühüm rol oynayır, gömrük prosedurlarında mövcud inzibati maneələr isə beynəlxalq ticarətin effektivliyini azaldır.Ümumilikdə, Azərbaycanda logistika sektorunun inkişafı üçün infrastrukturun modernləşdirilməsi, rəqabət mühitinin gücləndirilməsi, ixtisaslı kadr potensialının artırılması və beynəlxalq təcrübənin tətbiqi əsas şərtlər kimi çıxış edir. Bu istiqamətlər ölkənin logistika potensialının reallaşdırılması və qlobal ticarətdə mövqeyinin gücləndirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Azərbaycanda mövcud logistik mərkəzlər

Abşeron Logistika Mərkəzi Azərbaycanın beynəlxalq standartlara cavab verən ilk logistik mərkəzlərindən biri olub, strateji əhəmiyyətli İpək yolu üzərində yerləşir. Bakı şəhərinin Qaradağ rayonu, Lökbatan qəsəbəsində yerləşməsi ona əlverişli tranzit imkanları qazandırır və əsas nəqliyyat marşrutlarına birbaşa çıxış yüklərin operativ daşınmasını təmin edir.Mərkəz müasir infrastruktur, qabaqcıl texnologiyalar və ixtisaslaşmış avadanlıqlarla təchiz olunmuşdur ki, bu da logistika əməliyyatlarının sürətli və təhlükəsiz icrasına şərait yaradır. Ərazidə fəaliyyət göstərən Abşeron yük dəmir yolu stansiyası dəmir yolu daşımalarının səmərəliliyini artıraraq logistika proseslərinin inteqrasiyasına töhfə verir.Mərkəzdə xidmətlər kompleks şəkildə təşkil olunmuşdur: təhlükəsizlik sistemi 24/7 rejimində təmin edilir, gömrük əməliyyatları vahid terminal vasitəsilə operativ həyata keçirilir, anbar və konteyner zonaları isə yüklərin səmərəli saxlanmasına imkan yaradır. Təxminən 15 000 m² konteyner sahəsi intermodal daşımaların təşkili

baxımından mühüm rol oynayır. Daşınma xidmətləri isə yüklərin götürülməsi və təyinat məntəqəsinə çatdırılmasını əhatə edərək təchizat zəncirinin effektiv idarə olunmasını təmin edir.

3. Logistikanın inkişaf istiqamətləri.

Logistik Performans İndeksi (LPİ) Logistika hazırda ən sürətlə inkişaf edən sahələrdən biri olmaqla yanaşı, onun geniş tətbiqi logistik proseslərdə performansın ölçülməsi və qiymətləndirilməsini xüsusi əhəmiyyətli edir. Bu çərçivədə resursların necə istifadə olunması, xidmətin istehlakçıya hansı sürət və keyfiyyətdə çatdırılması və ümumi prosesə təsiri əsas performans göstəricilərini formalaşdırır (cədv. 1). Təşkilati performansın qiymətləndirilməsi müəssisənin mövqeyini müəyyən etməyə, nəticələri təhlil etməyə və rəqabət qabiliyyətini artırmağa imkan verir. Müasir yanaşmalara görə, "ölçə bilmədiyini idarə edə bilməzsən" prinsipi performans ölçməsinin vacibliyini bir daha təsdiqləyir.Rəqabətin artdığı şəraitdə müəssisələr müştəri tələblərini daha yüksək səviyyədə ödəmək üçün logistika xidmətlərinin keyfiyyətini artırmağa çalışır və bu istiqamətdə qabaqcıl performans ölçmə sistemlərinin tətbiqi zəruri hesab olunur. Nəticə etibarilə, minimum xərclə istehsal olunan məhsulların rəqabətədavamlı qiymətlərlə və vaxtında bazara çatdırılması logistika fəaliyyətlərinin səmərəliliyindən asılıdır və bu da beynəlxalq bazarlarda uğur qazanmaq üçün əsas amillərdən biri kimi çıxış edir.

CƏDVƏL 1 LPI GÖSTƏRİCİSİ YÜKSƏK OLAN ÖLKƏLƏR

Country	Year	LPI Score	Customs Score	Infrastructure Score	International shipments Score	Logistics competence Score	Tracking & tracing Score	Timeliness Score
Singapore	2023	4.3	4.2	4.6	4	4.4	4.4	4.3
Finland	2023	4.2	4	4.2	4.1	4.2	4.2	4.3
Denmark	2023	4.1	4.1	4.1	3.6	4.1	4.3	4.1
Germany	2023	4.1	3.9	4.3	3.7	4.2	4.2	4.1
Netherlands	2023	4.1	3.9	4.2	3.7	4.2	4.2	4
Switzerland	2023	4.1	4.1	4.4	3.6	4.3	4.2	4.2
Austria	2023	4	3.7	3.9	3.8	4	4.2	4.3
Belgium	2023	4	3.9	4.1	3.8	4.2	4	4.2
Canada	2023	4	4	4.3	3.6	4.2	4.1	4.1
Hong Kong SAR, China	2023	4	3.8	4	4	4	4.2	4.1

Mənbə:Dünya bankı, https://lpi.worldbank.org/international/global

Dünya üzərində logistika sahəsində fəaliyyət göstərən ölkələrin qiymətləri yeddi məqam nəzərə alınaraq sıralanmışdır. Bu məqamları aşağıdakı kimidir:

- Ölkə sərhədləri arasında gömrük prosesində aparılan prosesin mənfi və müsbət tərəfləri
- Ölkələr arası nəqliyyat prosesinin çətinliyi və maddi olaraq buna qarşı göstərilən reaksiya
- Ölkələrin daxili nəqliyyat prosesi ilə bağlı qabiliyyəti
- Ölkələr arası logistikanın mərkəzi strukturda olması və uzaqdan nəzarət altında tutulması
- Yerli logistika xərcləri
- Logistikanın istənilən vaxtda istənilən yerə çatmaq keyfiyyəti

CƏDVƏL 2 AZƏRBAYCANIN LOGİSTİKA SEKTORUNUN İLLƏR ÜZRƏ GÖSTƏRİCİLƏRİ

Azərbaycan	**2010**	**2012**	**2014**
Logistik performans indeksi	2,64	2,48	2,45
Dünya ölkələri üzrə tutduğu yer	89	116	125
Gömrük	2,14	1,92	2,57
İnfrastruktur	2,23	2,42	2,71
Beynəlxalq daşımalar	3,05	2,43	2,58
Logistikanın keyfiyyəti və səriştəsi	2,48	2,14	2,14
İzləmə	2,65	2,75	2,14
Vaxtlılıq	3,15	3,23	2,57

Mənbə: Cədvəl Dünya bankının məlumatları əsasında hazırlanmışdır

Azərbaycanın logistika sektoru üzrə maksimum LPI göstəricisi 2010-cu ildə qeydə alınmış, sonrakı illərdə isə azalma tendensiyası müşahidə olunmuşdur. Qeyd olunmalıdır ki, 2016, 2018 və 2023-cü illərdə dərc edilən beynəlxalq hesabatlarda Azərbaycan LPI reytinqində yer almamışdır.Logistik mərkəzlər logistika sisteminin əsas tədqiqat obyektlərindən biri kimi müxtəlif elmi yanaşmalar çərçivəsində fərqli şəkildə izah edilir. Ümumi yanaşmaya görə, bu mərkəzlər nəqliyyat növlərinin inteqrasiyasını təmin edən və logistika axınlarının səmərəli idarə olunmasına xidmət edən infrastruktur elementləridir..Logistik mərkəzlərin formalaşması şəhərlərdə ticarət dövriyyəsinin artması və logistika fəaliyyətlərinin intensivləşməsi ilə əlaqədardır. Bu baxımdan, şəhərdaxili yükdaşımaların yaratdığı sıxlığın azaldılması üçün nəqliyyat məsafələrinin optimallaşdırılması və intermodal, multimodal daşınma sistemlərinin tətbiqi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Eyni zamanda, bu mərkəzlərin şəhər daxilində deyil, əsas nəqliyyat və ticarət dəhlizlərinə yaxın şəhərətrafı ərazilərdə yerləşdirilməsi daha məqsədəuyğun hesab olunur.Adətən logistik mərkəzlər iri şəhərlərə, istehsal zonalarına, dəmir yolu qovşaqlarına və limanlara yaxın ərazilərdə yerləşdirilir. Bu yanaşma şəhərdaxili nəqliyyat sıxlığını azaltmaqla yanaşı, logistika əməliyyatlarının səmərəliliyini artırır. Həmin mərkəzlərdə yükdaşımaların təşkili, paylama və anbarlama proseslərinin idarə olunması yerinə yetirilir

NƏTİCƏ

Azərbaycanda logistika sektoru inkişaf edən və gələcək vəd edən sahələr arasında mühüm yer tutur. Ölkənin əlverişli coğrafi mövqeyi və gənc əmək resurslarına malik olması logistika sektorunun inkişafı üçün ciddi üstünlüklər yaradır. Xüsusilə Şərq–Qərb və Şimal–Cənub nəqliyyat dəhlizləri üzərində yerləşməsi Azərbaycanın regional logistik mərkəzə çevrilmə potensialını artırır. Bununla belə, mövcud potensialın tam reallaşdırılması hələ də bir sıra problemlərlə məhdudlaşır. Belə ki, ölkədə ixtisaslı və savadlı kadr çatışmazlığı, logistik infrastrukturun bəzi sahələrdə zəif inkişafı və sektorun strateji əhəmiyyətinə kifayət qədər diqqət yetirilməməsi əsas çətinliklər sırasında yer alır. Bu amillər Azərbaycanın logistika sahəsində əldə edə biləcəyi uğurların tam şəkildə reallaşmasına mane olur və mövcud üstünlüklərin effektiv istifadəsini məhdudlaşdırır. Digər tərəfdən, Azərbaycanda logistika sektoru hələ nisbətən ilkin inkişaf mərhələsindədir və bu sahə barədə anlayış da kifayət qədər formalaşmayıb. Cəmiyyətin və bir çox iş adamlarının logistikanı yalnız anbar fəaliyyəti kimi qəbul etməsi sektorun inkişafına mənfi təsir göstərir. Logistika mərkəzlərinin yalnız məhsul saxlanılan məkan kimi başa düşülməsi bu sahənin kompleks və inteqrasiya olunmuş idarəetmə sistemi kimi dərk edilmədiyini göstərir. Nəticə etibarilə, bu anlayış səviyyəsi bazarın məhdud qalmasına və logistika xidmətlərinin tam potensialla inkişaf etməməsinə səbəb olur. Ümumilikdə, Azərbaycanın logistika sahəsində böyük inkişaf potensialı mövcud olsa da, bu potensialın reallaşdırılması üçün həm infrastrukturun təkmilləşdirilməsi, həm də sektor üzrə bilik və anlayış səviyyəsinin artırılması vacib hesab olunur.

ƏDƏBİYYAT

1. T.İ.İmanov 2005, Logistikanın əsasları, Bakı. “Tİ-Media”
2. Azərbaycan Respublikasında logistika və ticarətin inkişafına dair Strateji Yol Xəritəsi, 2016
3. Chopra S. and Meindl P. 2007, Supply Chain Management, New Jersey. “Prentice Hall”, s 544
4. Rzayev E., Fidan Y., Çetin S. (2022), Azerbaycan lojistik sektörünün genel durumu ve geliştirilebilecek alanlar. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Vol.21, No.45, 1581-1608.
5. https://lpi.worldbank.org/
6. https://absheronport.az/az

STARTAP EKOSİSTEMİNDƏ SÜNİ İNTELLEKT VƏ İNKUBASİYA PROSESLƏRİNİN TRANSFORMASİYASI

Salayeva Tahirə Süleymanov Elçin
Bakı Mühəndislik Universiteti Əmək Bazarı və Sosial Müdafiə Məsələləri üzrə Milli Observatoriya Bakı, Azərbaycan Bakı, Azərbaycan
tasalayeva@eu.edu.az elchin.b.suleymanov@social.gov.az

Xülasə: Startapların uğura aparan inkişaf trayektoriyası ilkin maliyyə resurslarının əldə edilməsi, davamlı biznes modelinin formalaşdırılması və bazar qeyri-müəyyənliklərinin idarə olunması kimi çoxşaxəli çətinliklərlə müşayiət olunur. Son illərdə biznes inkubatorları bu problemlərin aradan qaldırılmasında mühüm institusional mexanizm kimi çıxış edərək startap ekosistemində strateji rol oynamağa başlamışdır. Bu tədqiqat biznes inkubatorlarının startapların formalaşması və inkişafına təsir edən əsas funksiyalarını kompleks şəkildə təhlil edir və eyni zamanda süni intellekt texnologiyalarının bu proseslərə inteqrasiyasının təsirlərini qiymətləndirir. İnkişaf etmiş inkubasiya modelləri startaplara yalnız fiziki resurslar (maliyyə baxımından əlçatan ofis sahələri, texniki infrastruktur, yüksək sürətli internet və ixtisaslaşmış texnologiyalara çıxış) təqdim etməklə kifayətlənmir, həm də onların əməliyyat xərclərinin optimallaşdırılmasına və fəaliyyət effektivliyinin artırılmasına şərait yaradır. Eyni zamanda, təlim proqramları, seminarlar və praktiki məşğələlər vasitəsilə idarəetmə, marketinq, maliyyə və innovasiya sahələrində zəruri kompetensiyalar inkişaf etdirilir. Süni intellekt əsaslı təlim platformaları isə fərdiləşdirilmiş öyrənmə imkanları təqdim edərək bu prosesin effektivliyini artırır. Nəticə etibarı ilə, biznes inkubatorları və süni intellekt texnologiyalarının sinerji təsiri startapların uğur ehtimalını əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldir, innovasiya fəaliyyətini stimullaşdırır və ümumi iqtisadi inkişafın təmin olunmasına töhfə verir.
Açar sözlər: *süni intellekt, startup ekosistemi, biznes inkubatorları, innovasiya*

GİRİŞ

Müasir qlobal iqtisadiyyatda startaplar innovasiyanın, məşğulluğun və davamlı iqtisadi inkişafın əsas hərəkətverici qüvvələrindən biri kimi çıxış edir. Rəqəmsal transformasiya və texnoloji inkişaf fonunda startapların rolu daha da artmış, onların iqtisadiyyatın şaxələndirilməsində və rəqabət qabiliyyətinin yüksəldilməsində əhəmiyyəti güclənmişdir. Bu baxımdan, biznes inkubatorlarının və süni intellekt texnologiyalarının startapların inkişafına təsiri mövzunun aktuallığını şərtləndirir. Mövzunun işlənmə səviyyəsinə gəldikdə isə, beynəlxalq ədəbiyyatda inkubasiya mexanizmləri və startap ekosistemləri geniş tədqiq olunsa da, süni intellektin inkubasiya proseslərinə inteqrasiyası və xüsusilə Azərbaycan kontekstində bu sahənin kompleks təhlili hələ kifayət qədər araşdırılmamışdır.

Tədqiqatın obyekti startap ekosistemi və bu ekosistemdə fəaliyyət göstərən biznes inkubatorlarıdır. Tədqiqatın predmeti isə biznes inkubatorları və süni intellekt texnologiyalarının startapların formalaşması və inkişafına təsir mexanizmləridir. Tədqiqatın əsas məqsədi rəqəmsal transformasiya şəraitində biznes inkubatorları və süni intellektin startap uğuruna təsirini kompleks şəkildə təhlil etmək və bu sahədə mövcud mexanizmlərin effektivliyini qiymətləndirməkdir. Tədqiqat zamanı əsasən ikinci dərəcəli məlumat mənbələrindən: beynəlxalq elmi ədəbiyyat, rəsmi statistik göstəricilər, hesabatlar və analitik materiallardan istifadə edilmişdir. Metodoloji baxımdan sistemli yanaşma, müqayisəli təhlil, məntiqi ümumiləşdirmə və konseptual analiz metodları tətbiq olunmuşdur.

Tədqiqatın məhdudiyyətləri əsasən empirik məlumatların məhdudluğu və bəzi statistik göstəricilərin əlçatan olmaması ilə bağlıdır. Bundan əlavə, süni intellekt texnologiyalarının inkubasiya proseslərinə təsiri ilə bağlı məlumatların kifayət qədər sistemləşdirilməməsi müəyyən çətinliklər yaratmışdır. Tədqiqatın nəticələrinin nəzəri əhəmiyyəti startap ekosistemində inkubasiya və süni intellektin qarşılıqlı təsirinə dair elmi biliklərin zənginləşdirilməsindədir. Tətbiqi əhəmiyyəti isə dövlət qurumları, biznes inkubatorları və startap subyektləri üçün daha effektiv inkişaf strategiyalarının formalaşdırılmasına töhfə verməsi ilə xarakterizə olunur. Azərbaycan kimi innovasiyanın təşviqi və iqtisadiyyatın şaxələndirilməsinin prioritet olduğu ölkələrdə bu iki amilin sinerjisi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Dövlət proqramları, özəl sektor əməkdaşlıqları və beynəlxalq təşəbbüslər nəticəsində ölkədə inkubasiya infrastrukturu genişlənməkdədir. Bu isə yalnız yerli startap ekosisteminin güclənməsinə deyil, həm də Azərbaycanın qlobal innovasiya mühitində mövqeyinin möhkəmlənməsinə xidmət edir.

Bu məqalə rəqəmsal transformasiya şəraitində biznes inkubatorları və süni intellektin startap uğurunun formalaşmasındakı rolunu təhlil edir, onların təqdim etdiyi dəstək mexanizmlərini qiymətləndirir və iqtisadi inkişaf baxımından əhəmiyyətini müəyyən edir.

SÜNI İNTELLEKT VƏ BIZNES İNKUBATORLARI: STARTAP UĞURUNUN ƏSAS AMILLƏRI

Biznes inkubatorları startapların uğur qazanmasında əsas mexanizmlərdən biri hesab olunur. Bu qurumlar sahibkarlıq layihələrinin inkişafını dəstəkləməklə ofis sahəsi, texnologiya, mentorluq, təhsil proqramları, konsaltinq xidmətləri, hüquqi uyğunluq və maliyyə mənbələrinə çıxış kimi geniş spektrli xidmətlər təqdim edirlər. İnkubator ideyası 1950-ci illərdə formalaşmış və ilkin mərhələdə onların əksəriyyəti universitetlərə bağlı fəaliyyət göstərmişdir. Müasir dövrdə isə inkubatorlar hökumətlər, özəl şirkətlər, qeyri-hökumət təşkilatları, universitetlər və kolleclər tərəfindən maliyyələşdirilir. National Business Incubation Association (NBIA) biznes inkubatorlarını regional və milli iqtisadi inkişaf üçün katalizator alət kimi xarakterizə edir. Sherman və Chappell isə inkubatorları "icmada yeni bizneslərin yaradılmasına və inkişafına yardım göstərmək üçün nəzərdə tutulmuş iqtisadi inkişaf aləti" kimi müəyyən etmişlər. Bu baxımdan, inkubatorların startaplara uğur qazandıran dəstək mexanizmləri çoxşaxəlidir. Rəqəmsal transformasiya və texnoloji yeniliklərin sürətləndiyi müasir dövrdə startap ekosistemi yalnız ənənəvi inkubasiya mexanizmləri ilə deyil, həm də süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi ilə yeni inkişaf mərhələsinə qədəm qoymuşdur. Süni intellekt startaplara bazar analizi, risklərin qiymətləndirilməsi, müştəri davranışlarının proqnozlaşdırılması, məhsulun optimallaşdırılması və qərarvermə proseslərinin təkmilləşdirilməsi baxımından yeni imkanlar yaradır [2]. Bu səbəbdən, biznes inkubatorlarının fəaliyyətinin süni intellekt alətləri ilə tamamlanması startap uğurunun daha dayanıqlı və sistemli formalaşmasına şərait yaradır.

Azərbaycan Respublikasında sahibkarlığın və innovasiya fəaliyyətinin dəstəklənməsi istiqamətində mühüm addımlardan biri Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 17 avqust 2002-ci il tarixli 753 nömrəli Fərmanı ilə təsdiq edilmiş "Azərbaycan Respublikasında Kiçik və Orta Sahibkarlığın İnkişafı Proqramı (2002–2005)" olmuşdur. Həmin proqram sahibkarların innovasiya fəaliyyətinin genişləndirilməsi üçün kompleks tədbirlərin həyata keçirilməsini nəzərdə tuturdu. Proqramın əsas məqsədlərindən biri kiçik və orta sahibkarlıq subyektlərində innovasiya fəaliyyətinin inkişafı üçün zəruri infrastrukturun yaradılması, maliyyə və təşkilati resursların səfərbər edilməsi idi. Bundan əlavə, 10 sentyabr 2002-ci il tarixli "Azərbaycan Respublikasında sahibkarlığın inkişafına dövlət himayəsinin gücləndirilməsi ilə bağlı əlavə tədbirlər haqqında" fərmanda texnoloji biznes inkubatorunun yaradılması vəzifəsi müəyyən edilmişdir. İnnovation and Digital Development Agency (IRIA) məlumatına görə, ölkədə təxminən 220 aktiv startap fəaliyyət göstərir. ASAN tərəfindən bu rəqəm təxminən 80 olaraq qiymətləndirilir. Startup.az portalının məlumat bazasında isə 160-a yaxın startap qeydiyyata alınıb. KOBİA tərəfindən verilən məlumata görə, 135 startap şəhadətnaməsi təqdim edilmişdir. Bu göstəricilər Azərbaycanın startap ekosisteminin inkişaf etdiyini göstərsə də, beynəlxalq müqayisədə ölkənin mövqeyi hələ də aşağı olaraq qalır. Məsələn, StartupBlink beynəlxalq reytinqində Azərbaycan ötən il 100 ölkə arasında 84-cü yeri tutmuşdur (startup.az). Bu vəziyyət ölkədə inkubasiya mexanizmlərinin, texnoloji dəstəyin və innovasiya siyasətinin daha da gücləndirilməsinin vacibliyini ortaya qoyur.

Azərbaycanın aparıcı inkubator və innovasiya dəstəyi strukturları sırasında aşağıdakılar qeyd oluna bilər:

Barama İnnovasiya və Sahibkarlıq Mərkəzi – 2009-cu ildə Azercell Telecom LLC tərəfindən yaradılmış və ölkədə tanınan ilk biznes inkubatorlarından biri olmuşdur;

High Tech Park Azerbaijan (HTPark) – əsasən texnopark kimi fəaliyyət göstərsə də, erkən mərhələli startaplara dəstək proqramları və infrastruktur təqdim edir;

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının İnnovasiya Mərkəzinin İnkubatoru – texnoloji startaplara mentorluq, resurs və şəbəkələşmə imkanları təqdim edir;

İnformasiya Texnologiyalarının İnkişafı Dövlət Fondu (ICT Fund) – birbaşa inkubator olmasa da, texnoloji startapların maliyyələşdirilməsində mühüm rol oynayır;

StartUp Azerbaijan, Innoland və ABB Innovation Center çərçivəsində həyata keçirilən inkubasiya proqramları da bu sahədə diqqətəlayiq təşəbbüslərdir.

Bundan əlavə, insan kapitalının inkişafı istiqamətində mühüm addımlar atılır. Məsələn, Technest proqramı texnologiya yönümlü sahələr üzrə 4,000-dən çox tələbəyə təqaüd verərək startap ekosisteminə töhfə verə biləcək ixtisaslı kadr potensialının gücləndirilməsinə xidmət etmişdir. Süni intellekt, rəqəmsal sahibkarlıq və texnoloji innovasiya sahələrində kadr hazırlığının genişləndirilməsi gələcəkdə inkubatorların effektivliyini daha da artıracaq əsas amillərdən biridir [10].

İnkubatorların davamlı inkişafı üçün hökumət, biznes strukturları və cəmiyyət qarşısında duran əsas məqsədlər aşağıdakılardır:

- ✓ iqtisadi inkişaf və yeni iş yerlərinin yaradılması;
- ✓ elmi-tədqiqat nəticələrinin kommersiyalaşdırılması;
- ✓ daşınmaz əmlak və texnologiya əsaslı inkişaf layihələrinin təşviqi;
- ✓ keçid iqtisadiyyatlarında sahibkarlığın təşviqi;
- ✓ xaricdə yaşayan məzunlar və miqrantlar üçün imkanların yaradılması;
- ✓ ixracyönümlü istehsalın genişləndirilməsi.

Bergek və Norrman (2008) qeyd edirlər ki, inkubator strukturları ortaq fiziki məkanda yerləşən müəssisələr arasında bilik transferi, təcrübə mübadiləsi, şəbəkələşmə və əməkdaşlıq üçün əlverişli şərait yaradır. Bu cür strukturlar ölkələrin iqtisadi artımının formalaşmasında mühüm rol oynayır. Sahibkarlıq ekosistemlərinin inkişafına dair tədqiqatlar da göstərir ki, güclü şəbəkələşmə, əməkdaşlıq, bilik mübadiləsi və firmalararası tərəfdaşlıq innovasiya mühitinin əsas komponentləridir [1].

BİZNES INKUBATORLARININ VƏ SÜNI INTELLEKTIN STARTAP UĞURUNA TƏSIR MEXANIZMLƏRI

Maliyyə dəstəyi

İnkubatorların startaplara göstərdiyi ən vacib dəstək növlərindən biri maliyyə dəstəyidir. Onlar başlanğıc kapitalı, qrantlar və investisiya şəbəkələrinə çıxış təqdim etməklə startapların ilkin mərhələdə prototiplərin hazırlanması, bazar araşdırmasının aparılması və ixtisaslı kadrların cəlb olunması kimi fəaliyyətlərini dəstəkləyirlər. Xüsusilə angel investorlar və vençur kapital fondlarına çıxış erkən mərhələli startapların inkişafında mühüm əhəmiyyət daşıyır. Azərbaycanda inkubatorların və startapların maliyyə baxımından gücləndirilməsi üçün bir sıra strateji təşəbbüslər həyata keçirilir. Hökumət tərəfindən 2023-cü ildə təqdim edilən 10 milyon ABŞ dolları həcmində qrant və 15 milyon ABŞ dolları məbləğində güzəştli kredit proqramları bu sahədə diqqətəlayiq nümunədir (eu4business.eu). Bu maliyyə dəstəyi 100-dən çox startapın yaranmasına və genişlənməsinə kömək etmişdir. Eyni zamanda, texnoparkların nəzdində fəaliyyət göstərən inkubasiya mərkəzləri ofis, avadanlıq, mentorluq və konsaltinq xidmətləri təqdim etməklə innovasiya fəaliyyətinin dayanıqlığını möhkəmləndirir. Avropa İttifaqı və UNDP tərəfindən dəstəklənən beynəlxalq əməkdaşlıq proqramları isə sosial sahibkarlıq və Dayanıqlı İnkişaf Məqsədlərinə uyğun layihələrin maliyyələşdirilməsinə əlavə imkanlar yaradır.

Süni intellekt bu maliyyə proseslərinə əlavə dəyər qatır. AI əsaslı analitik sistemlər startapların investisiya cəlbediciliyinin qiymətləndirilməsi, risklərin modelləşdirilməsi və maliyyə qərarlarının daha dəqiq verilməsi baxımından üstünlüklər təqdim edir [12;13]. Beləliklə, maliyyə dəstəyi yalnız resurs təminatı ilə məhdudlaşmır, həm də məlumat əsaslı qərarvermə mexanizmləri ilə gücləndirilir.

Komanda quruculuğu və insan kapitalının formalaşdırılması

İnkubatorların startaplara verdiyi digər mühüm dəstək istiqaməti komanda quruculuğu prosesidir. İnkubatorlar seminarlar, komanda işi tapşırıqları, birgə iş sessiyaları və şəbəkələşmə tədbirləri vasitəsilə fərqli bacarıqlara malik şəxslərin bir araya gəlməsinə imkan yaradır. Belə bir mühit startap komandalarında əməkdaşlıq mədəniyyətini gücləndirir və insan resursları, istehsal, maliyyə, marketinq, texniki inkişaf və tədqiqat istiqamətləri üzrə ehtiyacların tamamlanmasına şərait yaradır. Çox vaxt startap ideyasının uğursuzluğu ideyanın zəifliyindən deyil, uyğun komandanın formalaşdırıla bilməməsindən qaynaqlanır. Bu baxımdan, inkubatorlar sahibkarları peşəkar mütəxəssislərlə əlaqələndirərək komanda boşluqlarını doldurmağa çalışırlar. Məsələn, rəqəmsal məhsul üzərində çalışan bir startapın dizayner, proqramçı və ya marketinq mütəxəssisi çatışmazlığı onun bazara çıxışını ləngidə bilər. Süni intellekt əsaslı istedad uyğunlaşdırma sistemləri bu prosesi daha səmərəli edə bilər. AI alətləri komanda üzvlərinin bacarıq profillərinin təhlili, uyğun rolların müəyyənləşdirilməsi və əməkdaşlıq potensialının qiymətləndirilməsi üçün istifadə oluna bilər. Bu yanaşma xüsusilə rəqəmsal sahibkarlıq mühitində komanda performansının artırılmasında mühüm əhəmiyyət daşıyır [10].

Korporativ tərəfdaşlıqlar və şəbəkələşmə imkanları

İnkubatorlar korporativ tərəfdaşlıqların qurulmasında da mühüm rol oynayır. Yetkin mərhələdə olan şirkətlər öz təcrübələrini, bazara çıxış biliklərini və idarəetmə bacarıqlarını startaplarla paylaşa bilirlər. Bu cür əməkdaşlıq startapların bazara daha sürətli daxil olmasına, innovativ məhsullarını kommersiyalaşdırmasına və korporativ müştəri bazası formalaşdırmasına kömək edir. Korporativ tərəfdaşlıqlar eyni zamanda innovasiya ekosistemində etibarlılığı artırır. Şirkətlər və startaplar arasında qurulan əlaqələr texnologiya transferi, pilot layihələrin icrası və yeni bazar imkanlarının aşkarlanması baxımından mühüm üstünlüklər yaradır. Gawer (2022) rəqəmsal platformaları və ekosistemləri müasir

rəqəmsal dövrün dominant təşkilati formaları kimi dəyərləndirərək, bu tərəfdaşlıqların startap uğurunda struktur əhəmiyyətini vurğulayır.

Dəstəkləyici sahibkarlıq ekosisteminin formalaşdırılması

İnkubatorlar ümumi iş məkanları, mentorluq proqramları, şəbəkələşmə tədbirləri və qarşılıqlı öyrənmə mühiti yaratmaqla startaplar üçün dəstəkləyici ekosistem formalaşdırır. Bu ekosistem sahibkarlara təcrübə paylaşmaq, problemləri birgə həll etmək və innovasiya imkanlarını genişləndirmək imkanı verir. Azərbaycanda dəstəkləyici inkubasiya ekosisteminin formalaşdırılması iqtisadiyyatın şaxələndirilməsi və texnoloji innovasiyanın inkişaf etdirilməsi baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bu ekosistem hökumət, özəl sektor və beynəlxalq tərəfdaşlıq mexanizmlərinin birgə fəaliyyətini özündə birləşdirərək startaplara zəruri alət, resurs və istiqamətləndirmə təqdim edir.

Dövlət dəstəyi: Azərbaycan hökuməti inkubatorların inkişafında maliyyə təşviqləri, normativ dəyişikliklər və məqsədyönlü proqramlar vasitəsilə mühüm rol oynayır. Innovation and Digital Development Agency kimi qurumlar qrant, kredit və digər təşviq mexanizmləri təqdim etməklə inkubatorları dəstəkləyir.

Özəl sektorun iştirakı: Korporasiyalar və vençur kapital qurumları da maliyyə, mentorluq və şəbəkələşmə imkanları təqdim etməklə startapların inkişafına töhfə verirlər. Bu əməkdaşlıqlar innovasiya fəaliyyətinin bazar tələbləri ilə uyğunlaşdırılmasına və yeni ideyaların kommersiyalaşdırılmasına yardım edir.

Texnoloji dəstək və infrastruktur

Startapların uğurunda texnoloji dəstək və infrastruktur xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Effektiv əməkdaşlıq üçün komanda üzvləri ofis sahəsinə, kommunal xidmətlərə, yüksək sürətli internetə və əlavə texnoloji resurslara ehtiyac duyurlar. Xüsusilə texnoloji layihələr üçün kompüter təminatı, proqram təminatı, bulud xidmətləri və kibertəhlükəsizlik tədbirləri olduqca vacibdir. İnkubatorlar bu ehtiyacları qarşılamaq üçün ixtisaslaşmış proqramlara, avadanlıqlara, bulud sistemlərinə və İT xidmətlərinə çıxış imkanı yaradırlar. Bundan başqa, məhsul dizaynı, kodlaşdırma dəstəyi, texniki ekspertiza və prototipləşdirmə imkanları da təqdim edilə bilər. Fiziki infrastruktur baxımından isə ofis sahələri, iclas otaqları və test mühitləri startapların peşəkar fəaliyyətinə şərait yaradır. Süni intellekt texnologiyalarının bu sahəyə inteqrasiyası infrastrukturdan istifadənin optimallaşdırılmasına, proseslərin avtomatlaşdırılmasına və məhsul inkişafının sürətləndirilməsinə şərait yaradır. Məsələn, AI əsaslı proqramlaşdırma köməkçiləri, bazar proqnozlaşdırma sistemləri və kibertəhlükəsizlik həlləri startapların məhsullarını daha səmərəli şəkildə inkişaf etdirməsinə kömək edə bilər.

Əqli mülkiyyətin idarə olunması

Əqli mülkiyyətin qorunması startaplar üçün həyati əhəmiyyət daşıyan məsələlərdən biridir. Çox vaxt innovativ ideyalar böyük resurslara və bazar gücünə malik şirkətlər tərəfindən daha sürətlə kommersiyalaşdırıla bilir. Bu isə ideyanın müəllifi olan startapın rəqabət üstünlüyünü itirməsinə səbəb ola bilər. Patent, lisenziya və digər əqli mülkiyyət mexanizmlərindən düzgün istifadə olunmaması startapların uğursuzluq riskini artırır. İnkubatorlar startaplara əqli mülkiyyət hüquqları, patentləşdirmə prosedurları və hüquqi qorunma mexanizmləri üzrə məsləhətlər təqdim etməklə onların innovativ potensialını qorumağa yardım edir. Rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində bu istiqamət daha da vacibləşir, çünki texnologiya əsaslı məhsulların dəyəri çox vaxt qeyri-maddi aktivlərə əsaslanır [14].

Bazar araşdırması dəstəyi

Bazar araşdırması istənilən biznes fəaliyyətinin, o cümlədən startapların uğurunun əsas şərtlərindən biridir. Bu proses bazar haqqında məlumatların toplanması, təhlili və şərh edilməsini əhatə edir. Müştəri ehtiyaclarının, bazar tendensiyalarının, qiymət, dizayn, satış kanalları və mövqeləndirmə kimi amillərin düzgün öyrənilməməsi startapın bazara uyğun məhsul təqdim edə bilməməsinə səbəb ola bilər. İnkubatorlar bazar araşdırması üçün peşəkar mütəxəssislərə və məsləhətçilərə çıxış təmin etməklə startap komandalarına dəstək verirlər. Hər bir startap komandasının bazar tədqiqatı strategiyaları barədə kifayət qədər məlumatlı olmaması nəzərə alınarsa, inkubatorların bu istiqamətdə rolu daha da aydın görünür.Süni intellekt isə bazar araşdırmasını yeni səviyyəyə qaldırır. AI alətləri böyük həcmli bazar məlumatlarının təhlili, istehlakçı davranışlarının proqnozlaşdırılması və trend modellərinin müəyyənləşdirilməsi baxımından yüksək effektivlik təqdim edir [4]. Bu, startaplara daha çevik və dəqiq bazar strategiyaları qurmağa imkan verir.

Təhsil proqramları və sahibkarlıq bacarıqlarının inkişafı

Təhsil proqramları inkubatorların fəaliyyətində mühüm yer tutur. Təhsil və bacarıqların inkişafı sahibkarlıq potensialının formalaşdırılmasında əsas amillərdəndir. Məktəblər, universitetlər və digər təhsil müəssisələri tərəfindən təklif olunan sahibkarlıq təhsili proqramları tələbələri, məzunları və digər maraqlı şəxsləri sahibkarlıq fəaliyyətinə cəlb edə bilər və yeni sahibkarlıq təşəbbüslərinin yaranmasına təkan verə bilər [7].

Azərbaycanda təhsil proqramları inkubatorların dəstəklənməsində və startap ekosisteminin inkişafında mühüm rol oynayır. Universitetlərdə və texniki institutlarda sahibkarlıq və innovasiya kurslarının inteqrasiyası, Technest kimi proqramlar vasitəsilə texnologiya sahəsində təqaüdlərin verilməsi, seminarlar, mentorluq sessiyaları və peşəkar inkişaf tədbirləri bu baxımdan xüsusi əhəmiyyət daşıyır. İnkubatorlar ideyanın formalaşmasından maliyyə cəlbinə qədər olan bütün mərhələlərdə sahibkarlara istiqamət verir. Süni intellekt əsaslı tədris platformaları bu prosesin fərdiləşdirilməsinə və daha yüksək nəticə verməsinə imkan yaradır. Fərqli sahibkar profilləri üçün adaptiv öyrənmə modulları, praktiki tapşırıqların avtomatlaşdırılmış qiymətləndirilməsi və inkişaf trayektoriyalarının izlənməsi AI-nin təhsil funksiyasını daha da gücləndirir. Bu isə inkubatorların yalnız fiziki dəstək verən qurum deyil, eyni zamanda rəqəmsal öyrənmə və innovasiya mərkəzi kimi çıxış etməsinə səbəb olur.

NƏTICƏ

Müasir, yüksək rəqabətli və innovasiya yönümlü qlobal mühitdə biznes inkubatorları startapların uğurunda həlledici rol oynayır. Onlar ilkin ideyalarla bazara hazır bizneslər arasında körpü rolunu oynayaraq resurslarla, biliklə və istiqamətləndirmə ilə zəngin bir mühit yaradırlar. Maliyyə dəstəyi, ofis infrastrukturu, komanda quruculuğu, hüquqi və inzibati məsləhətlər, bazar təhlili və ixtisaslaşdırılmış təlim proqramları vasitəsilə inkubatorlar sahibkarlara dayanıqlı biznes qurmaq üçün zəruri təməli təqdim edirlər.

Azərbaycanda startap ekosisteminin inkişafı hökumət qurumlarının və özəl sektorun inkubasiya təşəbbüslərini genişləndirməsi nəticəsində əhəmiyyətli dərəcədə sürətlənmişdir. Məqsədyönlü siyasətlər, investisiya proqramları və Technest kimi təşəbbüslər sahibkarlığın təşviqinə, insan kapitalının formalaşdırılmasına və texnoloji innovasiyanın genişlənməsinə mühüm töhfə vermişdir. Barama və High Tech Park kimi aparıcı strukturlar yerli startap mühitinin formalaşmasında real nəticələr göstərmişdir. Bununla belə, ölkənin qlobal innovasiya indekslərində daha yüksək mövqelərə yüksəlməsi və regional sahibkarlıq mərkəzinə çevrilməsi üçün əlavə tədbirlərə ehtiyac qalır.

Bu tədbirlər sırasında kapitala çıxışın genişləndirilməsi, beynəlxalq əməkdaşlığın dərinləşdirilməsi, texnoloji infrastrukturun yenilənməsi, əqli mülkiyyətin qorunmasının gücləndirilməsi və süni intellekt texnologiyalarının inkubasiya proseslərinə daha geniş inteqrasiyası xüsusi yer tutur. OECD (2025), World Bank (2023; 2025) və UNCTAD (2024) hesabatlarında da göstərildiyi kimi, rəqəmsal sahibkarlıq və süni intellekt alətləri gələcək innovasiya ekosistemlərinin əsas dayaqlarından biridir.

Nəticə etibari ilə, biznes inkubatorları sadəcə fiziki məkan və ya təşkilati dəstək mexanizmi deyil, innovasiya, iqtisadi şaxələndirmə və institusional potensialın inkişafı üçün strateji alətdir. Süni intellekt texnologiyaları ilə birgə onların sinerjisi startapların rəqabət qabiliyyətini artırır, innovasiya fəaliyyətini sürətləndirir və qlobal bazara inteqrasiyanı gücləndirir. Azərbaycan bu sahəyə investisiyalarını davam etdirdikcə, inkubatorlar və AI əsaslı dəstək sistemləri ölkədə dayanıqlı, çevik və qlobal əlaqələrə malik startap ekosisteminin qurulmasında mərkəzi rol oynayacaqdır.

Ədəbiyyat Siyahısı

[1]Acs, Z. J., Stam, E., Audretsch, D. B., & O'Connor, A. (2017). The lineages of the entrepreneurial ecosystem approach. *Small Business Economics, 49*, 1–10.

[2]Aghion, P., Jones, B. F., & Jones, C. I. (2017). Artificial intelligence and economic growth (NBER Working Paper No. w23928). National Bureau of Economic Research.

[3]Bergek, A. B., & Norrman, C. (2008). Incubator best practice: A framework. *Technovation, 28*, 20–28.

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W.W. Norton.

[4]European Commission. (2022). *Digital economy and society index (DESI) report*.

[5]Innovation and Digital Development Agency (IRIA). (2023). *Startup ecosystem report*.

[6]International Business Innovation Association (INBIA). (2023). *Global entrepreneurship and incubation best practices*.

[7]McAdam, M., & Marlow, S. (2008). A preliminary investigation into networking activities within the university incubator. *International Journal of Entrepreneurial Behaviour & Research, 14*, 219–241.

[8]Mehta, K., Yu, P., & Sharma, R. (2024). *Fostering innovation in venture capital and startup ecosystems*.

[9]Ministry of Economy of the Republic of Azerbaijan. (2023). *Financial support initiatives for startups*.

[10] Nambisan, S., Wright, M., & Feldman, M. (2019). The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes. *Research Policy, 48*(8), 103773.

[11]National Business Incubation Association (NBIA). (2020). *What is business incubation?*

[12]OECD. (2025a). *Artificial intelligence in innovation and entrepreneurship*. OECD Publishing.

[13]OECD. (2025b). *The adoption of artificial intelligence in firms*. OECD Publishing.

[14]Salayeva, T. (2025). The role of incubators in startup success. *Journal of Baku Engineering University, 9*(1), 81.
[15]UNCTAD. (2024). *Digital economy report 2024*. United Nations.
İnternet resursları
Azerbaijan UN. https://azerbaijan.un.org/en
Barama Innovation Center. https://barama.az
EU4Business. https://eu4business.eu
INBIA. https://www.inbia.org
INC Encyclopedia. https://www.inc.com/encyclopedia/national-business-incubation-association
Startup Azerbaijan. https://www.startup.az
Tech.az. https://tech.az/az
UNDP. https://undp.org

KORPORATİV İDARƏETMƏDƏ "AİLƏ" MODELİNİN TƏTBİQ İMKANLARININ TƏHLİLİ

Tağızadə Sənan
Bakı Mühəndislik Universiteti
Magistrant,Biznesin idarə edilməsi kafedrası
stagizade4@std.beu.edu.az
Xırdalan, Azərbaycan

Xülasə: Məqalədə korporativ idarəetmədə "ailə" modelinin tətbiq imkanları araşdırılır. Tədqiqatın məqsədi ailə nəzarətinin üstünlüklərini, risklərini və bu modelin Azərbaycan şirkətlərində hansı şərtlərlə səmərəli işləyə biləcəyini müəyyənləşdirməkdir. İşdə müqayisəli təhlil, normativ sənədlərin öyrənilməsi və son elmi ədəbiyyatın icmalı əsasında ailə konstitusiyası, ailə şurası, müşahidə şurası, audit mexanizmi və varislik planının rolu izah edilir. Məqalənin elmi yeniliyi ailə modelinin müstəqil alternativ kimi deyil, yazılı qaydalarla dəstəklənən hibrid idarəetmə forması kimi əsaslandırılmasındadır. Nəticədə göstərilir ki, mərhələli institusional keçid ailə şirkətlərinin davamlılığı və investor etibarı üçün daha real yanaşmadır.
Açar sözlər: korporativ idarəetmə, ailə şirkəti, ailə modeli, varislik planı, müşahidə şurası

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF APPLYING THE "FAMILY" MODEL IN CORPORATE GOVERNANCE

Taghizadeh Sanan
Baku Engineering University
Master's student, Department of Business Administration
stagizade4@std.beu.edu.az
Khirdalan, Azerbaijan

Abstract: This article examines the possibilities of applying the family model in corporate governance. The study aims to identify the advantages and risks of family control and to determine under which conditions this model can work effectively in Azerbaijani companies. Using comparative analysis, review of normative documents, and recent academic literature, the article explains the role of a family constitution, family council, supervisory board, audit mechanism, and succession plan. Its main contribution is to justify the family model not as a stand-alone alternative, but as a hybrid governance form supported by written rules. The findings show that a phased institutional transition is a more realistic approach for business continuity and investor confidence.
Keywords: corporate governance, family business, family model, succession plan, supervisory board

Giriş

Korporativ idarəetmə şirkətdə idarə heyəti, müşahidə şurası, səhmdarlar və digər maraqlı tərəflər arasında münasibətləri tənzimləyən sistem kimi qəbul edilir. Müasir bazar şəraitində bu məsələ təkcə açıq səhmdar cəmiyyətləri üçün deyil, konsentrləşmiş mülkiyyət quruluşuna malik şirkətlər üçün də xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Xüsusilə ailə nəzarətinin güclü olduğu müəssisələrdə qərarvermə, mülkiyyət, dəyərlər və liderlik eyni idarəetmə məntiqi daxilində birləşdiyi üçün korporativ idarəetmənin klassik çərçivəsi yeni məzmun qazanır (OECD, 2023; Azərbaycan Respublikasının İqtisadiyyat Nazirliyi, 2011).

Mövzunun aktuallığı: ailə şirkətləri bir çox ölkələrdə iqtisadi fəallığın, məşğulluğun və kapital yığımının mühüm hissəsini təşkil edir. Belə şirkətlərdə uzunmüddətli baxış, yüksək etibar və çevik qərarvermə kimi üstünlüklər müşahidə olunsa da, nepotizm, şəffaflığın zəifləməsi, səlahiyyətlərin qarışması və varislik böhranı kimi risklər də artır. Son illərin tədqiqatları göstərir ki, ailə bizneslərində korporativ idarəetmə məsələsi yalnız agent problemi ilə məhdudlaşmır; burada ailədaxili münasibətlər, irs bölgüsü, ailə üzvlərinin işə cəlbi və nəzarət mexanizmlərinin formalaşdırılması da eyni dərəcədə önəmlidir (Nakpodia, 2024; IFC, 2018).

Tədqiqatın məqsədi, elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti: korporativ idarəetmədə "ailə" modelinin tətbiq imkanlarını qiymətləndirmək, onun üstünlüklərini və zəif tərəflərini sistemləşdirmək, həmçinin Azərbaycan şirkətləri üçün daha real tətbiq çərçivəsini müəyyən etməkdir. Məqalənin elmi yeniliyi ailə modelinin korporativ idarəetməyə alternativ sistem kimi deyil, yazılı qaydalar, nəzarət institutları və peşəkar idarəetmə elementləri ilə tamamlanan hibrid mexanizm kimi əsaslandırılmasındadır. Praktiki əhəmiyyəti isə ondan ibarətdir ki, ailə şirkətlərinin institusional keçidi üçün mərhələli yol xəritəsi təqdim olunur.

Metod və məqalənin strukturu: məqalədə sənəd təhlili, müqayisəli yanaşma və normativ mətnlərin şərhi metodlarından istifadə edilmişdir. Əvvəlcə beynəlxalq və yerli mənbələr əsasında ailə modelinin nəzəri əsasları müəyyənləşdirilmiş, sonra bu modelin risk və üstünlükləri müqayisəli formada təhlil edilmiş, sonda isə Azərbaycan şirkətləri üçün tətbiq imkanları dəyərləndirilmişdir. Məqalə giriş, ədəbiyyatın təhlili, tədqiqat metodu, təhlil və müzakirə, nəticə və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir.

Ədəbiyyatın təhlili

Ailə şirkətlərində korporativ idarəetmə ilə bağlı ədəbiyyat göstərir ki, bu sahədə əsas müzakirə mövzusu ailə nəzarətinin üstünlükləri ilə institusional məhdudiyyətləri arasında balansın necə qurulmasıdır. IFC-nin ailə biznesi üzrə vəsaitində ailə konstitusiyası, ailə şurası, müstəqil üzvlərin daxil olduğu müşahidə şurası və varislik planı ailə ilə biznes münasibətlərini ayıran baza mexanizmləri kimi təqdim olunur. Bu yanaşma onu göstərir ki, ailə modeli yalnız etibara söykənən qeyri-rəsmi sistem kimi deyil, yazılı qaydalarla tamamlanan idarəetmə çərçivəsi kimi işləməlidir (IFC, 2018).

Son illərin akademik ədəbiyyatı da bu fikri dəstəkləyir. Nakpodia (2024) ailə biznesində korporativ idarəetmənin klassik agent problemi ilə məhdudlaşmadığını, ailədaxili münasibətlər, irs bölgüsü və hakimiyyət bölgüsünün ayrıca idarəetmə mövzusu kimi çıxış etdiyini vurğulayır. Islas-Moreno və həmmüəlliflər (2022) isə göstərirlər ki, ailə daxilində yaranan konfliktlər çox vaxt yazılı idarəetmə qaydalarının qəbulunu sürətləndirir. Deməli, ədəbiyyatda üstün mövqe ondan ibarətdir ki, ailə şirkətlərində davamlılıq üçün ailə dəyərləri ilə peşəkar idarəetmə institutları paralel qurulmalıdır.

Tədqiqat metodu

Qarşıya qoyulan məsələnin həlli üçün keyfiyyət yönümlü masaüstü tədqiqat dizaynı seçilmişdir. Araşdırmanın empirik bazasını beynəlxalq təşkilatların korporativ idarəetmə sənədləri, ailə biznesi üzrə metodik vəsaitlər, son illərdə nəşr olunmuş elmi məqalələr və regional hesabatlar təşkil edir. Mənbələr seçilərkən üç meyar əsas götürülmüşdür: korporativ idarəetmə ilə birbaşa əlaqə, ailə şirkətlərinə fokuslanma və idarəetmə praktikası baxımından tətbiq yönümlülük (IFC, 2018; OECD, 2023; KPMG, 2025).

Metodoloji baxımdan işdə normativ sənəd təhlili, müqayisəli institusional təhlil və məzmun analizi tətbiq olunmuşdur. Normativ sənəd təhlili vasitəsilə OECD prinsipləri və Azərbaycan korporativ idarəetmə standartlarında müşahidə şurası, audit, əlaqəli tərəflərlə əməliyyatlar və səhmdar hüquqları ilə bağlı yanaşmalar nəzərdən keçirilmişdir. Müqayisəli təhlil vasitəsilə ailə nəzarətinin uzunmüddətli strateji üstünlükləri ilə onun yaratdığı idarəetmə riskləri paralel qiymətləndirilmişdir. Məzmun analizi isə son elmi məqalələrdə təkrar olunan mövzuları - varislik, peşəkar menecment, ailə konstitusiyası, konfliktlərin idarə olunması və idarə heyətinin tərkibi kimi məsələləri - ümumiləşdirməyə imkan vermişdir (Islas-Moreno et al., 2022; Mashele et al., 2024).

Tədqiqat nəticələri mətn daxilində iki cədvəl vasitəsilə sistemləşdirilmişdir. Birinci cədvəldə ailə modelinin əsas üstünlükləri, potensial riskləri və həmin risklərə uyğun idarəetmə reaksiyaları ümumiləşdirilmişdir. İkinci cədvəldə isə ailə şirkətləri üçün mərhələli tətbiq yol xəritəsi təqdim olunmuşdur. Bu yanaşma modelin səmərəliliyini statistik yoxlama ilə deyil, institusional əsaslandırma ilə izah etməyə xidmət edir.

Təhlil və müzakirə

Ailə modelinin ən güclü tərəfi şirkətin məqsədlərini qısamüddətli gəlirdən daha çox uzunmüddətli davamlılığa yönəltməsidir. Ailə üzvləri biznesi təkcə gəlir mənbəyi kimi deyil, nüfuzun, mirasın və gələcək nəsillərin daşıyıcısı kimi qəbul etdikdə strategiyada sabitlik yaranır. Belə mühitdə etibar səviyyəsi yüksək olduğundan qərarvermə daha çevik olur və böhran dövrlərində mülkiyyətlə idarəetmənin yaxınlığı reaksiya sürətini artırır. Bu xüsusiyyətlər ailə şirkətlərində davamlılıq üçün mühüm üstünlük yaratsa da, həmin güc mənbəyi eyni zamanda risklərin də başlanğıc nöqtəsinə çevrilə bilir (IFC, 2018; KPMG, 2025).

Cədvəl 1. Ailə modelinin əsas üstünlükləri və əsas riskləri

Üstünlük	Potensial risk	İdarəetmə reaksiyası
Uzunmüddətli yönümlülük	Varisliyin gecikməsi	Yazılı varislik planı
Yüksək etibar	Qeyri-rəsmi qərarvermə	Daxili qaydalar və yazılı prosedurlar
Sürətli qərarvermə	Hakimiyyətin bir şəxsdə həddindən artıq cəmlənməsi	Müşahidə şurası və komitələr
Ailə dəyərləri və bağlılıq	Nepotizm və peşəkarlığın zəifləməsi	Merit əsaslı işə qəbul siyasəti

Mənbə: IFC, OECD və TKYD materialları əsasında müəllif tərəfindən tərtib edilmişdir.

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, ailə modelinin üstünlükləri ilə zəif tərəfləri eyni idarəetmə məntiqindən doğur. Məsələn, etibarın yüksək olması prosedurları sürətləndirə bilər, lakin qərarların yazılı qaydalar əvəzinə şəxsi münasibətlər əsasında verilməsi şəffaflığı və hesabatlılığı zəiflədir. OECD prinsiplərində qeyd olunduğu kimi, nəzarət edən səhmdarın olduğu şirkətlərdə azlıq səhmdarlarının maraqlarının zədələnməsi, əlaqəli tərəflərlə əməliyyatların üstün tutulması və ailə üzvlərinə favorizmin artması riski yüksəlir. Ailə şirkətləri üzrə aparılmış tədqiqatlar da göstərir ki, çox vaxt keçmiş konfliktlər yazılı idarəetmə qaydalarının qəbulunu sürətləndirir və qeyri-rəsmi münasibətləri institusional çərçivəyə salmağa məcbur edir (OECD, 2023; Islas-Moreno et al., 2022).

Bu səbəbdən ailə münasibətləri ilə şirkət idarəetməsi arasında sərhəd yaradan institutlar xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Ailə konstitusiyası ailənin dəyərlərini, missiyasını, payların ötürülməsi qaydalarını, ailə üzvlərinin işə qəbul prinsiplərini, rəhbər vəzifələrə keçid şərtlərini və varislik mexanizmini yazılı formaya salır. Ailə şurası isə ailə üzvləri arasında ünsiyyəti, konfliktlərin idarə olunmasını və biznesə dair strateji mövqelərin razılaşdırılmasını təmin edir. IFC materiallarında ailə şurasının ailə genişləndikcə daha vacib olduğu və adətən 5-9 nəfərlik platforma kimi təşkil edildiyi vurğulanır. Müstəqil üzvlərin daxil olduğu müşahidə şurası isə ailədaxili baxışla kənar peşəkar yanaşma arasında tarazlıq yaradır (IFC, 2018).

Türkiyə təcrübəsi də bu baxımdan maraqlı nümunə təqdim edir. TKYD nəşrlərində ailə konstitusiyasının ailə şirkətində qaydaları yazılılaşdıran əsas alət olduğu, ailə şurasının və peşəkar menecerlərin cəlb edilməsinin isə institusional keçidi gücləndirdiyi qeyd olunur. Son türk araşdırmaları da göstərir ki, ailə şirkətlərində insan resursları proseslərinin merit prinsipi ilə qurulması və peşəkar rəhbərlərin prosesə daxil edilməsi davamlılıq üçün vacibdir. Əks halda ailə üzvlərinin yaxınlıq münasibətlərinə əsaslanan təyinatları qısamüddətli rahatlıq yaratsa da, uzunmüddətli inkişafı zəiflədir (Türkiye Kurumsal Yönetim Derneği, 2021; Hatipoğlu & Evci Hacızade, 2024).

Cədvəl 2. Ailə modelinin tətbiqi üçün mərhələli yol xəritəsi

Mərhələ	Əsas addım	Gözlənilən nəticə
1	Ailə və biznes rollarının ayrılması	Rol və səlahiyyət konfliktlərinin azalması
2	Ailə konstitusiyasının hazırlanması və ailə şurasının yaradılması	Qaydaların yazılı formada rəsmiləşməsi

Mərhələ	Əsas addım	Gözlənilən nəticə
3	Müşahidə şurasının və audit mexanizminin qurulması	Nəzarət və şəffaflığın güclənməsi
4	Varislik planının və peşəkar idarəetmə planının hazırlanması	Uzunmüddətli davamlılığın yüksəlməsi

Mənbə: IFC, Azərbaycan korporativ idarəetmə standartları və Ulrich əsasında müəllif tərəfindən tərtib edilmişdir.

Azərbaycan şirkətləri üçün ən real yanaşma məhz mərhələli institusional keçiddir. Kiçik və birinci nəsil ailə şirkətlərində ağır və bahalı idarəetmə strukturu praktik görünməyə bilər. Lakin biznes böyüdükcə, ikinci nəsilə keçid başladıqca, xarici maliyyələşmə cəlb olunduqca və peşəkar menecerlərin sayı artdıqca yazılı qaydalar seçim yox, zərurətə çevrilir. PwC-nin Mərkəzi və Şərqi Avropa üzrə ailə biznesi sorğusu göstərir ki, ailə şirkətlərinin çoxu biznesi ailədə saxlamaq istəyir, lakin idarəetmə siyasətlərinin formallaşdırılması səviyyəsi hələ də arzuolunan həddə deyil. Bu nəticə ailə modeli ilə formal korporativ idarəetmə arasında boşluğun hələ böyük olduğunu təsdiqləyir (PwC, 2023).

Azərbaycan korporativ idarəetmə standartlarında müşahidə şurasının strateji planlaşdırma, risklərə nəzarət, əlaqəli tərəflərlə əməliyyatlar və hesabatlılıq baxımından rolu ayrıca vurğulanır. Bu baxımdan ailə şirkətləri üçün əsas məsələ ailə dəyərlərini qorumaqla yanaşı, mülkiyyət funksiyası ilə idarəetmə funksiyasını bir-birindən ayırmaqdır. Yerli tədqiqatlarda da qeyd olunur ki, bazar iqtisadiyyatında sahiblik və idarəetmə funksiyalarının qarışması orta və uzunmüddətli dövrdə idarəetmə böhranı yaradır. Deməli, ailə modelinin uğuru qeyri-rəsmi nəzarətin davam etməsində deyil, onu yazılı səlahiyyət bölgüsü, daxili audit və peşəkar rəhbərliklə tamamlamaqda görünür (Azərbaycan Respublikasının İqtisadiyyat Nazirliyi, 2011; Ismayılzadə & Əliyev, 2024).

Müzakirə edilən mühüm məsələlərdən biri də idarə heyəti və ya müşahidə şurasının tərkibidir. Əgər nəzarət orqanı yalnız ailə üzvlərindən formalaşırsa, tənqidi yanaşma zəifləyə, risklərə daha yumşaq münasibət yarana və strateji qərarlarda alternativ baxışlar itə bilər. Ailə mülkiyyəti ilə şirkətin risk davranışı arasında əlaqəni araşdıran işlər göstərir ki, idarəetmə orqanının xüsusiyyətləri qərarların keyfiyyətinə birbaşa təsir edir. Digər müqayisəli tədqiqatlar da ailə və qeyri-ailə şirkətlərində idarəetmə ilə nəticələr arasındakı münasibətin fərqli qurulduğunu göstərir. Buradan çıxan nəticə ondan ibarətdir ki, ailə modeli ailə nəzarətinin sadə davamı kimi deyil, peşəkar nəzarətlə dəstəklənən hibrid model kimi qurulmalıdır (Otero-González et al., 2022; Mashele et al., 2024; Ulrich, 2025).

Nəticə

Aparılmış tədqiqat göstərir ki, korporativ idarəetmədə "ailə" modeli praktik baxımdan geniş tətbiq imkanına malikdir, lakin bu imkan yalnız ailə nəzarətinin üstünlüklərini yazılı institutlarla balanslaşdırdıqda real nəticə verir. Modelin əsas güclü tərəfləri sürətli qərarvermə, uzunmüddətli baxış, yüksək sahiblik bağlılığı və ailə dəyərlərinin biznes strategiyasına inteqrasiyasıdır. Bununla yanaşı, şəffaflığın zəifləməsi, nepotizm, azlıq səhmdarlarının maraqlarının zədələnməsi, peşəkarlığın geriləməsi və varisliyin gecikməsi kimi risklər bu modelin nəzarətsiz formada tətbiqini təhlükəli edir.

Məqalənin əsas nəticəsi ondan ibarətdir ki, ailə modeli korporativ idarəetməyə alternativ deyil; düzgün qaydalarla dəstəkləndikdə onun səmərəli formalarından birinə çevrilə bilər. Ailə konstitusiyası, ailə şurası, müşahidə şurası, audit mexanizmi və varislik planı bu keçidin əsas dayaqlarıdır. Azərbaycan şirkətləri üçün ən münasib yanaşma mərhələli institusional keçiddir: əvvəlcə ailə və biznes rolları ayrılmalı, daha sonra yazılı qaydalar formalaşdırılmalı, nəhayət peşəkar idarəetmə və nəzarət mexanizmləri gücləndirilməlidir. Belə olduqda həm ailə dəyərləri qorunur, həm də şirkətin bazar, investor və gələcək nəsillər qarşısında davamlılığı artır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Azərbaycan Respublikasının İqtisadiyyat Nazirliyi. (2011). Azərbaycan korporativ idarəetmə standartları.

2. Hatipoğlu, Z., & Evci Hacızade, Ş. (2024). Structuring of human resources processes in the institutionalization of family companies. International Journal of Entrepreneurship and Management Inquiries, 8(15), 158-180.

3. International Finance Corporation. (2018). IFC Family Business Governance Handbook (4th ed.). World Bank Group.

4. Islas-Moreno, A., Muñoz-Rodríguez, M., Santoyo-Cortés, V. H., Martínez-González, E. G., Aguilar-Gallegos, N., & Morris, W. (2022). The role of conflict in the adoption of governance practices in family businesses. Journal of Family Business Management, 12(4), 959-980.
5. Ismayılzadə, A. A., & Əliyev, V. (2024). Improving Azerbaijan corporate governance. Silk Road, 2, 55-62.
6. KPMG. (2025). Family business governance: Managing dynamics for long-term success.
7. Mashele, A., Mouton, M., & Pelcher, L. (2024). Corporate governance and financial performance: Family firms vs. non-family firms. Journal of Risk and Financial Management, 17(10), 444.
8. Nakpodia, F. (2024). Corporate governance and family business: A perspective article. Journal of Family Business Management, 14(4), 808-812.
9. OECD. (2023). G20/OECD Principles of Corporate Governance 2023. OECD Publishing.
10. OECD. (2023). OECD Corporate Governance Factbook 2023. OECD Publishing.
11. Otero-González, L., Rodríguez-Gil, L.-I., Vivel-Búa, M., & Tamayo-Herrera, A. (2022). Family ownership, corporate governance and risk-taking. Journal of Risk and Financial Management, 15(3), 110.
12. PricewaterhouseCoopers. (2023). 2023 Family Business Survey CEE.
13. Türkiye Kurumsal Yönetim Derneği. (2021). Corporate governance for family companies in Turkey: Why and how to implement it?
14. Ulrich, P. (2025). Family governance and its role in sustaining family-owned businesses. In M. Pazarskis, A. Kostyuk, V. Santolamazza, & P. Capuano (Eds.), Corporate governance: Scholarly research and practice (pp. 29-34). Virtus Interpress.

MACROECONOMIC DETERMINANTS OF CONSUMER BEHAVIOR IN AZERBAIJAN: AN EMPIRICAL AND CONCEPTUAL ANALYSIS

Assoc.Prof.Rasim Abutalibov, Nargiz Nahmedova
Khazar University,BMU
Rabutalibov@beu.edu.az, nargisnehmedova@gmail.com
Baku city, Azerbaijan

Abstract: The objective of this study is to identify the main macroeconomic factors affecting consumer behavior in Azerbaijan and to empirically and theoretically analyze their transmission mechanisms. The study considers key economic indicators such as inflation, income level, unemployment, interest rates, and exchange rate fluctuations. The research is based on time series data covering the period 2010–2024 and employs an Ordinary Least Squares (OLS) regression model. The results indicate that inflation has a negative impact on consumption expenditure, while income has a positive and statistically significant effect. In addition, exchange rate volatility and unemployment create instability in consumer behavior. The findings are important for macroeconomic policy formulation as well as for optimizing business strategies.
Keywords: consumer behavior, macroeconomic factors, inflation, income, Azerbaijan

Introduction

Consumer behavior is a fundamental component of the economic system, reflecting how individuals make decisions regarding the selection, purchase, and use of goods and services. While traditional theories emphasize psychological and social influences, macroeconomic conditions play an equally critical role in shaping consumption patterns.

In Azerbaijan, consumer behavior has undergone significant transformation in recent decades due to structural economic changes, oil revenue fluctuations, and increasing integration into the global economy.

Events such as the 2015 currency devaluation, oil price volatility, and global crises (including the COVID-19 pandemic) have reshaped consumer expectations and spending habits.
Macroeconomic factors such as inflation, income level, unemployment, exchange rate, and interest rates influence not only the level of consumption but also its structure. Additionally, behavioral responses to economic uncertainty—such as precautionary savings and risk-averse consumption—have become increasingly relevant.
This study aims to provide a comprehensive analysis of macroeconomic determinants of consumer behavior in Azerbaijan by combining theoretical insights with empirical evidence.
Consumer behavior in Azerbaijan is influenced by several key macroeconomic factors, each affecting consumption through different transmission mechanisms.

1. Inflation
Inflation is the most influential and direct factor affecting consumer behavior. Rising prices reduce purchasing power and force consumers to shift toward cheaper alternatives. In Azerbaijan, where food expenditures constitute a large share of household budgets, inflation has a particularly strong impact. It also creates expectations of future price increases, encouraging advance purchases and stockpiling behavior.
2. Exchange Rate and Devaluation
The exchange rate plays a crucial role due to Azerbaijan's dependence on imported goods. Currency depreciation increases the cost of imports, leading to higher domestic prices. The 2015 devaluation significantly altered consumption patterns, shifting demand toward locally produced goods and encouraging more rational and need-based consumption behavior.
3. Income and Employment
Income level is a primary determinant of consumption. Higher income leads to increased consumption, especially of non-essential and luxury goods. Conversely, unemployment reduces consumption by increasing uncertainty and limiting financial resources. Government wage policies and social transfers play an important role in supporting consumption.
4. Oil Prices and Government Spending
Azerbaijan's economy is highly dependent on oil revenues. Changes in global oil prices indirectly affect consumer behavior through government spending and income distribution. Higher oil prices lead to increased public spending and income growth, which stimulate consumption, while lower oil prices have the opposite effect.
5. Interest Rates and Credit Availability
Interest rates influence consumption through borrowing costs. Lower interest rates encourage credit-based consumption, particularly for durable goods. In Azerbaijan, consumer lending has expanded significantly, making credit an important driver of consumption behavior.
6. Consumer Expectations and Economic Uncertainty
Consumer expectations regarding future economic conditions strongly influence current behavior. Economic instability increases precautionary savings and reduces consumption, while confidence in economic stability promotes spending. In Azerbaijan, past experiences with inflation and devaluation have made consumers highly sensitive to uncertainty.
Methodology
This study adopts a quantitative approach to empirically evaluate macroeconomic factors affecting consumer behavior in Azerbaijan. The main objective is to identify causal relationships between variables and measure their impact on consumption expenditure.
Annual time series data covering the period 2010–2024 were used in the analysis. The data were obtained from the State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan, the World Bank, and other official economic sources. This period was selected because it includes important macroeconomic events such as fluctuations in oil prices and the 2015 currency devaluation.
The consumption function is specified as follows:
$C = \beta_0 + \beta_1 INF + \beta_2 INC + \beta_3 UNEMP + \beta_4 INT + \beta_5 EXC + \varepsilon$
Where:
C = household consumption expenditure
INF = inflation rate
INC = income level
UNEMP = unemployment rate

INT = interest rate
EXC = exchange rate
ε = error term
The model is estimated using the Ordinary Least Squares (OLS) method, which is widely used for estimating linear regression models based on the least squares principle.
The analysis focuses on identifying both the direction and magnitude of the effects of macroeconomic variables on consumption. Economically relevant variables were selected to minimize multicollinearity and improve model interpretability.
Results and Discussion
The empirical findings are consistent with the theoretical analysis. However, beyond statistical relationships, the results reveal important behavioral patterns.
Inflation not only reduces consumption quantitatively but also changes its structure, shifting demand toward essential goods. Consumers become more price-sensitive and prioritize affordability over brand preferences.
Exchange rate fluctuations further reinforce this behavior by increasing the cost of imported goods. This leads to substitution toward domestic products and reduced consumption of luxury items.
Income remains the strongest positive determinant of consumption, particularly in expanding discretionary spending. However, in Azerbaijan, where average income levels are moderate, consumption remains largely necessity-driven.
Additionally, consumer behavior reflects strong sensitivity to economic uncertainty. Expectations of future instability encourage saving behavior and delay major purchases.
These findings suggest that consumer behavior in Azerbaijan is not only economically driven but also shaped by adaptive and precautionary responses to macroeconomic risks.
Impact of Credit Dependency on Consumer Behavior
Although credit expansion stimulates consumption, excessive reliance on borrowing can lead to several negative consequences for consumer behavior.
First, credit allows consumers to spend future income in the present, creating artificially high consumption levels and weakening long-term financial stability.
Second, increasing debt burdens reduce disposable income and create financial stress, leading to less rational consumption decisions.
Third, easy access to credit encourages impulsive and non-essential purchases, reducing financial discipline.
Fourth, long-term credit obligations limit savings and investment opportunities, trapping consumers in a cycle of debt dependence.
Finally, high interest rates increase the real cost of consumption, making purchases more expensive over time.
At the macroeconomic level, excessive credit growth may create financial instability, increasing default risks and weakening the banking sector.
Therefore, while credit supports short-term consumption, its long-term effects on consumer behavior can be negative if not properly managed and delay major purchases.
These findings suggest that consumer behavior in Azerbaijan is not only economically driven but also shaped by adaptive and precautionary responses to macroeconomic risks.
Conclusion
In conclusion, consumer behavior in Azerbaijan is shaped by a combination of macroeconomic and behavioral factors. Among these, inflation and exchange rate fluctuations have the strongest immediate impact, while income and oil-related economic dynamics play a crucial supporting role.
Moreover, psychological factors such as expectations and uncertainty significantly influence consumption decisions, often amplifying the effects of economic variables.
The study also highlights the dual role of credit: while it stimulates consumption, excessive dependence can create long-term financial risks.
Overall, ensuring macroeconomic stability, sustainable income growth, and responsible credit policies is essential for maintaining balanced and stable consumer behavior in Azerbaijan.
Limitations and Future Research

This study has several limitations. First, it focuses only on macroeconomic variables and does not include micro-level determinants such as psychological, cultural, and lifestyle factors. This limits the full explanation of consumer behavior complexity.
Second, the use of annual time series data may not capture short-term fluctuations or sudden economic shocks. Higher-frequency data (quarterly or monthly) could improve accuracy.
Third, the OLS model assumes linear relationships, while real-world consumption behavior may exhibit nonlinear and dynamic patterns. Future research could apply more advanced econometric models such as VAR or ARDL.
Future studies could also combine macroeconomic data with micro-level survey data and conduct regional comparisons within Azerbaijan.
References

Keynes, J. M. (1936). The general theory of employment, interest and money. London, UK: *Macmillan.*
Friedman, M. (1957). A theory of the consumption function. Princeton, NJ: *Princeton University Press.*
Modigliani, F., & Brumberg, R. (1954). Utility analysis and the consumption function: *An interpretation of cross-section data. In K. K. Kurihara (Ed.), Post-Keynesian economics (pp. 388–436). Rutgers University Press.*
Deaton, A. (1992). Understanding consumption. Oxford, UK: *Oxford University Press.*
Blanchard, O. (2017). Macroeconomics (7th ed.). *Pearson.*
Mankiw, N. G. (2021). Macroeconomics (10th ed.). *Worth Publishers.*
World Bank. (2024). World Development Indicators. *https://data.worldbank.org*
International Monetary Fund. (2024). *World economic outlook database. https://www.imf.org*
Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. (2024). Statistik göstəricilər. *https://www.stat.gov.az*
Aydın, C., Sadychov, F. S., & Ahmedov, A. İ. (2007). Application of information-communication technologies in science and education. *Higher Twist Effects in Photon-Proton Collisions, 384–391. Bakı, Azərbaycan.*

KƏND TƏSƏRRÜFATINDA İŞÇİ PERFORMANSINA TƏSİR EDƏN AMİLLƏR

HACIYEVA AYSEL
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə fakultəsi
Biznesin təşkili və idarə edilməsi/İnsan resurslarının idarə edilməsi
ahaciyeva12@std.beu.edu.az
Azərbaycan/Bakı

Xülasə: Bu tədqiqat işində kənd təsərrüfatında işçi performansına təsir edən əsas amillər kompleks şəkildə araşdırılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, bu sahədə işçi fəaliyyətinə təsir edən faktorlar yalnız fərdi xüsusiyyətlərlə məhdudlaşmır, eyni zamanda təbii-iqlim şəraiti, əmək mühiti, sosial-iqtisadi amillər və təşkilati idarəetmə mexanizmləri ilə sıx bağlıdır. Araşdırma göstərir ki, kənd təsərrüfatı digər sahələrdən fərqli olaraq daha çox fiziki əmək, mövsümilik və risk faktorları ilə xarakterizə olunur. Bununla yanaşı, müasir dövrdə rəqəmsal texnologiyaların və innovativ yanaşmaların tətbiqi işçi performansının yüksəldilməsində mühüm rol oynayır. Nəticə etibarilə, ənənəvi amillərlə yanaşı, yeni texnologiyaların təsiri kənd təsərrüfatında əmək məhsuldarlığının formalaşmasında həlledici əhəmiyyət kəsb edir**.**
Açar sözlər: Kənd təsərrüfatı, işçi performansı, əmək məhsuldarlığı, yüksək texnologiyaları
Abstract: This research study comprehensively examines the main factors affecting employee performance in agriculture. It has been determined that the factors influencing employee activity in this field are not limited only to individual characteristics, but are also closely related to natural and climatic conditions, the work environment, socio-economic factors, and organizational management mechanisms. The study shows

that agriculture, unlike other sectors, is characterized by a higher degree of physical labor, seasonality, and various risk factors. At the same time, in the modern era, the application of digital technologies and innovative approaches plays an important role in improving employee performance. Consequently, alongside traditional factors, the impact of new technologies is of decisive importance in shaping labor productivity in agriculture.
Keywords: Agriculture, employee performance, labor productivity, high technologies

Mövzunun aktuallığı:
Bizim təəssüratımıza görə kənd təsərrüfatında əmək münasibətləri yuz illərlə formalaşmış ənənələrlə idarə oluna bilər. Əslində müasir dövrdə elmi-texniki tərəqqinin nailiyyətlərinin və dünyada gedən qlobal proseslərin kənd təsərrüfatı sahələrinə də ciddi şəkildə təsiri danılmaz faktdır. Rəqəmsal transformasiyalar şəraitində təsərrüfatın bütün sahələrində, o cümlədən kənd təsərrüfatında işçi qüvvəsinin məhsuldar çalışması və əmək məhsuldarlığına təsir edən faktorlar köklü surətdə dəyişmişdir. Bütün bu sadalananlar bizim araşdırmaq istədiyimiz mövzunun aktullığını gündəmə gətirir.
Tədqiqatın əsas məqsədi
Hazırki mövzumuzun daxilində biz kənd təsərrüfatında çalışanalrın işçi performansına təsir edən amilləri müəyyənləşdirmək və iqtisadiyyatın digər sahələrindəki analoji vəziyyətlə müqayisəli təhlilini aparmaqdır.
Qarşıda duran vəzifələr:
1. Kənd təsərrüfatını digər sahələrdən fərqləndirən spesifik cəhətləri müəyyənləşdirmək
2. Kənd təsərrüfatında çalışan işçilərin əmək şəraitinin və əməyin ödənilməsi mexanizmlərimi araşdırmaq
3. Kənd təsərrüfatında çalıçan işçilərin əmək performansına təsir edən xüsusi amilləri aşkarlamaq
İrəli sürülən hipotezlər
Bizim fikrimizcə tədqiqat nəticəsində aşağıdakı nəticələrə gələ bilərik:
1.Bu sektorda çalışan işçilərin performans göstəricilərinə ənənəvi amillər təsir etməkdə davam edir.
2.Rəqəmsal texnologiyaların inkişafı bu amillərə xüsusi təsir göstərir.
Ədəbiyyat icmalı
Tədqiq etdiyimiz mövzu ilə bağlı aşağıdakı müəlliflərin əsərləri təqdirəlayiqdir. O cümlədən yerli mütəxəssislərdən Surxay Səfərovun:-"Müasir iqlim dəyişmələri və Azərbaycan əsəri ilə iqlim" adlı əsəri ilə iqlim dəyişmələrinin kənd təsərrüfatına və orada çalışan işçilərin performans göstəricilərinə təsiri kimi məsələlərə toxunulmuşdur. Digər müəlliflərdən Vahid Abbasov:-"Aqrar sahədə iqtisadi tənzimləmənin aktual problemləri" adlı əsəri ilə mövzunu bir qədər də inkişaf etdirərək kənd təsərrüfatının aktual problemlərinə toxunmuşdur. Xarici müəlliflərdən Michael Armstrong və James W. Smither öz əsərlərində işçi performansının mahiyyətinə işçi performansının ənənəvi üsullarına toxunmuşdur. Amanova S:-" Kənd təsərrüfatında ağıllı texnologiyalar və onların tətbiqi" məqaləsi ilə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqinin əhəmiyyətini vurğulamışdır
Metodologiya
Tədqiqat zamanı elmə məlum olan və bizim mövzumuzun araşdırılmasında xüsusi əhəmiyyəti olan elmi-idrakın ümumi-məntiq metodlarından xüsusilə empirik tədqiqat metodlarından o cümlədən müqayisəli analiz metodundan geniş istifadə olunmuşdur.
Əsas tədqiqat işi.
1. İşçi performansının mahiyyəti.
Yüksək performans göstərən işçilər təşkilatın məhsuldarlığını artırır, rəqabət qabiliyyətini gücləndirir və strateji məqsədlərə çatmağı asanlaşdırır. Yüksək performanslı iş sistemləri vasitəsilə təşkilatın məhsuldarlıq, keyfiyyət, müştəri xidmətinin səviyyəsi, artım və mənfəət ki;mi sahələrdə fəaliyyətinə təsir göstərməyi hədəfləyir (Michael Amstrong, 2021).
Bizim fikrimizcə, işçi işlədiyi müəssisənin məhsuldarlığını artırmaq üçün ilk növbədə təşkilatın məqsədlərini və işin özünü analiz etməyi bacarmalıdırlar. İşçi performansı bir neçə elementi özündə birləşdirir. İşçinin işə yanaması, intizamı, komandada işləmək bacarığı və ünsiyyət qabiliyyəti bunları əhatə edir. Eyni zamanda işçi performansı müəssisənin ümumi uğuruna təsir edir.
2. Kənd təsərrüfatında çalışan işçilərin xüsusiyyətləri.
Kənd təsərrüfatında çalışan işçilərin xüsusiyyətləri digər sahələrdə çalışan işçilərdən müəyyən cəhətlərə görə fərqlənir. Əsasən fiziki əmək, iqlim şəraiti yağış və quraqlıq və.s bunları aid etmək olar. Kənd təsərrüfatında çalışanlar təbii fəlakətlər, xəstəliklər və.s kimi risqlərlə üzləşirlər. Kənd təsərrüfatında ixtisaslaşmanın və mərkəzləşmənin inkişafı da böyük rol oynayır. "İşçi qüvvəsinin ixtisas üzrə iş stajı birbaşa əmək məhsuldarlığına təsir edir. Təcrübəli mexanizatorlar aqrotexniki tədbirləri mükəmməl

bildiklərinə görə texnoloji proseslərin təşkilini düzgün həyata keçirməklə əmək resurslarından səmərəli istifadə olunmasının və məhsuldarlığının artmasına şərait yaradırlar."(Vahid Abbasov,2016). Kənd təsərrüfatında çalışan işçilərin xüsusiyyətləri birbaşa olaraq bu sahədə məşğulluq və sosial amillərlə sıx bağlıdır. Ümumiyyətlə, kənd təsərrüfatı sektorunda müşahidə olunan əsas problemlərdən biri işçi qüvvəsinin tədricən digər sahələrə, xüsusilə də xidmət sektoruna yönəlməsidir. Bu proses isə kənd təsərrüfatında çalışan işçilərin həm sayına, həm də keyfiyyət göstəricilərinə ciddi təsir edir. Bizim fikrimizcə, kənd təsərrüfatında çalışan işçilərin ən əsas xüsusiyyətlərindən biri onların əmək şəraitinə yüksək uyğunlaşma qabiliyyətinə malik olmalarıdır. Bu sahədə çalışan insanlar çox vaxt açıq hava şəraitində, iqlim dəyişikliklərinin birbaşa təsiri altında fəaliyyət göstərirlər. Bu isə onlardan fiziki dözümlülük, səbr və çeviklik tələb edir. Lakin mövcud sosial-iqtisadi şərait bu xüsusiyyətlərin davamlı şəkildə qorunmasına müəyyən mənada mane olur. Belə ki, kənd təsərrüfatı sektorunda ixtisaslı kadrların azlığı bu sahədə çalışan işçilərin peşəkarlıq səviyyəsinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Eyni zamanda, gənc mütəxəssislərin kənd təsərrüfatına marağının azalması da işçi kontingentinin əsasən yaşlı nəsildən ibarət olmasına gətirib çıxarır. Bu isə innovativ yanaşmaların tətbiqini çətinləşdirir və əmək məhsuldarlığını aşağı salır. Digər tərəfdən, kənd təsərrüfatında çalışan işçilərin xüsusiyyətlərinə təsir edən mühüm amillərdən biri də kənd yerlərində sosial infrastrukturun yetərincə inkişaf etməməsidir. Təhsil, səhiyyə, nəqliyyat və digər sosial xidmətlərin məhdud olması kənddə yaşayan əhalinin həyat səviyyəsini aşağı salır və onların şəhərlərə miqrasiyasını sürətləndirir. Nəticədə kənd təsərrüfatında çalışan işçilərin sayı azalır, mövcud işçilərin isə iş yükü artır.

Bundan əlavə, kənd və şəhər həyat şəraiti arasındakı fərqlər də bu sahədə çalışan işçilərin xüsusiyyətlərinə təsir göstərir. Şəhərlərdə daha yüksək gəlir imkanlarının və rahat həyat şəraitinin mövcud olması kənd təsərrüfatını gənclər üçün daha az cəlbedici edir. Bu isə kənd təsərrüfatında çalışan işçilərin motivasiya səviyyəsinin aşağı düşməsi ilə nəticələnir.

3.İşçi performansına təsir edən amillər.

İşçi performansına təsir edən amillər haqqında yazarkən onu bir neçə əsas istiqamətdə izah etmək daha məntiqlidir. Çünki performans yalnız işçinin şəxsi xüsusiyyətləri ilə deyil, həm də işlədiyi mühit və ümumi şəraitlə sıx bağlıdır.

İlk növbədə fərdi amillər mühüm rol oynayır. İşçinin bilik səviyyəsi, peşə hazırlığı və təcrübəsi onun iş nəticələrinə birbaşa təsir edir. Eyni zamanda motivasiya da burada əsas faktorlardan biridir. Əgər işçi gördüyü işin qarşılığını ədalətli hesab edirsə və özünü dəyərli hiss edirsə, daha yüksək nəticələr göstərməyə meylli olur. Bundan başqa, insanın psixoloji vəziyyəti, stres səviyyəsi və ümumi sağlamlığı da performansa təsirsiz ötüşmür. Yorğun və ya motivasiyası aşağı olan işçidən yüksək məhsuldarlıq gözləmək çətin olur.

Digər tərəfdən, təşkilati amillər də işçi performansının formalaşmasında həlledici rol oynayır. Müəssisədə tətbiq olunan idarəetmə üslubu, rəhbərlərin işçilərlə münasibəti və ümumi iş mühiti burada xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Əgər təşkilatda ədalətli əməkhaqqı sistemi, şəffaf qiymətləndirmə mexanizmi və inkişaf imkanları mövcuddursa, bu, işçilərin daha məsuliyyətli və səmərəli işləməsinə səbəb olur. İş şəraitinin təhlükəsiz və rahat olması da performansı artıran vacib şərtlərdəndir. Əks halda, işçi öz potensialını tam şəkildə reallaşdıra bilmir.

Bununla yanaşı, sosial və xarici amillər də nəzərə alınmalıdır. Cəmiyyətin iqtisadi vəziyyəti, əmək bazarındakı rəqabət səviyyəsi və işçinin ailə mühiti onun işə yanaşmasına dolayı təsir göstərir. Məsələn, iqtisadi qeyri-sabitlik dövründə insanlar iş yerlərini qorumaq üçün daha məsuliyyətli davrana bilər, lakin uzunmüddətli stress əks təsir də yarada bilər. Mütəxəssislər tərəfindən aparılan araşdırmalar göstərir ki, iş məmnuniyyəti, işçi qrupları və komandalar, performans qiymətləndirilməsi və geribildirim, təşkilati mədəniyyət və iqlim və s. kimi mövzular ən son illərdə belə dünyanın fərqli nəşrlərində yayımlanmaqda davam edir və öz aktuallığını qoruyub saxlayır. Burada qeyd olunan performans qiymətləndirilməsi və geribildirim, bizim fikirimcə işçinin öz fəalliyətini anlaması baxımından önəmlidir. Düzgün və obyektiv qiymətləndirmə sistemi, eləcə də vaxtında verilən geribildirim işçinin zəif və güclü tərəflərini görməsinə kömək edir və nəticədə performansın inkişafına şərait yaradır.

4.Kənd təsərrüfatında işçi performansına təsir edən amillər:

Kənd təsərrüfatında işçi performansı bir çox amillərin, xüsusilə təbii-iqlim şəraiti, fiziki əmək yükü və təşkilati mühitin birgə təsiri nəticəsində formalaşır. Bitkiçilik və heyvandarlıq sahəsində resurslara qənaət edən müasir texnologiyaların tətbiqi məhsuldarlığı artırır. Eyni zamanda, əməyin düzgün təşkili və işin daha intensiv aparılması da vacibdir. Kadrların ixtisasının artırılması və onların maddi cəhətdən stimullaşdırılması da bu prosesə müsbət təsir göstərir. Ümumilikdə, müasir texnologiyaların tətbiqi və əməyin düzgün təşkili nəticəsində resurslardan daha səmərəli istifadə olunur və məhsuldarlıq artır. Müasir

dövrdə kənd təsərrüfatı insanların ehtiyaclarını ödəmək üçün təkcə ənənəvi üsullarla kifayətlənə bilmir. Ətraf mühitin qorunması və kənd təsərrüfatının uzunmüddətli inkişafı üçün yeni yanaşmalar lazımdır. Bu baxımdan "ağıllı texnologiyalar" çox vacib rol oynayır. Rəqəmsal texnologiyalar və ağıllı əkinçilik üsulları kənd təsərrüfatının daha səmərəli və davamlı olmasına kömək edir. Əşyaların interneti (IoT) (cihazların internet vasitəsilə bir-biri ilə əlaqə qurub məlumat paylaşmasıdır və kənd təsərrüfatında bu texnologiya torpaq, su və bitkiləri izləyərək suvarma və istehsalı daha səmərəli idarə etməyə imkan verir.) Big Data (çox böyük həcmli məlumatların analiz olunmasıdır və kənd təsərrüfatında hava, torpaq və məhsul məlumatlarını təhlil edərək məhsuldarlığı artırmaq və düzgün qərarlar vermək üçün istifadə olunur.) və süni intellekt kimi texnologiyalar vasitəsilə fermerlər öz işlərini daha dəqiq izləyə və idarə edə bilirlər. Bu texnologiyalar məhsuldarlığın artmasına, resurslardan düzgün istifadəyə və ərzaq təhlükəsizliyinin təmin olunmasına imkan yaradır. Ümumiyyətlə, "ağıllı texnologiyalar" kənd təsərrüfatının gələcəyi üçün böyük potensiala malikdir və bu sahənin inkişafına ciddi töhfə verir. Bizim fikrimizcə, big data və süni intellekt kimi texnologiyalar vasitəsilə işçilər öz fəaliyyətlərini daha düzgün planlaya və izləyə bilirlər. Bu isə səhvlərin azalmasına, həmçinin əmək məhsuldarlığının və ümumi işçi performansının artmasına səbəb olur. Çoxsaylı araşdırmaların nəticələri göstərir ki, əlverişsiz hava şəraiti nəticəsində dünya iqtisadiyyatına dəyən ziyanın 65%-i kənd təsərrüfatının payına düşür. (Səfərov, 2011). Bu da kənd təsərrüfatında çalışan işçilərin fəalliyətinə mənfi təsir edir. Aqrar sahənin strukturu əsaslı şəkildə dəyişmiş, yeni istehsal sahələri və təsərrüfat formaları yaradılmışdır. Bütün bunlar həm müsbət nəticələrə- yüksək texnologiyaların istehsalatda istifadəsi, maddi-texniki bazanın yaxşılaşdırılması, əsas vəsaitlərin yenilənməsi, iş şəraitinin yaxşılaşdırılması və s., həm də mənfi meyillərə - yeni texnologiyaların istifadəsi üçün əmək ehtiyatlarının hazır olmaması, yeni texnika və texnologiyaların əl əməyini sıxışdırması nəticəsində məşğulluğun azalması, iş yerlərinin məhdudluğu və s.-yə gətirib çıxarmışdır.

Nəticə

Aparılan tədqiqat belə qənaətə gəlməyə əsas verir ki, kənd təsərrüfatında işçi performansı çoxşaxəli və dinamik amillərin təsiri altında formalaşır. Bu sahədə çalışan işçilərin fəaliyyətinə iqlim şəraiti, fiziki əmək yükü, sosial mühit və təşkilati idarəetmə kimi ənənəvi faktorlar mühüm təsir göstərsə də, müasir mərhələdə rəqəmsal texnologiyaların rolu getdikcə daha da artır. Xüsusilə "ağıllı texnologiyaların" tətbiqi iş prosesinin daha səmərəli təşkili, resurslardan optimal istifadə və məhsuldarlığın yüksəldilməsi baxımından yeni imkanlar yaradır. Bununla yanaşı, ixtisaslı kadr çatışmazlığı, kənddən şəhərə miqrasiya və sosial infrastrukturun zəif inkişafı kimi problemlər hələ də aktual olaraq qalır və işçi performansına mənfi təsir göstərir.

Beləliklə, kənd təsərrüfatında işçi performansının artırılması üçün həm ənənəvi amillərin təkmilləşdirilməsi, həm də innovativ texnologiyaların geniş tətbiqi zəruri hesab olunur. Bu istiqamətdə kompleks yanaşmanın tətbiqi sektorun davamlı inkişafını təmin etməklə yanaşı, ümumi iqtisadi səmərəliliyin yüksəldilməsinə də mühüm töhfə verə bilər.

Ədəbiyyat siyahısı:

1. **Michael Armstrong** and **Stephan Taylor.**
Human Resource Management Practice,
London: kogan Page nəşriyyatı,2006.-982 s.
2. **James W. Smither** and **Manuel London.**
Performance Management, ABŞ: Wiley nəşriyyatı,2009-585 s.
3.**Vahid Abbasov.** Aqrar sahədə iqtisadi tənzimləmənin aktual problemləri
Bakı: MBM, 2012.-424 s.
4. **Surxay Səfərov.** Müasir iqlim dəyişmələri və Azərbaycan.
Bakı: Ziya nəşriyyatı, 2011-312 s.
5.**Amanov, S.(2025).** Kənd təsərrüfatında ağıllı texnologiyalar və onların
Tətbiqi. Azərbaycan Texniki Universiteti.məqalə
6. **Məhriyyə Hacıyeva (2025).** Müasir dövrdə aqrar sahədə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi və rolu. Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti nəzdində İnşaat Kolleci. məqalə
7. **Müşfiq Cəfərov(2020).** Sosial-iqtisadi amillərin kənd təsərrüfatında məşğulluq səviyyəsinin yüksəldilməsinə təsiri. məqalə
8. **Əlisa Zeynallı.** Azərbaycan kənd təsərrüfatı coğrafiyasının müasir problemləri
Bakı: Elm nəşriyyatı, 2005-392 səh.
9. **Abbasov, E. (2019)** Kənd təsərrüfatının iqtisadi-statistik təhlili: dissertasiya işi/ Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti.-Bakı, Azərbaycan.

EFFEKTİV RƏHBƏRLİKDƏ YUMŞAQ BACARIQLARIN ƏHƏMİYYƏTİ

ESMİRA DADAŞOVA
Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində İqtisadiyyat və Humanitar kollec Publik Hüquqi Şəxs
Müəllim
edadashova@std.beu.edu.az
Xırdalan, Azərbaycan

Xülasə: Müasir idarəetmə sistemində rəhbərlik anlayışı əhəmiyyətli dərəcədə dəyişikliyə uğramışdır. Bu da sosial–iqtisadi dəyişikliklər, texnoloji inkişaf və qloballaşma proseslərinin təsiri ilə baş vermişdir. Ənənəvi idarəetmə modellərində rəhbər işçilərin sadəcə texniki biliklərə və ixtisas biliklərinə malik olması tələb olunurdu. Qloballaşan dünyada artıq bu biliklər çətin bacarıqlar adlandırılır. Eyni zamanda insan amilinin və sosial münasibətlərin də, idarə olunması üçün yumşaq bacarıqlar anlayışı meydana çıxmışdır. Modern idarəetmə üsulları təşkilatda insan amilinə önəmli yer verir. Yumşaq bacarıqlar effektiv rəhbərliyin ayrılmaz tərkib hissəsinə çevrilmişdir. Fərdin digər insanlarla ünsiyyət qurmaq, komanda daxilində əməkdaşlıq etmək, emosiyalarını idarə etmək, problemləri konstruktiv şəkildə həll etmək, analitik düşünmək və dəyişikliklərə uyğunlaşmaq qabiliyyətləri yumşaq bacarıqlar adlanır. Yumşaq bacarıqlar rəhbərin təşkilat daxilində sağlam psixoloji mühit yaratmasına, əməkdaşların motivasiyasını artırmasına və ümumilikdə təşkilatda məhsuldarlığın yüksəlməsinə birbaşa təsir göstərir.

Bu məqalənin əsas məqsədi effektiv rəhbərlikdə yumşaq bacarıqların rolunu araşdırmaq, onun təşkilatın uğur qazanmasına necə təsir etdiyini təhlil etmək və müasir idarəetmədə bu bacarıqların inkişaf etdirilməsinin vacibliyini və əhəmiyyətini əsaslandırmaqdır.

Açar sözlər: **idarəetmə, rəhbərlik, yumşaq bacarıqlar, çətin bacarıqlar, insan.**

Abstract: İn the modern management system, the concept of leadership has undergone significant changes. This transformation has been driven by socio-economic changes, technological development, and globalization processes. İn traditional management models, it was required for leaders to possess only technical knowledge and professional expertise. In the globalized world, these competencies are now referred to as hard skills. At the same time, the need to manage the human factor and social relationships has led to the emergence of the concept of soft skills.

Modern management approaches place great importance on the human factor within organizations. Soft skills have become an integral part of effective leadership. The ability of an individual to communicate with others, collaborate within a team, manage emotions, solve problems constructively, think analytically, and adapt to changes are contribute to creating a healthy psychological environment within the organization, increasing employee motivation, and improving overall organizational productivity.

The main objective of this article is to examine the role of soft skills in effective leadership, analyze how they influence organizational success, and justify the importance and necessity of developing these skills in modern managemement.

Keywords: **management, leadership, soft skills, hard skills, human.**

GİRİŞ

Rəhbərlik cəmiyyətin inkişafında mühüm yer tutan vacib anlayışlardan biridir. İnsanlar adətən təkbaşına deyil, qrup halında fəaliyyət göstərirlər. Bu zaman onların işini koordinasiya edən, istiqamətləndirən və ümumi məqsədə yönəldən bir qüvvəyə ehtiyac yaranır. Bu qüvvə rolunu yerinə yetirən rəhbərlikdir.

Rəhbərlik dedikdə, bir qrup insanın fəaliyyətini müəyyən məqsədə doğru istiqamətləndirmək, onları təşkil etmək, motivasiya etmək və idarə etmək prosesi başa düşülür. Hər bir təşkilatın qarşısında mütləq müəyyən məqsəd və hədəfi olmalıdır. Həmin məqsədlərə çatmaq üçün təşkilatın güclü komandaya ehtiyacı vardır. Güclü komandanı yaradan və idarə edən qüvvə isə təşkilatın rəhbərliyidir. Yəni rəhbərlik insanların " nə etməliyik?" və "necə etməliyik?" suallarına cavab verərək onları hədəfə doğru aparır. Eyni zamanda rəhbərlik təkcə idarəetmə deyil, həm də insanlarla düzgün ünsiyyət qurmaq, onları motivasiya etmək, qərar vermək və məsuliyyət daşımaq bacarıqlarını ifadə edir. Rəhbərlik yalnız əmrlər vermək, lazımi sənədləri imzalamaq, işçiləri idarə etməkdən ibarət deyildir. Rəhbərlik insanları anlamaq, onlarla düzgün münasibət qurmaq və onları inkişaf etdirmək bacarıqlarına malik olmalıdır. Bu bacarıqlar rəhbərliyi effektiv rəhbərliyə çevirir. Effektiv rəhbərlik müasir dövrdə uğurlu təşkilatların, müəssisələrin, həmçinin kiçik kollektivlərin uğur qazanmasının əsas şərtidir. Effektiv rəhbərin əsas üstünlüyü isə onun çətin bacarıqlarla yanaşı yumşaq bacarıqlarada malik olmasındadır. Yumşaq və çətin bacarıq anlayışı bir birindən kəskin

fərqlənən bacarıqlardır. Çətin bacarıq anlayışı sırf ixtisas biliklərini ifadə edir. Çətin bacarıqları öyrənmək asandır,bu iş sadəcə istək və müəyyən müddət tələb edir. Yumşaq bacarıqlar isə insanların münasibət qurmaq, empatiya, mühitə uyğunlaşma, analitik düşünmə və s. bacarıqlarını əhatə edir.Yumşaq bacarıqlar insanların həyatı boyu qazandığı xüsusiyyətlərdir və insanın xarakteri ilə də birbaşa bağlıdır. Çətin və yumşaq bacarıqlar bir-birindən nə qədər fərqlənsə də, effektiv idarəetməni həyata keçirmək üçün rəhbər işçilərin hər biri bu bacarıqlara malik olmalıdırlar. Eyni zamanda bu bacarıqlardan düzgün istifadə etmək rəhbər işçinin peşəkarlığının sübutudur.

Qloballaşma, rəqabətin artması və iş mühitində insan faktorunun önə çıxması "effektiv rəhbərlikdə yumşaq bacarıqların rolu" mövzusunu aktual edən əsas amillərdəndir. Bu baxımdan təqdim olunan məqalənin əsas məqsədi rəhbərlik fəaliyyətində kommunikasiya, emosional intellekt, empatiya, komanda ilə işləmə və qərarvermə kimi yumşaq bacarıqların təsirini araşdırmaq və onların təşkilati performansa verdiyi töhfəni elmi əsaslarla təhlil etməkdir.

Məqalənin elmi yeniliyi olaraq, yumşaq bacarıqlar yalnız fərdi keyfiyyət kimi deyil, strateji idarəetmə aləti kimi qiymətləndirilir və onların effektiv rəhbərlik modelində sistemli rolu əsaslandırılır.Tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti isə ondan ibarətdir ki, əldə olunan nəticələr rəhbərlər, menecerlər və təşkilati inkişaf üzrə mütəxəssislər üçün real idarəetmə prosesində tətbiq oluna biləcək tövsiyələr təqdim edir. Nəticə etibarilə, tədqiqat göstərir ki, effektiv rəhbərlik yalnız sərt idarəetmə üsulları ilə deyil, daha çox insan yönümlü yanaşma və inkişaf etmiş yumşaq bacarıqlar vasitəsilə təmin edilir. Bu isə müasir təşkilatlarda davamlı uğurun əldə olunmasının əsas şərtlərindən biri kimi çıxış edir.

1.EFFEKTİV RƏHBƏRLİYİN MAHİYYƏTİ

Müasir dövrdə rəhbərlərin fəaliyyət dairəsi çox genişdir. Rəhbərlər öz xidməti funksiyalarını icra edərkən müxtəlif məsələlərin optimal həllini axtarır, kollektivin motivasiyasını yüksək saxlamağa çalışır, çətin vəziyyətlərdə ciddi qərarlar qəbul edir,eyni zamanda özü də kollektivə nümunə olmağa çalışır. Bunlarla yanaşı ixtisas bilikləri sayəsində bəzən də pedaqoq kimi çıxış etməli olur. (Ataşov, 2011). Rəhbərin bu xüsusiyyətləri ilə yanaşı hansı idarəetmə üslubunu seçməsi də onun kollektiv arasında nüfuzuna təsir edir. Əgər rəhbər işçi avtoritar iş üslubunu seçirsə, demək o mərkəzləşməyə meyllidir, bütün əhəmiyyətli qərarları özü tək qəbul edəcək, məqsədinə nail olmaq üçün heç bir maneədən çəkinməyəcəkdir. Avtoritar idarəetmə üslubunu seçən rəhbərlərdə adətən özünəinam çox aşağı səviyyədə olur, işçilərin fikrinə önəm verməyi və onların mənafeyini düşünməyi üçün də adətən kollektiv tərəfindən sevilmir. Belə rəhbərlər işlərini operativ, dəqiq yerinə yetirsə də, idarəçilik məsrəflərinə həddindən artıq qənaət etdiklərinə görə kollektiv daima ondan narazı olur. Avtoritar idarəetmə üslubu artıq müasir dövrdə öz aktuallığını itirmişdir. Bu üslub daha çox inzibati amirlik sistemində özünü doğruldurdu.

Demokratik rəhbərlik metodunda rəhbər işçi öz kollektivinə güvənir, onların fikirlərinə hörmət edir, qərar qəbulunda onların iştirakını təmin edir, həmkarlarına diqqət və hörmətlə yanaşır, onların ehtiyaclarına qayğıkeşliklə yanaşır. Bu üslubu seçən rəhbərlər bir növ kouç kimi çıxış edir, təşkilatda komanda ruhunu yaratmağa nail olur, kollektivdə yüksək əhval ruhiyyə yaradır. Belə rəhbərlər kollektiv tərəfindən yüksək rəğbətlə qarşılanır və nüfuzu daim artır. Demokratik rəhbərlər işçilərin əməyinin qiymətləndirilməsində ədalətli olur, həvəsləndirici motivasiyadan səmərəli istifadə edir və kollektivdə əlverişli psixolojimühit yaratmağa nail olur.

Liberal rəhbərlik üslubu adətən işdə səhlənkarlığa yol vermək, məsuliyyətdən qaçmaq və daim yuxarılardan əmr gözləmək, sərbəst qərar verə bilməmək kimi xüsusiyyətlərə malikdir. Bu üslubu seçən rəhbərlərin işmilərin yanında nüfuzu aşağı olur, kollektivə tapşırıq verərkən onlar işdən boyun qaçırır, yuxarı rəhbərlər mühüm qərar qəbulunda onun fikrini nəzərə almır. Belə rəhbərlər şan şöhrət qazanmaq üçün öz şəxsi prinsiplərini qurban verir, işçilərə lazımsız güzəştlər, zəhmətsiz mükafatlar verməyə daim hazır olurlar (Ataşov, 2011). Təbii ki, belə rəhbərlər öz təşkilatına uğur qazandıra bilməz.

Effektiv rəhbərlikdə bu idarəetmə üslüblarından sadəcə birini seçmək yerinə, bir neçə üslubdan istifadə etmək məqsədəuyğundur. Yəni, rəhbər şəxs qarşılaşdığı situasiyaya uyğun olaraq yanaşma tətbiq etməlidir. İdarəetmə prosesi kortəbii şəkildə həyata keçirilə bilməz. İdarəçilər bir sıra xüsusiyyətlərə malik olmalıdır və bu xüsusiyyətlərə əsasən də yanaşmlar mövcuddur. Məsələn üç xüsusiyyət yanaşması. Bu yanaşmaya görə idarəçi üç əsas xüsusiyyətə malik olmalıdır:

1. İdarəçinin intellektual xüsusiyyətləri yüksək səviyyədə olmalıdır;
2. İdarəçinin xarakterilə ilə bağlı xüsusiyyətləri, yəni diqqətli, təşəbbüskar,iradəli, səbrli,nizam intizamlı və ehtiyatlı olmalıdır;
3. İdarəçi yüksək sosial xüsusiyyətlərə malik olmalıdır ki, ətrafdakılar onu qəbul etsin və insanlara söz keçirə bilsin (Bəşirli,Heydərov, 2024)

Yuxarıda sadalanan xüsusiyyətlər idarəçini işçilər tərəfindən qəbul olunmasına və effektiv rəhbərlik fəaliyyətinin həyata keçirilməsinə əsaslı təsir göstərir. Bu xüsusiyyətlər müasir idarəetmədə xüsusi yer tutan yumşaq bacarıqlarla sıx əlaqəlidir. Belə ki, idarəçinin intellektual səviyyəsinin yüksək olması analitik düşünmə, problem həll etmə və düzgün qərarvermə bacarıqlarının formalaşmasına şərait yaradır.
İdarəçinin xarakteri ilə bağlı olan xüsusiyyətlər, yəni diqqətlilik, təşəbbüskarlıq, iradəlilik və s. isə idarəçinin emosional zəka səviyyəsinin göstəricisidir. İdarəçinin bu keyfiyyətlərə malik olması stressin idarə olunmasında, konfliktlərin həllində və komanda daxilində sağlam psixoloji mühitin yaradılması baxımından mühüm rol oynayır. Bununla yanaşı effektiv ünsiyyət, aktiv dinləmə, empatiya qurma və insanlara təsir etmə bacarığı rəhbərin sağlam münasibətlər qurmasına və onların motivasiyasını artırmasına kömək edir. Deməli, idarəçinin qeyd olunan xüsusiyyətləri onun yumşaq bacrıqlarını əks etdirir.

2. EFFEKTİV RƏHBƏRLİKDƏ YUMŞAQ BACARIQLARIN ROLU

Ümumiyyətlə bacarıq dedikdə, insanın hər hansı bir işi düzgün, səmərəli və məqsədyönlü şəkildə yerinə yetirmək qabiliyyəti başa düşülür. Yəni, bildiklərimizin praktikada tətbiq edilməsidir. Müasir mütəxəssisin peşəkarlığı çox vaxt ənənəvi peşə hüdudlarından kənara çıxan bacarıqların unikal birləşməsi əsasında formalaşır. Hazırkı dövrdə çətin bacarıqlar peşə bacarıqları hesab edilməklə həm texniki bacarıqlar, həm də idrak qabiliyyətləri, sosial-emosional keyfiyyətlər və etik münasibətləri əhatə edən dinamik, daim yenilənən səlahiyyətlər sistemini təmsil edir. Çətin bacarıqlara sahə üzrə texniki bacarıqlar, analitik bacarıqlar, kompüter bacarıqları, marketinq bacarıqları, çətin ünsiyyət bacarıqları, biznes və idarəetmə bacarıqları aid edilir (Hüseyn, Davudov, Məhərrəmov, Qasımova, 2025). Çətin bacarıqlar ixtisasa yiyələnməklə, təlimlərdə iştirak etməklə öyrənilə bilən bacarıqlardır. Rəhbərlikdə çətin bacarıq işi effektiv idarə etmək üçün ölçülə bilən, öyrədilə bilən konkret texniki bilik və qabiliyyətlərdir. Bunlara planlaşdırma və strategiya qurma, maliyyə bilikləri, analitik düşüncə, layihə idarəetmə, hüquqi və normativ biliklər, hesabat hazırlamaq kimi işləri aid edə bilərik. Çətin bacarıqlar rəhbərə işini dəqiq və sistemli idarə etməyə imkan verir. Bu bacarıqların əskikliyi idarəetmənin zəif və plansız şəkildə həyata keçirilməsinə, rəhbərin iş mühitində nüfuzunun azalmasına təsir edə bilər.
Yumşaq barıqlar çətin bacarıqlardan fərqli olaraq insanın həyatı boyu qazandığı, asanlıqla dəyişdirə bilmədiyi bacarıqlardır. Bu bacarıqlara effektiv ünsiyyət qurma bacarığı, emosional zəka, özünüdərk və fərqindəlik bacarığı, vaxtın idarə olunması,stresə davamlılıq, düşüncə bacarıqları və liderlik bacarıqları aid edilir (Davudov, Qasımova, Salamova, 2025).
Yumşaq bacarıqlar tapşırıqları səmərəli icra etmək üçün tələb olunan çətin bacarıqların tətbiqini asanlaşdıran şəxslərarası, fərdi və uyğunlaşma bacarıqlarını ifadə edir (Aksu, 2023). Deməli, mütəxəssis öz ixtisas biliklərini yumşaq bacarıqların vasitəsilə üzə çıxara bilir. Məsələn, CV nümunəsində işaxtaranın həm ixtisas həm də insani xüsusiyyətləri əks olunur. Rəhbər işçilər CV-ni təhlil edərkən əməkdaşlarda çətin bacarıq kimi xarici dil bilmə səviyyəsinə, diplom, sertifikat, rəqəmsal bacarıqlarına, peşə biliklərinə nəzər yetirir. Onun yumşaq bacarıqları isə komandada işləmə qabiliyyəti, ünsiyyət qurmaq bacarığı, natiqlik, analitik və tənqidi düşünmə bacarıqları,stresə davamlılıq, empatiya qurmaq eyni zamanda da vaxtı düzgün idarə etmə qabiliyyətləri ilə ölçülür. Bu bacarıqları yalnız müsahibə mərhələsində izləmək mümkündür.Yumşaq bacarıqlar idarəetmədə və iş mühitində yüksək nailiyyətlər əldə etməyə kömək edir.
Effektiv rəhbərlikdə vacib olan yumşaq bacarıqlarından biri emosional zəkadır. Emosional zəka dedikdə, fərdlərin düşünmək, mühakimə etmək, başqalarının hisslərini anlamaq kimi xüsusiyyətləri başa düşülür. Daniel Golemanın yanaşmasına görə emosional zəka insanın həm öz hisslərini, həmdə başqasının emosiyalarını düzgün anlaması və idarəetmə bacarığıdır. Emosional zəka bizə öz emosiyalarımızı tanımaq, onları idarə etmək, lazım gəldikdə özünü başqasının yerinə qoyub onun hisslərini anlamaq və düzgün münasibətlər qurmağa kömək edir. Aşağı emosional zəkaya malik olan rəhbərlər öz əməkdaşları ilə düzgün münasibət qurmaqda çətinlik çəkir, komanda ruhu yarada bilmir, təşkilatda öz nüfuzunu qoruyub saxlaya bilmirlər. Daniel Goleman emosional zəkanın rəhbərlikdə rolunu belə ifadə edir: “Emosional zəka uğurlu liderliyin əsas kompanentlərindən biridir və qərarverməyə birbaşa təsir edir” (Goleman,2020). Özünüidarəetmə liderlərin mürəkkəb, qeyri-müəyyən şəraitdə belə emosional sabitliyini qoruyub saxlaya bilməsi və düzgün qərar qəbul etməsinə imkan yaradır. Daniel Goleman vurğulayır ki, bu bacarıq rəhbərlərə yalnız şəxsi effektivliklərini qorumağa deyil, eyni zamanda komanda üzvləri üçün də sabit və güvənli mühit yaratmağa imkan verir. Nəticədə stresə davamlı liderlər dəyişikliklərə digərlərindən tez uyğunlaşırlar, konfliktləri peşəkarcasına həll edir və təşkilatın daxilində məhsuldarlığın bu səbəblərdən aşağı düşməsinin qarşısını ala bilir (Goleman, 2020). Effektiv rəhbərlikdə vaxtın düzgün idarə edilməsi bacarığının əhəmiyyəti böyükdür. Rəhbər işçinin öz iş vaxtını düzgün planlaması, məqsədyönlü və səmərəli şəkildə bölməsi həm şəxsi, həm də komanda fəaliyyətinin maksimum nəticəyə yetişməsini təmin

etmə bacarığıdır. Burada əsas məsələ işləri vaxtında çatdırmaq deyil, prioritetləri düzgün seçmək, resurslardan yerində və səmərəli istifadə etməkdir. İşləri vaciblik sırasına görə vaxtında yerinə yetirmək də, rəhbərin vaxtın düzgün idarə edilməsi bacarığından məharətlə yararlandığının göstəricisidir. Bu işdə bir neçə mühüm texnikaların tətbiq edilməsi də məqsədə uyğundur. SMART məqsədlər, Pomodoro texnikası, Deleqasiya və Time Blocking texnikaları tapşırıqların effektiv şəkildə yerinə yetirilməsinə kömək edir. Məsələn, Time Blocking texnikasına görə gün ərzində konkret saatları müəyyən işlərə ayırmaq faydalıdır: səhər – strateji işlər, günorta – görüşlər, axşam – analiz və təhlil.

Effektiv rəhbərlikdə vacib olan digər yumşaq bacarıq növü "Liderlik və komanda işi" bacarığıdır. Rəhbərlik təyin olunmuş vəzifə deyil, qazanılmış bir vəzifədir. Liderlik güc və ya biliyə malik olmaq deyil, başqalarını ruhlandırmaq və istiqamətləndirmək bacarığıdır. Liderin məqsədi vardır və o bu məqsədə çatmaq üçün konfliktləri idarə etməli, təşkilatda ruhlandırıcı mühit yaratmalı, işçiləri həvəsləndirməli və strukturlaşdırılmış iş mühiti yaratmalıdır (Davudov, Qasımova, Salamova,2025).

Natiqlik bacarığı effektiv rəhbərliyin əsas yumşaq bacarıqlarından biri hesab olunur, çünki liderlər öz ideyalarını insanlara aydın, təsirli və inandırıcı şəkildə ifadə etməlidir. Onun inandırıcı çıxışı komandanı ruhlandırır və işdə məhsuldarlığın yüksəlməsinə birbaşa təsir göstərir. Dale Carnegie qeyd edir ki, uğurlu ünsiyyət yalnız informasiyanın ötürülməsi deyil, həm də dinləyicilərlə emosional əlaqə qurmaq və onların diqqətini cəlb etmək bacarığıdır. Natiqlik bacarığına malik olan rəhbərlər fikirlərini strukturlaşmış şəkildə təqdim edir, auditoriyanın ehtiyaclarını nəzərə alır və qeyri verbal ünsiyyət bacarıqlarından da məharətlə istifadə edə bilirlər. Bütün bunlar təşkilatdaxili münasibətləri gücləndirir və təşkilatın məqsədlərinə çatmasına təkan verir (Carnegie, 2006).

Düşüncə insanın yaşadığı mühitə və varlığı boyu bu və digər formada qarşılaşdığı problemlərə yanaşmasıdır (Davudov,Qasımova,Salamova, 2025). Düşüncə bacarığı sayəsində insanlar məlumatı analiz edir, qiymətləndirir, əlaqələndirir və yeni ideyalar ərsəyə gətirir. Düşüncə bacarıqları xüsusilə də rəhbərlikdə strateji qərarvermə prosesinin əsasını təşkil edir. Düşüncə bacarıqları yüksək inkişaf etmiş rəhbərlər çətin situasiyalarda çevik qərarlar qəbul edir, riskləri düzgün qiymətləndirə bilir və uzun müdddətli strategiyalar formalaşdırmaq bacarığına malik olur. Düşüncə bacarıqlarından analitik və tənqidi düşüncə rəhbərlərə düzgün idarəetmə qərarları qəbul etməkdə kömək edir. Kreativ düşüncə bacarığına malik olan rəhbərlər mövcud problemləri standart yanaşmalarla deyil, yeni həll yolları axtararaq həll etməyə çalışırlar. Belə rəhbərlər yeniliklərə tez uyğunlaşır, innovativ ideyalar irəli sürür və komanda daxilində yaradıcı fikirlər formalaşdırmağı bacarır.

NƏTİCƏ

Müasir idarəetmə mühitində effektiv rəhbərlik yalnız formal səlahiyyətlər üzərində qurulmur, eyni zamanda güclü yumşaq bacarıqların inkişafını tələb edir. Yuxarıda sadalananlar göstərir ki, emosional zəka, natiqlik, düşüncə bacarıqları, stresə davamlılıq, vaxtın düzgün idarəedilməsi və kreativ yanaşma liderin fəaliyyətinin əsas dayaq sütunlarını təşkil edir. Bu bacarıqlar rəhbərlərə həm özünü düzgün idarə etməyə, həm də komanda üzvləri ilə sağlam və məhsuldar münasibət qurmağa şərait yaradır. Eyni zamanda bu bacarıqlara sahib olan rəhbərlərə işçilər etimad göstərir, hər bir qərarını hörmətlə qarşılayır və nəticədə təşkilatın uğur qazanmasına təkan verirlər. Nəticə etibari ilə, müasir rəhbərlik anlayışı "əmr vermək" modelindən daha çox "istiqamət vermək, ilhamlandırmaq və inkişaf etdirmək" modelinə uyğun gəlir. Bu səbəbdən yumşaq bacarıqların inkişafı təkcə fərdi üstünlük deyil, həmdə təşkilati uğurun və davamlı inkişafın əsas şərtlərindəndir.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı

1. B. Ataşov, İdarəetmə elmi və rəhbər əməyi, Bakı 2011
2. X.Bəşirli, X. Heydərov, Menecment, Dərs vəsaiti, Bakı 2024
3. A.Hüseyn, D.Davudov, R.Məhərrəmov, A.Qasımova, Çətin bacarıqlar, Dərslik, Bakı 2025
4. D.R.Davudov, A.İ. Qasımova, N.N. Salamova, Yumşaq bacarıqlar, Dərs vəsaiti, Bakı 2025
5. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Y.2023, C.28, S.2, s.283-304, SERT, YUMUŞAK VE İSTİHDAM EDİLEBİLİRLİK BECERİLERİNİN ÖNEMİ: TEORİK BİR İNCELEME,Muharrem Aksu
6. Goleman D. (2020).Emotional İntelligence:Why It Can Matter Than IQ (25th Anniversary ed.).London:Bloomsbury Publishing.
7. D. Carnegie, 2006, The Quick and Easy Way to Effective Speaking, Pocket Books

MÜASİR MÜƏSSİSƏLƏRDƏ ERP (MÜƏSSİSƏ RESURSLARININ İDARƏ EDİLMƏSİ) SİSTEMLƏRİ VƏ TƏŞKİLATİ MƏDƏNİYYƏTİN QARŞILIQLI ƏLAQƏSİ

Kamilova Xalidə
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə fakultəsi
Biznesin təşkili və idarə edilməsi/İnsan resurslarinin idarə edilməsi
xkamilova@std.beu.edu.az
Azərbaycan/Bakı

Xülasə: Bu məqalədə müəssisə resurslarının mahiyyəti, onların idarə olunması sistemi və ERP (Müəssisə Resurslarının Planlaşdırılması) sistemlərinin təşkilati mədəniyyətlə qarşılıqlı əlaqəsi tədqiq edilmişdir. Araşdırma göstərir ki, müəssisə resursları yalnız maddi və maliyyə elementləri ilə məhdudlaşmır, həm də insan və informasiya resurslarını əhatə edir. ERP sistemləri bu resursların vahid platformada inteqrasiyasını təmin edərək idarəetmənin səmərəliliyini artırır. Eyni zamanda təşkilati mədəniyyət ERP sistemlərinin uğurlu tətbiqinə birbaşa təsir göstərir və müəssisənin ümumi effektivliyinin yüksəldilməsində mühüm rol oynayır. **Açar sözlər:** *ERP sistemləri, təşkilati mədəniyyət, inteqrasiya, səmərəlilik, dəyişikliklərin idarə olunması.*

Abstract: This article examines the essence of enterprise resources, their management systems, and the interrelationship between ERP (Enterprise Resource Planning) systems and organizational culture. The study shows that enterprise resources include not only financial and material assets but also human and information resources. ERP systems integrate these resources into a unified platform, improving management efficiency. At the same time, organizational culture plays a key role in the successful implementation of ERP systems and significantly contributes to enhancing overall organizational performance. **Keywords:** *ERP systems, organizational culture, integration, efficiency, change management.*

Mövzunun aktuallığı XXI əsrdə müəssisələrin təsərrüfat fəaliyyətindən asılı olmayaraq resursların effektiv idarə olunması gündəlikdə duran əsas məsələlərdən birinə çevrilmişdir. Resurslar dedikdə çoxşaxəli dəyərləri gündəmə gətirmiş oluruq. Artıq heç kəsə sirr deyil ki, müəssisə resursları bir tək maddi və maliyyə resursları ilə məhdudlaşmır, insan kapitalı, o cümlədən müəssisə brendi, informasiya resursları, əmtəə nişanı və s kimi digər qeyri-maddi aktivlər də müasir dövrdə müəssisə resurslarının əsas komponentlərindən biridir. Bütün bu sadalananları bir araya cəmləşdirmək, onların effektiv şəkildə idarə olunması təmin etmək üçün, həmçinin müəssisə daxili təşkilati mədəniyyətin formalaşmasının vacibliyi, tədqiq etmək istədiyimiz mövzunun aktuallığını bir qədər də artırır.

Tədqiqatın əsas məqsədi Müasir dövrdə ERP (Müəssisə Resurslarının Planlaşdırılması) bir sistem kimi təsvirini yaratmaq və bu sistemin müəssisədaxili təşkilati mədəniyyətlə əlaqəsini tədqiq etməkdir.

İrəli sürülən hipotez Bizim fikrimizə görə müəssisənin malik olduğu resurslar qarşılıqlı əlaqəlilik baxımından bir sistem təşkil edir. Eyni zamanda biz hesab edirik ki, bu sistem müəssisə daxili təşkilati mədəniyyətlə əlaqəsi var.

Qarşıda duran vəzifələr:

1.ERP sistemlərini digər idarəetmə informasiya sistemlərindən fərqləndirən spesifik xüsusiyyətləri müəyyənləşdirmək

2. Müəssisələrdə ERP sistemlərinin tətbiqi prosesini və bu prosesə təsir edən təşkilati mədəniyyət amillərini araşdırmaq

3.ERP sistemlərinin tətbiqinin müəssisə resurslarının idarə olunmasına və ümumi fəaliyyət səmərəliliyinə təsirini təhlil etmək

Ədəbiyyat icmalı Hazırki tədqiq etdiyimiz mövzu ilə həm yerli,həm də xarici müəlliflər məşğul olmuşlar. Bir qədər konkretləşdirsək Əliyev.M və digər müəlliflərlə birlikdə hələ 2013-cü ildə nəşr etdirdikləri "Biznesdə insan resurslarının idarə edilməsi" adlı dərslikdə məsələyə elmi metodoloji cəhətdən yanaşmışlar və onlarin mövqeyi - təşkilatın bütün bölmələrini vahid informasiya sistemində birləşdirərək xüsusilə insan resurslarının idarə edilməsini daha effektiv və sistemli həyata keçirən strateji idarəetmə aləti kimi yanaşması olmuşdur. Digər müəlliflərdən Hüseynli, R. Araşdırdığımız mövzunun praktik əhəmiyyətini *"*ERP sistemlərinin müəssisələrdə tətbiqi və üstünlükləri.*"*məqaləsində vurğulamışdır. Burada müəllif ERP sistemlərinə müəssisə resurslarının inteqrasiyasını təmin edən və idarəetmənin effektivliyini artıran müasir informasiya texnologiyası aləti kimi yanaşır.

Metodologiya Mövzunun araşdırılmasında ümumnəzəri tədqiqat metodlarından istifadə edilmişdir. Xüsusi ilə empirik tədqiqat metodları, müqayisəli təhlil metodlarından istifadə edilmişdir.

Əsas tədqiqat işi.

1.Müəssisə resurslarının mahiyyəti. Müasir iqtisadi şəraitdə müəssisələrin rəqabət qabiliyyətinin yüksəldilməsi, bizim fikrimizcə, birbaşa resurslardan səmərəli istifadənin səviyyəsi ilə bağlıdır. Bu baxımdan resursların planlaşdırılması, optimal bölüşdürülməsi və nəzarət mexanizmlərinin düzgün təşkili xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Frederick Taylor və Peter Drucker-in idarəetmə nəzəriyyələri prizmasından yanaşdıqda, müəssisə resursları yalnız maddi-maliyyə və insan kapitalının məcmusu kimi deyil, həm də onların səmərəli təşkili, planlaşdırılması və nəzarəti vasitəsilə maksimum məhsuldarlığa yönəldilmiş strateji amillər sistemi kimi xarakterizə olunur. Bu baxımdan, resursların qeyri-effektiv istifadəsinə səbəb olan siyasətlər müəssisənin inkişafına maneə yaradan əsas faktorlar kimi qiymətləndirilir, əksinə, onların rasional idarə olunması isə rəqabət qabiliyyətinin təmin edilməsində həlledici rol oynayır. Müəssisələr müəyyən iqtisadi sərbəstliyə malik olsalar da, resursların qənaətli və məqsədyönlü idarə olunması yüksək nəticələrin əldə edilməsinin başlıca şərtlərindən hesab olunur. Müəssisə resurslarının düzgün formalaşdırılması və effektiv idarə olunması həm cari fəaliyyətin təmin edilməsində, həm də uzunmüddətli inkişafın reallaşdırılmasında həlledici əhəmiyyətə malikdir.

2.Müəssisə Resurslarının idarə olunması sistemi. Sürətlə inkişaf edən müasir dünyada müəssisələrin uğur qazanmasında düzgün planlaşdırma və effektiv idarəetmə mühüm rol oynayır. Xüsusilə müəssisə rəhbərlərinin strateji qərarları və idarəetmə bacarıqları təşkilatın ümumi fəaliyyətinə birbaşa təsir göstərir. Bu sistem öz növbəsində şirkətin əməliyyat proseslərini sadələşdirməyə, xərcləri minimuma endirməyə və fəaliyyətin səmərəliliyini artırmağa imkan yaradır. Müəssisə resurslarının idarə olunması sistemi müəssisədə mövcud olan maddi, maliyyə, insan və informasiya resurslarının vahid platformada inteqrasiyasını təmin edərək onların planlaşdırılması, təşkili və nəzarətini həyata keçirən kompleks idarəetmə mexanizmi kimi çıxış edir(Katuu, 2020; Klaus, Rosemann & Gable, 2000; Hüseynli, 2014). Erp sistemi bir proqram təminatı kimi əsas fəaliyyəti şirkətin bütün şöbələri və təsərrüfat proseslerini ortaq bir bazaya cəmləyərək inteqrasiya olunmuş sistem tərəfindən idarə edilməsidir.

3.Təşkilati mədəniyyət.

Təşkilati mədəniyyət anlayışının formalaşması XX əsrin 70–80-ci illərinə təsadüf edir. Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatların əsaslandırılmasında William Ouchi tərəfindən irəli sürülən Theory Z (Z nəzəriyyəsi) mühüm rol oynamışdır. Bu əsər təşkilatlarda idarəetmə üslubu, işçi münasibətləri və korporativ dəyərlərin formalaşması baxımından əhəmiyyətli nəzəri yanaşmalar təqdim edir.Təşkilatın mədəniyyəti çox zaman təşəbbüskar bir liderin yeni ideya və baxışları ilə formalaşmağa başlayır. Lider öz baxışlarını bölüşən və həmin ideyanın dəyərinə inanan şəxsləri ətrafına toplayaraq ilkin komandanı yaradır, komanda üzvləri isə müəyyən risklərə baxmayaraq resursların səmərəli istifadəsinin uğur gətirəcəyinə inanırlar. Daha sonra bu qrup təşkilatın fəaliyyətini genişləndirmək üçün zəruri maddi və qeyri-maddi resursları cəlb edir və yeni üzvlərin qoşulması ilə təşkilati dəyərlər və davranış normaları tədricən formalaşaraq sabit mədəniyyətə çevrilir. Təşkilati mədəniyyət formalaşdıqdan sonra onun qorunması və inkişaf etdirilməsi prosesində insan resurslarının rolu xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. İşçilərin seçilməsi, performansın qiymətləndirilməsi, karyera irəliləyişi, yeni əməkdaşların mədəniyyətə uyğunlaşdırılması, eləcə də mükafatlandırma və intizam mexanizmləri təşkilati dəyərlərə uyğun şəkildə həyata keçirilərək ümumi idarəetmə sisteminin effektivliyini artırır. Bununla yanaşı, davamlı inkişafın təmin olunması müəssisə resurslarının səmərəli və sistemli idarə olunmasını şərtləndirən əsas amillərdən biri kimi çıxış edir.

4.ERP (Müəssisə resurslarının planlaşdırılması) Sistemləri və Təşkilati Mədəniyyətin Qarşılıqlı Əlaqəsi. ERP (Müəssisə Resurslarının Planlaşdırılması) sistemləri ilə təşkilati mədəniyyət arasında qarşılıqlı əlaqə müasir idarəetmədə mühüm rol oynayır. Qeyd etmək lazımdır ki, ERP sistemlərinin uğurlu tətbiqi təkcə texnologiyadan deyil, həm də təşkilatın dəyərlər sistemi, iş davranışları və dəyişikliklərə münasibətindən asılıdır. Güclü təşkilati mədəniyyət ERP-nin qəbulunu və effektiv istifadəsini asanlaşdırır. Bizim fikrimizcə, əməkdaşlıq, şəffaflıq və çevik qərarvermə mədəniyyətinə malik təşkilatlarda ERP sistemləri daha yüksək səmərəliliklə tətbiq olunur. Dəyişikliklərə müqavimət göstərən strukturlarda bu proses ləngiyir və çətinləşir. Eyni zamanda ERP sistemləri təşkilati mədəniyyətə də təsir göstərir: informasiya axınını mərkəzləşdirir, şəffaflığı artırır və idarəetməni daha sistemli hala gətirir. ERP sistemlərinin effektiv tətbiqi və müəssisə resurslarının səmərəli idarə olunması təşkilati mədəniyyətin səviyyəsindən və dəyişikliklərə uyğunlaşma qabiliyyətindən birbaşa asılıdır (Əliyev & Həmidov, 2013; Abdullayev, 2015). Nəticədə təşkilatda daha məlumat əsaslı və nizamlı idarəetmə mədəniyyəti formalaşır.

Müəsssisə resurslarının planlaşdırılması sistemləri və təşkilati mədəniyyət bir-birini qarşılıqlı şəkildə gücləndirən iki əsas amildir və onların uyğunluğu müəssisənin ümumi effektivliyini müəyyən edir.

Nəticə Aparılan araşdırma göstərir ki, müasir müəssisələrin effektiv fəaliyyəti yalnız resursların mövcudluğu ilə deyil, onların düzgün idarə olunması və sistemli təşkili ilə bağlıdır. Müəssisə resursları maddi və maliyyə göstəriciləri ilə yanaşı, insan və informasiya resurslarını da əhatə edir və bu resursların vahid yanaşma əsasında idarə olunması strateji əhəmiyyət daşıyır. ERP (Müəssisə Resurslarının Planlaşdırılması) sistemləri bu baxımdan resursların inteqrasiyasını təmin edən əsas idarəetmə aləti kimi çıxış edir və müəssisənin əməliyyat səmərəliliyini artırır.Eyni zamanda, tədqiqat nəticələri təşkilati mədəniyyətin ERP sistemlərinin uğurlu tətbiqində həlledici rol oynadığını təsdiq edir. Çevik, əməkdaşlığa əsaslanan və dəyişikliklərə açıq təşkilati mühit ERP-nin effektiv istifadəsini asanlaşdırdığı halda, müqavimətli mədəniyyət bu prosesə mənfi təsir göstərə bilir. Digər tərəfdən, ERP sistemləri də təşkilati mədəniyyətə təsir edərək şəffaflığı artırır, idarəetməni sistemləşdirir və qərarvermə proseslərini təkmilləşdirir. Nəticə etibarilə, ERP sistemləri və təşkilati mədəniyyət bir-birini qarşılıqlı şəkildə tamamlayan və gücləndirən iki əsas amildir. Onların düzgün uyğunlaşdırılması müəssisə resurslarının daha səmərəli idarə olunmasına və ümumi təşkilati effektivliyin yüksəldilməsinə şərait yaradır.

Ədəbiyyat siyahısı:

1. **Bəyalı Ataşov, Nurpaşa Novruzov, Elşən İbrahimov.** *Müəssisələrin maliyyəsi. Ali məktəblər üçün dərslik.* Bakı: "Kooperasiya" nəşriyyatı, 2009, 336 səh.
2. **Əliyev M., Həmidov H.** Biznesdə insan resurslarının idarə edilməsi (dərslik). Bakı: "İqtisad Universiteti" Nəşriyyatı, 2013. - 532 s.
3. Katuu, S. (2020). *Enterprise Resource Planning: Past, Present, and Future*. **New Review of Information Networking, 25**(1), 37–46
4. **Hüseynli, R. (2014).** *ERP sistemlərinin müəssisələrdə tətbiqi və üstünlükləri*. Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, məqalə
5. **İnlab LLC (2026).** *ERP həlləri və rəqəmsallaşma: Azərbaycanda ERP inteqrasiyası*. Bakı, Azərbaycan.
6. **Klaus,H Rosemann, M. və Gable, G.G(2000)** *"What is ERP?"* – Information Systems Frontiers
7. **Beheshti et al. (2014) –** "Selection and critical success factors in successful ERP implementation", Competitiveness Review
8. **Abdullayev, O. N.(2015)** Müasir şəraitdə müəssisələrin maliyyə resurslarının artırılması istiqamətləri: dissertasiya işi / Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti. – Bakı, Azərbaycan.
9. **Frederick Winslow Taylor**. *The Principles of Scientific Management*. New York: Harper & Brothers, 1911.
10. **Peter Drucker.** *Management: Tasks, Responsibilities, Practices*. New York: Harper & Row, 1973.

KORPORATIV IDARƏETMƏDƏ SÜNİ İNTELLEKTİN SƏMƏRƏLİ TƏTBİQ EDİLMƏSİNİN NƏTİCƏLƏRİ

NƏRMİN VÜQAR QIZI İSAYEVA
Bakı Mühəndislik Universiteti
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
nisayeva@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Davamlı inkişafın təmin edilməsinin əsasında rəqəmsal iqtisadiyyatın danılmaz rolu vardır. Müasir dövrümüzdə süni intellekt təhsildə, tibbdə, maliyyə sistemində, rabitə texnologiyalarının tətbiqində, sosial inkişafda böyük təsir gücünə sahibdir. Mütəxəssislər uzun illərdir ki, insan beyninin və əməyinin müxtəlif xüsusiyyətlərini robotlaşma ilə əvəz etmək, bunun üçün də çağdaş texnika və texnologiyalardan səmərəli istifadə etmək üçün səy göstərirlər. Vaxta qənaət etmək, uzun müddətdə firmanın xərclərini azaltmaq, inkişafın dayanıqlılığını artırmaq məqsədilə korporativ idarəetmədə insan kapitalının bəzi funksiya və fəaliyyətlərini süni intellektlə inteqrasiyası və effektiv tətbiqi nəticəsində müəssisənin rəqabət

qabiliyyətliliyi artır. Həmçinin, süni intellekt dəstəkli idarəçilik firmanın dəqiqliyini, resursların optimal yerləşməsini, idarəçiliyin yeniliklə həyata keçməsini, daxili şəffaflığı da tam təmin edir.
Açar sözlər: Süni intellekt, insan kapitalı, davamlı inkişaf, rəqəmsallaşdırma, müəssisənin idarə edilməsi.
Abstract: The role of digital economy in the ensurance of sustainable development is undeniable. In the modern era, artificial intelligence has huge impact on education, medical sphere, financial system, application of communication technology and social improvement. Through many years specialists have been searching and working for the efficient utilization of contemporary technology to replace various faetures of human brain and labour with robotization. In favor of saving time, cutting expenses in the long run, enhancing efficiency, enterprises reaches higher competitiveness by integration and effective application of several functions of human capital with artificial intelligence. Furthermore, AI-supported management system provides better accuracy level of the firm, ensures optimal location of resources and internal transparency.
Key words: Artificial intelligence, human capital, sustainable development, digitalization, management of enterprise

Giriş

Cari vəziyyətdə süni intellektin iqtisadiyyatin müxtəlif sahələrinə sirayət etməsində natarazlıqlar olsa da, böyük müəssisələrdəki korporativ idarəetmədə, eləcə də inkişaf etmiş ölkələrin idarəciliyində geniş tətbiq edilir. Müəssisələrdə dayanıqlı inkişaf modelinin təmin edilməsi üçün insan kapitalının süni intellekt dəstəkli kapitala keçid etməsi daha səmərəli nəticələr verə bilər.[1] Korporativ idarəetmədə süni intellekt bir neçə formada tətbiq edilir. Dar formada süni intellekt insan kapitalını bir və ya bir neçə formada əvəzləyir, hansı ki, indiki zamanda biz idarəetmədə bunu tətbiq edirik. Süni intellektin geniş formada, əhatəli tətbiqi tam formalaşmasa da insan əməyinin icrasını böyük formada əvəz etməsi nəzərdə tutulur. Lakin belə universal suni intellektin reallığa uyğun olub- olmaması hələ də naməlum olaraq qalır. İstənilən süni intellekt forması uzun proses olmaqla bərabər, ilkin zamanda böyük həcmdə informasiyaların daxil edilməsi əsasında, insan əməyinin nəticəsi olaraq formalaşır.[4]

Rəqəmsallaşma şəraitində, insanlarda süni intellektə marağın artması onun fərqli formada kəşf edilib, tətbiq edilməsinə gətirib çıxardıb. Buna baxmayaraq, suni intellekt hələ də tam olaraq idarəetmədə müəkəmməl səviyyədə istifadə edilə bilmir. Lakin nəzərə alsaq ki, istehsal üçün zəruri olan faktorlardan- kapital və əmək süni intellektin diffuziyasına məruz qalmışdır, bu sahədə bir çox elmi araşdırmalar aparılır. Bu tədqiqat işində korporativ idarəetmədə mövcud zamanda mümkün olan süni intellekt formaları və onların effektiv tətbiqinin nəticələri izah edilmişdir.

Müəssisələrdə süni intellektin tətbiqinin formaları və nəticələri

Dördüncü Sənaye İnqilabının sürətli inkişafı nəticəsində insan kapitalının müəssisənin inkişafında, idarə edilməsində, istehsalın həyata keçirilməsində, müxtəlif qərarların qəbul edilməsindəki aparıcı rolu müəyyən qədər dəyişikliyə məruz qalmışdır.[3] Rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı dövründə bir çox insanlarda formalaşan fikrin əsasında süni intellektin insan əməyini əvəz etməsi dayanır. Əlbəttə, bu qismən mümkündür, lakin korporasiyalar səmərəli inkişaf üçün süni intellekt və insan kapitalını inteqrasiya etdikdə, yəni bir-birilə vəhdət içərisində tətbiq etdikdə inkişafı daha da sürətləndirir.[5] Məsələn, insan kapitalının birbaşa tətbiq edilməsi ilə müəssisə daxili oxşar məlumatların uyğun bölmələr üzrə klasterləşdirilməsi uzun zaman və əmək tələb etdiyi halda, süni intellektin müasir inkişafı nəticəsində bu proses bir neçə dəqiqəyə öz həllini tapır.

Bundan başqa, rəqəmsal iqtisadiyyata keçid dövründə, si ölkənin əmək bazarında ikili təsirə sahibdir. Belə ki, firmaların əməyə çəkilən istehsal xərcini azaltmaq məqsədilə təkrarlanan, dövri tapşırıqların avtomatlaşdırılmış si ilə əvəz edilməsi məqsədəuyğun hesab edilir. Bunun əksinə, əvəz edilməsi mümkün olmayan tapşırıqların icrası üçün si insan kapitalının fəaliyyətinə dəstək olmaqla müəssisənin faydalı iş əmsalını artırır.[2]

Korporativ idarəetmədə süni intellekt bir çox tapşırıqların icrasında, məsələn, heterogen informasiyaların müəssisə daxilində toplanması, öhdəliklərin qruplaşdırılması, aidiyyatı üzrə həll edilməsi , nəzarət edilməsi , onların test edilməsində tətbiq edilə bilər.[6] Bunlara misal olaraq: 1) Nümunələr əsasında yeni tapşırıqların yaradılması-*Generativ AI*, 2) Müəssisənin insan kapitalının hisslərini və dillərini bilərək ona uyğun cavablar verən və lazımı informasiyaları kateqoriyalara ayıran -*NLP AI*, 3) Riyazi məntiqə əsaslanaraq uyğun alqoritmlə işləyən -*Machine learning AI*, 4) Keçmiş məlumatlara, datalara əsaslanaraq gələcəklə bağlı proqnozlar verən - *Predictive AI*, 5) Müəssisələrdə zamandan qənaət etmək məqsədilə standart və tez-tez verilən sualların avtomatik cavablandırılması - *Köməkçi AI*.[6]

Müəssisələr özlərinin fəaliyyətlərinə və məqsədlərinə uyğun si formalarından birini və ya bir neçəsini tətbiq edə bilərlər. Nəhəng korporasiyalarda yeni ofis və ya yeni idarə binası axtarışı və müqayisə üçün qiymət şkalası qurmaq böyük vaxt tələb edir. Əldə edilən məlumatları qarşılaşdırmaq üçün müəssisələr süni intellektin "*Machine learning"* formasından istifadə edərək, sadə reqressiya modeli qurub, ortalama qiymət cədvəli təqdim edə bilər. Belə ki, bu modeldə verilənlərin alqoritması ilə riyazi funksiya qurmaqla proqnozlaşdırıcı nəticələr əldə edilir. [6]

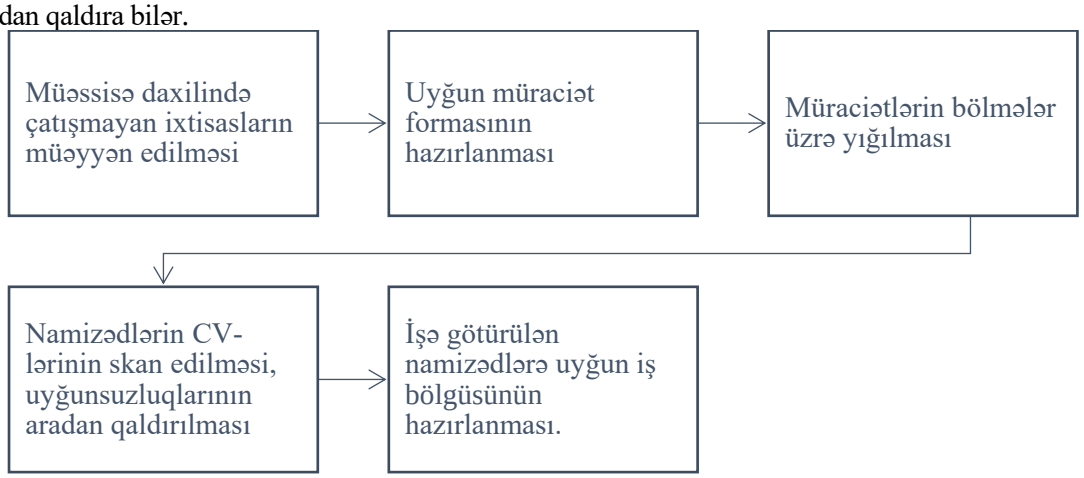
$$\boldsymbol{Y = \beta_0 + \beta_1 * X + u_i}$$

Məsələn, boya istehsal edən böyük firma özünə yeni zavod axtarışındadırsa, gözlənilən qiyməti hesablamaq üçün "*Machine learning" AI* vasitəsilə sadə reqressiya tənliyi insan kapitalı olmadan qısa zaman kəsimində nəticə verir.

$$\boldsymbol{Gözlənilən\ qiymət = \beta_0 * Zavodun\ ərazisi + \beta_1 * Təmir\ vəziyyəti + \beta_2 * Avadanlıqlar - Amortizasiya}$$

ML süni intellekt forması müxtəlif zavodların təkliflərinin optimal dəyərlərini hesablayıb, müəssisə rəhbərliyinə ən dəqiq formada nəticə təqdim edir. Əlbəttə, verilmiş nümunə sadə versiyadır, bu reqressiya modelinə firmalar daha mürəkkəb verilənlər daxil edib, qəliz hesablamaları süni intellekt vasitəsilə qısa zamanda müqayisə edə bilər.

Firmalar həmçinin *NLP AI*-dən istifadə edib, vaxta qənaət edərək müəssisə daxilindəki bacarıq boşluqlarını aradan qaldıra bilər.



Süni intellektin müasir dövrümüzdə korporativ idarəetmədə ən geniş tətbiq edildiyi sahələrdən biri də insan resurslarının idarə edilməsidir. Belə ki, xüsusən iri korporasiyalar yeni texnologiyalardan istifadə etməklə işə qəbul prosesinin daha şəffaf, dəqiq, qərəzsiz həyata keçirilməsini təmin edirlər. Verilmiş nümunədə insan resurslarının səmərəli işləməsi üçün süni intellektin dəstəyindən istifadə edilib. İlkin olaraq müəssisə özündə çatışmayan peşələri təyin etməli və bunun üçün süni intellekt vasitəsilə müvafiq tədbirlər görməlidir. Si texnologiyası yeni işçilərin qəbulu üçün uyğun ərizə forması hazırlayıb, edilən müraciətləri müəssisə daxili bölmələr üzrə paylayır. Vaxta qənaət etmək, insan resurslarının fəaliyyətinin səmərəliliyini artırmaq məqsədilə süni intellekt CV-ləri skan edərək, verilən tələblərə cavab verməyən müraciətləri aradan qaldırır. Münasib namizədlər müsahibə üçün İnsan resursları departamentinə göndərilir. Burada artıq insan kapitalı birbaşa tətbiq edilir. Daha sonra uyğun müraciətlər si texnologiyası tərəfindən bölmələr üzrə yönləndirilib, işə qəbul edilən işçilərə iş bölgüsü hazırlanır. Göründüyü kimi, insan kapitalı və süni intellektin inteqrasiyası, yəni qarşılıqlı əlaqəsi nəticəsində uzun vaxta həyata keçirilən işə qəbul prosesi daha qısa zamanda öz həllini taparaq, müəssisənin dayanıqlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Təbiidir ki, rəqəmsal iqtisadiyyata keçid müəyyən vaxt və resurs tələb edir. Qısa müddətdə firmalar süni intellektin idarəetmədə tətbiq edilməsinə böyük miqdarda vəsait xərcləyərkən, uzun müddətdə onun tətbiqi tapşırıqların qısa müddətdə həll edilməsi ilə nəticələnib, müəssisənin xərclərini azaldaraq, rəqabət qabilliyyətliliyini artırır. Bu da muasir dövrdə dayanıqlı investisiyanın korporativ idarəetmədə zərurətini və səmərəli nəticəsini göstərir.

Nəticə

İnkişaf etməkdə olan Dördüncü Sənaye İnqilabı dövründə süni intellekt iqtisadi və qeyri-iqtisadi sferada geniş tətbiq edilir. Əsasən böyük holdinqlər, firmalar insan kapitalının təkrarlanan, rutin halına gəlmiş bir çox funksiyasını süni intellektlə əvəz etməyə cəhd edirlər. Buna əsas səbəb idarəetmədə dayanıqlılığı

artırmaq və vaxta qənaət etməkdir. Lakin, aydındır ki, si müəssisənin insan kapitalını bütövlükdə əvəz edə bilmir, belə ki, idarəetmədə elə bölmələr var ki, insan əməyi birbaşa tətbiq edilir və hansısa mexanizm bu öhdəlikləri tam olaraq icra edə bilmir. Buna misal olaraq, strateji idarəetmə, kreativ rəhbərlik, krizislərin idarəsi üçün nəzərdə tutulan bölmələri qeyd edə bilərik. Bu da onu göstərir ki, Si insan kapitalı ilə vəhdət içərisində tətbiq edilməlidir, yalnız bu halda müəssisə maksimum məhsuldarlıq səviyyəsinə çata bilər.

Ədəbiyyat

1. Acemoğlu D. The Need for Multipolar Artificial Intelligence Governance //- New York: The New Global Economic order, -2026- s.108-119.
2. Xiaoxiao Ch. How is artificial intelligence shaping the labor demand of firms?—evidence from text-mining analysis of listed companies/ Ch. Xiaoxiao , J.Yang, B.Wo //Telecommunication policy-2025.№10.
3. "İnsan kapitalının inkişafı : nəzəri aspektləri və qiymətləndirmə metodologiyası" / i.e.d.Arzu Hüseynova, Aynurə İsmayılova, t.e.n. Vəfa Rzaayeva -Bakı "Çap art" nəşriyyat -2017-28s.
4. Leonid E.G. "Information Technology and Artificial intelligence: The Past, Present and Some forecast" E.G.Leonid, L.G.Anton, L.G.Igor // The evolution of Artificial intelligence: From Assistance to Super mind of Artificial General Intelligence?-2024- s. 156-183.
5. Mohammed I. " A study on AI replace human in future" I.A.Mohammed, Dr.V.Rajalakshmi, B.Reshma// The Indian journal of Technical education -India-2024 -s.350-360.
6. M.Hayes ,A.Downie . " AI and the future of human resources" : https://www.ibm.com/think/topics/ai-in-hr
7. Oswald Campesato . "Artificial intelligence machine learning and deep learning" / O.Campesato: Mercury learning and information- Dulles Virginia -2020-338 s.

RƏQƏMSAL TRANSFORMASİYA DÖVRÜNDƏ ƏMƏK MÜNASİBƏTLƏRİNİN MEDİA KONTEKSTİNDƏ ANALİZİ
ANALYSIS OF LABOR RELATIONS IN THE MEDIA CONTEXT IN THE ERA OF DIGITAL TRANSFORMATION

Nahidə Əmiraslanova
Nahıda Amıraslanova
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə fakültəsi
nahide.emiraslanova04@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Müasir iqtisadiyyat şəraitində əmək münasibətlərinə rəqəmsal transformasiyanın təsiri media konteksti ilə birlikdə araşdırılır. Məşğulluq strukturunda baş verən dəyişikliklər, uzaqdan və hibrid işin artması, həmçinin platforma iqtisadiyyatının inkişafı təhlil edilir. Media əmək bazarı haqqında məlumatın yayılması, ictimai rəyin formalaşdırılması və işə qəbul proseslərinə təsir edən əsas vasitə kimi xüsusi vurğulanır. 2025-ci il üzrə inkişaf etmiş ölkələr və Azərbaycan üçün məşğulluq, işsizlik və rəqəmsallaşma göstəricilərini əks etdirən statistik məlumatlar təqdim olunur. Müqayisəli analiz aparılaraq rəqəmsal inkişaf səviyyəsi və əmək bazarının strukturu arasındakı fərqlər göstərilir. Rəqəmsal transformasiyanın məşğulluğu azaltmadığı, əksinə onun xarakterini dəyişdirdiyi nəticəsinə gəlinir. Rəqəmsal bacarıqların və medianın müasir əmək münasibətlərinin formalaşmasında artan rolu və yeni iqtisadi şəraitə uyğunlaşmanın vacibliyi vurğulanır.

Açar sözlər: *rəqəmsal transformasiya, əmək münasibətləri, media, məşğulluq, əmək bazarı*

Abstract: The impact of digital transformation on labor relations in the modern economy is examined in conjunction with the media context. Changes in the employment structure, the increase in remote and hybrid work, as well as the development of the platform economy are analyzed. Media is emphasized as a key tool for disseminating information about the labor market, shaping public opinion, and influencing recruitment processes. Statistical data reflecting employment, unemployment, and digitalization indicators for developed countries and Azerbaijan for 2025 are presented. A comparative analysis is conducted to show the differences between the level of digital development and the structure of the labor market. It is concluded that digital transformation does not reduce employment, but rather changes its nature. The increasing role of digital skills and media in the formation of modern labor relations and the importance of adapting to new economic conditions are emphasized.
Keywords: *digital transformation, labor relations, media, employment, labor market*

GİRİŞ

Müasir dünyada rəqəmsal transformasiya sosial-iqtisadi sistemlərin inkişafını müəyyən edən əsas amillərdən biridir. Rəqəmsal iqtisadiyyat, hər şeydən əvvəl, iqtisadiyyatın subyektlərinin, yəni işçi qüvvəsinin (və ya insan resurslarının) müəssisələrin – infrastrukturun, biznes-partnyorların (təchizatçılar və satış kanallarının) habelə biznes proseslərin və informasiyaların rəqəmsal texnologiyaların vasitəsilə birləşməsi, yəni bir araya gəlməsi sayəsində meydana çıxan təsərrüfat fəaliyyətidir (Rzayev və Rza, 2025). İnformasiya texnologiyalarının, süni intellektin, böyük verilənlərin və rəqəmsal platformaların aktiv tətbiqi əmək bazarında əhəmiyyətli dəyişikliklər yaradır. Ənənəvi məşğulluq formaları transformasiya olunur, yeni peşə növləri və bacarıqlar meydana çıxır, işəgötürənlə işçi arasındakı qarşılıqlı əlaqə daha çevik və texnologiya yönümlü xarakter alır.

Bu proseslərdə media xüsusi rol oynayır. Media yalnız baş verən dəyişiklikləri əks etdirmir, həm də əmək münasibətlərinin yeni modellərinin formalaşmasında fəal iştirak edir. Rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində media informasiya yayımı, ictimai rəyin formalaşdırılması və məşğulluğun təşkili funksiyalarını yerinə yetirir. Platforma əsaslı media və rəqəmsal kommunikasiya vasitələri işəgötürənlə iş axtaran arasında vasitəçi rolunu oynayır, informasiya mübadiləsini sürətləndirir və vakansiyalara, peşəkar məzmuna çıxışı təmin edir.

MÖVZUNUN AKTUALLIĞI

Mövzunun aktuallığı müasir dövrdə müşahidə edilən bir sıra mühüm proseslərlə bağlıdır. Belə ki, rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı və avtomatlaşdırmanın genişlənməsi əmək bazarında peşə strukturunun yenilənməsinə səbəb olur. Uzaqdan və hibrid iş modellərinin geniş tətbiqi əmək münasibətlərinin ənənəvi çərçivələrini dəyişdirir, platforma iqtisadiyyatının inkişafı isə qeyri-standart məşğulluq formalarının yayılmasını sürətləndirir. Eyni zamanda media və rəqəmsal kommunikasiya vasitələrinin artan rolu əmək bazarı haqqında məlumatın yayılmasını daha operativ və əlçatan edir, bu isə həm iş axtaranların, həm də işəgötürənlərin davranışına təsir göstərir.

Hazırda bir çox ölkələrdə, o cümlədən Azərbaycanda rəqəmsal bacarıqların inkişafı, elektron məşğulluq sistemlərinin tətbiqi, onlayn iş platformalarının genişləndirilməsi və əmək bazarının rəqəmsallaşdırılması istiqamətində mühüm addımlar atılır. Dövlət və özəl sektor tərəfindən həyata keçirilən bu təşəbbüslər işçi qüvvəsinin yeni iqtisadi şəraitə uyğunlaşmasını təmin etməyə, məşğulluğun artırılmasına və əmək bazarında şəffaflığın gücləndirilməsinə xidmət edir.

Beləliklə, rəqəmsal transformasiya və media birlikdə əmək təşkilatına yeni yanaşmalar formalaşdırır, peşəkar kommunikasiya səmərəliliyini artırır və işçilərin sürətlə dəyişən əmək bazarı şəraitinə uyğunlaşmasını təmin edir. Bu proseslərin tədqiqi məşğulluğun transformasiya mexanizmlərini daha dərindən anlamağa və rəqəmsal vasitələrdən əmək sahəsində effektiv istifadə strategiyalarının hazırlanmasına imkan verir.

ƏDƏBİYYAT İCMALI

Azərbaycanda rəqəmsal transformasiya və əmək münasibətləri ilə bağlı aparılan tədqiqatlarda bu sahənin müxtəlif aspektləri öyrənilir. Məsələn, Zahid Məmmədov – iqtisad elmləri doktoru, professor və Azərbaycan Dövlət İqtisad Universitetində (UNEC) fəaliyyət göstərən alim kimi "Rəqəmsal iqtisadiyyat və onun inkişaf istiqamətləri" mövzusunda araşdırmalar aparmışdır və rəqəmsallaşmanın əmək bazarına təsirini təhlil etmişdir.

Samir Əliyev – iqtisadçı-ekspert, iqtisadi tədqiqatlar sahəsində fəaliyyət göstərən mütəxəssis kimi "Əmək bazarı və məşğulluğun müasir problemləri" istiqamətində çıxışlarında və yazılarında məşğulluq strukturunda baş verən dəyişiklikləri araşdırmışdır.

Bundan əlavə, AMEA İqtisadiyyat İnstitutu – Azərbaycanın aparıcı elmi-tədqiqat müəssisələrindən biri olaraq, rəqəmsal iqtisadiyyat, məşğulluq və əmək bazarı ilə bağlı müxtəlif elmi hesabatlar və tədqiqatlar hazırlayır.

Bu mənbələr göstərir ki, yerli tədqiqatlarda da rəqəmsal transformasiya əmək münasibətlərinin dəyişməsinə səbəb olan əsas amil kimi qiymətləndirilir və medianın bu prosesdəki rolu xüsusi vurğulanır.

TƏDQİQATIN MƏQSƏDİ

Müasir rəqəmsal transformasiya şəraitində əmək münasibətlərində baş verən dəyişiklikləri media mühiti kontekstində kompleks şəkildə araşdırmaq və bu dəyişikliklərin əmək bazarının formalaşmasına təsirini müəyyən etmək.

TƏDQİQATIN VƏZİFƏLƏRİ

- Rəqəmsallaşma proseslərinin əmək münasibətlərinin məzmununa və strukturuna təsir xüsusiyyətlərini təhlil etmək.
- Media və rəqəmsal kommunikasiya vasitələrinin əmək bazarında informasiya mübadiləsi və işə qəbul proseslərinə təsirini araşdırmaq.
- Müasir şəraitdə məşğulluq formalarında baş verən dəyişiklikləri, o cümlədən uzaqdan və platforma əsaslı iş modellərini qiymətləndirmək.

TƏDQİQATIN METODOLOGİYASI

Məqaləni yazarkən elmi idrakın ümumi məntiqi metodlarından, o cümlədən empirik tədqiqat metodlarından, statistik və müqayisəli təhlil metodlarından istifadə edilmişdir.

TƏDQİQATIN STRUKTURU:

I. RƏQƏMSALLAŞMA ŞƏRAİTİNDƏ ƏMƏK MÜNASİBƏTLƏRİNİN TRANSFORMASİYASI

Rəqəmsal transformasiya müasir dövrdə əmək bazarının strukturuna və əmək münasibətlərinin mahiyyətinə fundamental şəkildə təsir göstərir. Bu proses yalnız texnoloji yeniliklərin tətbiqi ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda idarəetmə modellərinin, işin təşkili prinsiplərinin və işçi ilə işəgötürən arasındakı qarşılıqlı əlaqənin tamamilə yenidən formalaşmasına gətirib çıxarır. Nəticədə əmək münasibətləri daha çevik, dinamik və rəqəmsal platformalara əsaslanan bir sistemə transformasiya olunur.Ənənəvi məşğulluq modeli uzun müddət sabit iş saatlarına, müəyyən edilmiş iş yerinə (ofis mühiti) və işçinin fiziki olaraq iş yerində olmasına əsaslanmışdır. Bu modeldə iş prosesinin idarə olunması əsasən birbaşa nəzarət və vaxt üzrə ölçülən fəaliyyət prinsiplərinə söykənirdi. Lakin rəqəmsal texnologiyaların inkişafı bu yanaşmanı tədricən zəiflədərək nəticəyönümlü və çevik iş modellərinin ön plana çıxmasına şərait yaratmışdır (Nurullayev və Babayev, 2021)**.**

Müasir mərhələdə əmək fəaliyyəti daha çox çeviklik prinsipi üzərində qurulur. Bu çeviklik daha çox həm iş vaxtının təşkilində, həm də işin icra olunduğu məkan baxımından özünü göstərir. İşçilər artıq yalnız ofis mühitinə bağlı deyillər və internet bağlantısı olan istənilən məkandan öz peşə fəaliyyətlərini yerinə yetirə bilirlər. Bu isə əmək məhsuldarlığının artırılması ilə yanaşı, iş və şəxsi həyat balansının daha effektiv qurulmasına imkan yaradır.

Rəqəmsal transformasiyanın ən mühüm nəticələrindən biri uzaqdan iş (remote work) modelinin geniş yayılmasıdır. Bu model işçilərə fiziki olaraq iş yerində olmadan tapşırıqları yerinə yetirmək imkanı verir və eyni zamanda işəgötürənlər üçün ofis xərclərinin optimallaşdırılmasına şərait yaradır. Uzaqdan iş xüsusilə informasiya texnologiyaları, dizayn, rəqəmsal marketinq və analitik sahələrdə daha geniş tətbiq olunur.

Bununla yanaşı, hibrid iş modeli də sürətlə inkişaf edir. Hibrid model işçilərin müəyyən günlərdə ofisdə, digər günlərdə isə uzaqdan işləməsini nəzərdə tutur. Bu yanaşma həm komanda daxilində birbaşa kommunikasiya imkanlarını saxlayır, həm də rəqəmsal çevikliyin üstünlüklərindən istifadə etməyə imkan verir.Digər mühüm istiqamət isə layihə əsaslı iş modelinin genişlənməsidir. Bu modeldə işçilər daimi əmək müqaviləsi əsasında deyil, konkret layihələrin icrası üzrə fəaliyyət göstərirlər. Rəqəmsal platformalar vasitəsilə sifarişlərin qəbul edilməsi və tapşırıqların yerinə yetirilməsi əmək bazarında daha çevik və qlobal rəqabətə açıq sistem formalaşdırır.

Eyni zamanda, rəqəmsal platformaların istifadəsi əmək münasibətlərində yeni mərhələ yaratmışdır. Onlayn platformalar vasitəsilə işə qəbul, tapşırıqların bölüşdürülməsi və nəticələrin qiymətləndirilməsi daha sürətli və şəffaf şəkildə həyata keçirilir. Bu proses əmək bazarının qloballaşmasını sürətləndirir və coğrafi məhdudiyyətləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.Dəyişikliklərin əsas istiqamətlərindən biri uzaqdan və hibrid

işin artmasıdır. Son illərin statistik müşahidələri göstərir ki, inkişaf etmiş ölkələrdə bu iş formalarının payı nəzərəçarpacaq səviyyəyə çatmış və bəzi hallarda iki rəqəmli göstəricilərlə ifadə edilir. Bu, uzaqdan işin dayanıqlı və qəbul edilmiş əmək fəaliyyəti modeli kimi möhkəmləndiyini göstərir, işçilərə peşəkar və şəxsi öhdəlikləri balanslaşdırmaq imkanı verir, işəgötürənlər isə ofis xərclərini və infrastrukturu optimallaşdıra bilirlər.

Rəqəmsallaşma həmçinin platforma əsaslı məşğulluğun inkişafına təkan verir, burada işçilər tapşırıqları rəqəmsal xidmətlər və onlayn platformalar vasitəsilə yerinə yetirirlər. Bu məşğulluq forması özünü məşğulluq, sahibkarlıq və müvəqqəti iş imkanlarını genişləndirir, lakin eyni zamanda sosial müdafiəni azaldır, çünki işçilər tez-tez standart təminatlar, məsələn, ödənişli məzuniyyət, tibbi sığorta və pensiya yığımları kimi hüquqlara malik deyillər.

İnkişaf etmiş ölkələr üzrə statistik göstəricilərə əsasən, məşğulluq səviyyəsi son illərdə 70%-dən yuxarı səviyyədə sabitlənmiş, işsizlik səviyyəsi isə təxminən 4–5% intervalında olmuşdur (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2024).

Bu göstəricilər göstərir ki, rəqəmsallaşma iş yerlərinin azalmasına səbəb olmur, əksinə onların strukturunu dəyişir və işçilərdən yeni bacarıqlar və kompetensiyalar tələb edir. Müasir mütəxəssislər rəqəmsal savadlılıq, virtual komandada işləmə və müxtəlif onlayn vasitələrdən səmərəli istifadə bacarıqlarına malik olmalıdırlar.Rəqəmsal transformasiya işçilər və işəgötürənlər üçün yeni imkanlar yaradır, çevik, texnoloji inteqrasiya olunmuş və adaptiv əmək münasibətləri modelini formalaşdırır və müasir iqtisadi reallıqlara uyğunlaşır.

II. MEDİA ƏMƏK MÜNASİBƏTLƏRİNİN FORMALAŞMASINDA BİR FAKTOR KİMİ

Rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində media əmək münasibətlərinin transformasiyasında əsas rol oynayır. Media yalnız informasiya funksiyasını yerinə yetirmir, həm də işəgötürənlə işçi arasındakı qarşılıqlı əlaqəni tənzimləyir, şəffaf, açıq və çevik əmək bazarının formalaşmasına töhfə verir.

Birincisi, media əmək bazarı, yeni peşələr, işəgötürənlərin tələbləri və aktual bacarıqlar haqqında məlumatın effektiv yayılmasını təmin edir. Bu sayədə işçilər və iş axtaranlar dəyişikliklərə daha tez uyğunlaşa, peşəkarlıq səviyyəsini yüksəldə və karyera ilə bağlı əsaslandırılmış qərarlar qəbul edə bilirlər. Müasir analitik platformalar, xəbər resursları və peşəkar portallar əmək haqqı, iş şəraiti və perspektiv sahələr haqqında məlumat təqdim edir ki, bu da peşə seçimini daha rasional və karyera planlamasını effektiv edir.

İkincisi, sosial şəbəkələr və rəqəmsal platformalar məşğulluq və peşəkar imkanların axtarışı üçün vasitə olur. LinkedIn, Indeed və Upwork kimi platformalar işəgötürənlər tərəfindən mütəxəssislərin seçimi, ilkin müsahibələrin keçirilməsi və korporativ imicin formalaşdırılması üçün aktiv istifadə olunur. Digər tərəfdən, iş axtaranlar bu platformalardan şəxsi brend yaratmaq, peşəkar bacarıqları nümayiş etdirmək və uyğun vakansiyalar tapmaq üçün istifadə edir. Bəzi ölkələrdə rəqəmsal platformalar ənənəvi kadr agentliklərini əvəz edir, məşğulluq prosesini daha açıq və şəffaf edir (Qasımov və Əliyeva, 2025).

Üçüncüsü, media əmək münasibətlərində şəffaflığın artırılmasına və nəzarətin gücləndirilməsinə kömək edir. Əmək qanunvericiliyinin pozulması haqqında məqalələr, işçilərin rəyləri və peşəkar icmalarda müzakirələr işəgötürənlərə təzyiqi artırır, korporativ etikanın və məşğulluq standartlarının qorunmasını stimullaşdırır. Eyni zamanda, bu işçilərin məsuliyyətini də artırır və qarşılıqlı nəzarət və əks əlaqə sistemini formalaşdırır.Media müasir əmək münasibətləri sisteminin ayrılmaz hissəsinə çevrilir, işəgötürənlərə və işçilərə təsir göstərir. Media yeni kommunikasiya mexanizmlərini formalaşdırır, əmək bazarının adaptivliyini artırır və peşəkar mühitdə rəqəmsal mədəniyyətin inkişafına töhfə verir.

III. MÜQAYİSƏLİ ANALİZ: İNKİŞAF ETMİŞ ÖLKƏLƏR VƏ AZƏRBAYCAN

Rəqəmsal transformasiya bütün dünyada əmək bazarının və məşğulluq münasibətlərinin strukturunu köklü şəkildə dəyişdirir. Bu proses iş yerlərinin mahiyyətini, işin təşkil olunma formasını və əməkdaşlıq üsullarını yenidən formalaşdırır. Lakin bu dəyişikliklər ölkələr arasında eyni sürət və dərinlikdə baş vermir, çünki bu, iqtisadi inkişaf səviyyəsindən, rəqəmsal infrastrukturdan, təhsil sistemindən və dövlət siyasətindən asılıdır (Перфильев и Балашова, 2026). Buna görə də inkişaf etmiş ölkələr və Azərbaycan arasında müəyyən fərqlər mövcuddur.

İnkişaf etmiş ölkələrdən, məsələn, ABŞ,Avropanın aparıcı ölkələrindən Almaniya və əhalisi bizim ölkəmizə təqribən uyğun gələn İsveçi tədqiq etməyimiz faydalı ola bilər. Bu ölkələrdə məşğulluq səviyyəsi təxminən 70%-dən çoxdur , bu da əmək bazarının sabit olduğunu göstərir. İşsizlik səviyyəsi bu ölkələrdə stabil olaraq qalır və 5%-i keçmir. Bu da rəqəmsal transformasiyanın iş yerlərinə mənfi təsir etmədiyini, əksinə yeni imkanlar yaratdığını göstərir.

Bu ölkələrdə uzaqdan iş geniş yayılmışdır və işçilərə həm peşəkar, həm də şəxsi həyat arasında balans yaratmağa imkan verir. Əhalinin rəqəmsal bacarıqları yüksək səviyyədədir, bu isə yeni texnologiyaların sürətlə mənimsənilməsini asanlaşdırır. İnformasiya Texnologiyaları (IT) sektoru və media işə qəbul prosesində mühüm rol oynayır və peşəkar şəbəkələşməni gücləndirir. Çevik məşğulluq formaları, yəni freelance, layihə əsaslı iş və gig economy geniş yayılmışdır və əmək bazarına əlavə elastiklik verir.

Azərbaycanda isə rəqəmsal transformasiya hələ aktiv inkişaf mərhələsindədir. 2025-ci il göstəricilərinə əsasən, məşğulluq səviyyəsi təxminən 60–62% təşkil edir. Bu göstərici demək olar ki, son illər dəyişməz olaraq qalır. Bu da əmək bazarının müəyyən sabitliyini göstərir. İşsizlik səviyyəsi 5–6% arasında dəyişir və bu göstəricinin rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı ilə tədricən azalacağı gözlənilir. Ölkədə iqtisadi artım illik 3–4% səviyyəsindədir və bu artım struktur dəyişikliklər və rəqəmsal layihələrlə əlaqəlidir (Hajiyev və b., 2025).

Azərbaycanda rəqəmsal bacarıqlar orta səviyyədədir və bu sahənin inkişafına ehtiyac vardır (Hüseynov və b., 2025). Çevik məşğulluq hələ məhdud şəkildə tətbiq olunur, lakin IT və xidmət sektorunun inkişafı bu istiqamətin genişlənməsinə şərait yaradır. Media hələ əsas işə qəbul vasitəsi kimi tam formalaşmasa da, getdikcə daha çox istifadə olunur (Abdullayev və Alakbarov, 2025)**.** IT sektoru inkişaf mərhələsindədir və yeni startaplar, proqramlaşdırma və rəqəmsal xidmətlər sahəsində yeni iş yerləri yaradır.

Ölkəmizdə rəqəmsal dəyişiklikləri inkişaf etmiş ölkələrlə müqayisədə hansı səviyyədə olduğunu aşağıdakı cədvəldən izləyə bilərik :

Cədvəl I. İnkişaf etmiş ölkələr və Azərbaycan arasında rəqəmsal transformasiyanın əmək bazarına təsiri üzrə müqayisə

Göstərici	**İnkişaf etmiş ölkələr**	**Azərbaycan**
Məşğulluq səviyyəsi	~72%	~60–62%
İşsizlik	~4,9%	~5–6%
Uzaqdan işin payı	10–20%	<10%
Rəqəmsal iqtisadiyyatın payı	yüksək (50%+)	inkişaf etməkdədir
Rəqəmsal bacarıqların səviyyəsi	yüksək	orta
Çevik məşğulluq	geniş yayılıb	məhdud
Medianın rolu	əsas	artan
IT sektoru	inkişaf etmiş	inkişaf etməkdədir

Qeyd : Cədvəl müəllif tərəfindən müxtəlif mənbələrdən toplanmış məlumatlar əsasında tərtib edilmişdir.

Ümumilikdə, bu müqayisə göstərir ki, inkişaf etmiş ölkələrdə rəqəmsal transformasiya əmək bazarına daha sürətli və dərin təsir göstərir, Azərbaycanda isə bu proses daha mərhələli şəkildə inkişaf edir. Elektron hökumət layihələri, rəqəmsal xidmətlərin genişlənməsi və IT sektorunun böyüməsi əmək bazarına müsbət təsir edir. Rəqəmsal bacarıqların artırılması və çevik məşğulluğun inkişafı gələcəkdə Azərbaycanın əmək bazarını daha rəqabətqabiliyyətli edəcək.

Gələcəkdə əsas prioritetlər rəqəmsal bacarıqların artırılması, medianın məşğulluq sahəsində daha geniş istifadəsi, çevik məşğulluğun təşviqi və rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişaf etdirilməsi olmalıdır. Bu, həm işçilər üçün yeni imkanlar yaradacaq, həm də işəgötürənlər üçün daha çevik və effektiv işçi qüvvəsi təmin edəcək.

IV. NƏTİCƏ

Rəqəmsal transformasiya müasir əmək bazarının strukturunu köklü şəkildə dəyişdirən əsas proseslərdən biridir. Bu proses nəticəsində ənənəvi məşğulluq formaları çevik, rəqəmsal və platforma əsaslı modellərlə əvəz olunur.

Media bu dəyişikliklərdə mühüm rol oynayır və əmək münasibətlərinin formalaşmasında informasiya və tənzimləyici vasitə kimi çıxış edir.

Müqayisəli analiz göstərir ki, inkişaf etmiş ölkələr rəqəmsal iqtisadiyyatın tətbiqi baxımından daha irəlidədir, Azərbaycan isə bu istiqamətdə stabil inkişaf mərhələsindədir.

Ümumilikdə, rəqəmsal transformasiya məşğulluğun azalmasına deyil, onun struktur dəyişməsinə səbəb olur və əmək bazarında yeni imkanlar yaradır.

İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT

1. Abdullayev, A., Alakbarov, A. (2025). Human capital and digital skills as drivers of firm-level competitiveness in Azerbaijan's transition economy. *Luminis Applied Science and Engineering, 3*, 1–12.
2. Hajiyev, N., Ismayilov, V., Fataliyeva, G., Mahmudova, L., Asadova, S. (2025). The impact of digital transformation on the sustainable development of the Azerbaijani economy. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering, 11*(2), 162–169.
3. Hüseynov, Ə., Hamidova, L., Samedova, E. (2025). Challenges and opportunities of digital economy development: Case of Azerbaijan. *Problems and Perspectives in Management, 23*(2), 265–276.
4. Nurullayev, J., Babayev, H. (2021). Impact of digital transformation on the labor market: A review. *Journal of Global Economics, Management and Business Research, 13*(4), 92–96.
5. Qasımov, R., Əliyeva, T. (2025). Digitalization in human resource management in Azerbaijan. *Journal of Economics and Management Advances*, 45–52.
6. Перфильев, И. В., Балашова, Е. С. (2026). Особенности цифровой трансформации российской экономики. *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 28*(1), 224–236.
7. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2024). *OECD Employment Outlook 2024*. Paris: OECD Publishing.
8. Məmmədov, Z. (2019, 9 oktyabr). *Azərbaycanda rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı istiqamətində uğurlu islahatlar həyata keçirilir*. Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti (UNEC).
9. Əliyev, S. (n.d.). *Əmək bazarı və məşğulluğun müasir problemləri üzrə analitik çıxışlar və məqalələr*.
10. AMEA İqtisadiyyat İnstitutu. (2021). *Rəqəmsallaşma və əmək bazarı* (AMEA-nın Xəbərləri, İqtisadiyyat seriyası).
11. Rzayev, İ., & Rza, A. (2025). *Rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində biznesin təhlükəsizliyi: mahiyyəti, ehtimal olunan təhdidlər və dövlətin zəruri tədbirləri*. *International Scientific Conference of Young Researchers Dedicated to the Anniversary of the National Leader of Azerbaijan, Heydar Aliyev*, Bakı Mühəndislik Universiteti.

SYMBIOTIC LEADERSHIP: BRIDGING THE GAP BETWEEN TECHNICAL FOUNDERS AND CREATIVE TEAMS

Roya Abzarova
Baku Engineering University
Faculty of Economics and Management, Department of Business Administration
rabzerova@std.beu.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract: *In the contemporary startup ecosystem, the inherent tension between technical functionality and creative design frequently results in organizational friction and diminished operational efficiency. This paper introduces the framework of "Symbiotic Leadership" as a critical mechanism to harmonize the divergent objectives of Technical Founders and Creative Teams. By identifying the root causes of cognitive dissonance and communication breakdowns, the study explores how leadership that integrates logic-driven engineering with empathy-driven design improves both product-market fit and project velocity. Utilizing a synthesis of industry data and leadership time-allocation models, the research demonstrates that leaders who act as "interdisciplinary translators" significantly reduce technical debt and increase organizational cohesion. The findings suggest that fostering a shared vocabulary and integrated KPIs is essential for building agile, scalable, and user-centric technology ventures.Keywords: Symbiotic Leadership, Technical Founders, Creative Integration, Cognitive Dissonance, Startup Management, Cross-functional Teams, Product-Market Fit, Interdisciplinary Communication.*

1. Introduction

The digital economy has undergone a paradigm shift, moving from purely functional software to experience-centric products. In this high-stakes environment, a startup's success is no longer dictated solely by back-end robustness but by the seamless integration of engineering excellence and intuitive design. However, a deep-seated cultural divide frequently persists between the "builders" and the "shapers." Research indicates that a failure to translate strategic business goals into technical execution often leads to

the accumulation of technical debt and a significant loss of overall business value (Sharma, 2024). **Symbiotic Leadership** emerges as a necessary evolution in management, acting not merely as a bridge, but as a strategic framework to unify these two distinct cultures into a single, high-velocity unit.

2. Description of the Problem: Cognitive Dissonance and Communication Gaps

The core problem is identified as "Cognitive Dissonance" in project management. Approximately 30% of designers report significant communication barriers when collaborating with engineers in interdisciplinary environments (Stoehr et al., 2024). Technical teams prioritize scalability, stability, and security, often viewing creative requests as "unnecessary polish." Conversely, creative teams focus on the user's emotional journey, perceiving technical constraints as barriers to innovation.

This gap manifests in several critical ways:

- **Information Breakdown:** Designers struggle to represent technical implications, leading to "lost in translation" moments (Leiva et al., 2019).
- **Lack of Shared Vocabulary:** Technical difficulties are often poorly communicated to business leaders, resulting in inefficient decision-making (Duc et al., 2017).
- **Operational Friction:** Misalignment results in a **20-30% loss in operational efficiency** during the prototyping phase.

3. Methodology and the Symbiotic Model

This study adopts a quantitative approach, analyzing leadership time-allocation data from global technology management reports (e.g., Deloitte, McKinsey). Symbiotic leadership requires the integration of both technical and creative Key Performance Indicators to align departmental goals (Sharma, 2026; Vartiak & Garbarova, 2024)

Table 1: Time Distribution of Symbiotic Leaders

Focus Area	Allocation	Primary Objective
Technical Coordination	35%	Ensuring system stability & feasibility
Creative Vision Alignment	30%	Maintaining brand integrity & UX flow
Conflict Mediation	25%	Bridging the communication gap & building trust
Strategic Future Planning	10%	Long-term roadmap development

The data indicates that the most effective leaders spend over **60%** of their time acting as "translators" between the code and the canvas. At its core, this leadership style relies on fostering mutual trust and professional respect between disparate disciplines (Stoehr et al., 2024).

4. Strategies for Implementing Symbiotic Leadership

To successfully implement this model, organizations should focus on three strategic pillars:

1. **Integrated KPIs:** Moving beyond isolated metrics. Success should be measured by how technical performance enhances the user experience, and how creative design supports technical scalability (Sharma, 2026).
2. **Cross-functional Training:** Engineers should understand basic design principles, and designers should be aware of technical constraints. This reduces "information breakdown" and improves the quality of handovers (Leiva et al., 2019).
3. **Rapid Iterative Prototyping:** Utilizing frequent, small-scale prototyping cycles helps identify communication gaps and technical hurdles early in the development process (Duc et al., 2017).

5. Conclusion

The transition from a siloed operational model to a symbiotic one is no longer a luxury but a fundamental requirement for survival in the hyper-competitive tech landscape. As demonstrated, the divide between technical and creative teams is often rooted in cognitive dissonance rather than a lack of shared goals. Symbiotic Leadership addresses this by institutionalizing empathy, shared vocabulary, and integrated performance metrics. For the regional startup ecosystem, particularly for institutions such as **Baku Engineering University**, this research suggests that the curriculum should move beyond isolated technical training. Integrating "Leadership in Tech" modules that emphasize cross-disciplinary translation will

prepare the next generation of founders to build more resilient and agile organizations. Ultimately, the symbiosis of technical robustness and creative intuition does more than just improve product quality; it creates a sustainable organizational culture that can pivot and thrive amidst market volatility. Future research should focus on the long-term impact of symbiotic leadership on employee retention rates within Series A and B startups.

References

Deloitte Insights. (2024). *Global Human Capital Trends*. https://www2.deloitte.com/insights/trends
Forbes Agency Council. (2023). Why the partnership between tech and creative is critical. *Forbes*. https://www.forbes.com
Harvard Business Review. (2022). *Managing creative people: A guide for leadership*. HBR Press.
Interaction Design Foundation. (2023). *Leadership in design and tech: Navigating interdisciplinary teams*. https://www.interaction-design.org
Leiva, G., Maudet, N., Mackay, W. E., & Beaudouin-Lafon, M. (2019). Enact: Communicating and representing interaction design. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 26(6), 1–32.
Nguyen Duc, A., Wang, X., & Abrahamsson, P. (2017). What influences the speed of prototyping? An empirical investigation of twenty software startups. *Empirical Software Engineering*, 22(6), 3125–3156.
Sharma, S. (2026). Business-technical translation in fintech projects: Bridging KPIs with engineering execution. *Journal of Financial Technology*, 14(2), 45–60.
Stoehr, B., Koldewey, C., & Dumitrescu, R. (2024). Drivers and barriers for design and designers in interdisciplinary product development. *International Journal of Product Development*, 28(1), 112–130.
Thomas, R. J., & Wind, Y. (2013). Symbiotic innovation: Getting the most out of collaboration. *MIT Sloan Management Review*, 55(1), 1–10.
Vartiak, L., & Garbarova, M. (2024). Key performance indicators for the creative industry. *Creative Industries Journal*, 17(3), 200–215.

GLOBAL LOGİSTİKA SİSTEMİNİN TRANSFORMASİYASI VƏ BEYNƏLXALQ TİCARƏTDƏ STRATEJİ ROLU

SƏİDƏ SALAYEVA
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və İdarəetmə fakültəsi
Beynəlxalq ticarət və logistika
ssalayeva1@std.beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan.

Xülasə: Məqalədə qlobal logistika sisteminin müasir beynəlxalq iqtisadiyyatda rolu, onun struktur transformasiyası və strateji əhəmiyyəti təhlil olunur. Tədqiqatın aktuallığı logistikanın artıq yalnız nəqliyyat funksiyası daşımaması, əksinə qlobal dəyər zəncirlərinin əsas dayaqlarından birinə çevrilməsi ilə bağlıdır. Məqalədə dünya iqtisadiyyatında sektorlar üzrə dəyişikliklər, dəniz ticarətinin rolu, konteynerləşmə prosesi, aparıcı limanların fəaliyyəti və rəqəmsallaşmanın logistika sahəsinə təsiri araşdırılır. Eyni zamanda Azərbaycanın Orta Dəhlizdə artan rolu və Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanının göstəriciləri təhlil edilir. Nəticə olaraq müəyyən edilir ki, logistika sisteminin effektivliyi ölkələrin rəqabət qabiliyyətinə birbaşa təsir göstərir.
Açar sözlər: Beynəlxalq logistika, qlobal ticarət, dəniz nəqliyyatı, konteynerləşmə, logistika mərkəzləri, rəqəmsallaşma, Orta Dəhliz.

TRANSFORMATİON OF THE GLOBAL LOGİSTCS SYSTEM AND İTS STRATEGİC ROLE İN İNTERNATİONAL TRADE

Abstract: This article analyzes the role of the global logistics system in the modern international economy, its structural transformation, and strategic importance. The relevance of the study is related to the fact that logistics is no longer limited to transportation functions but has become one of the main pillars of global value chains. The article examines changes in the sectoral structure of the global economy, the role of maritime trade, the process of containerization, the activities of leading ports, and the impact of digitalization on the logistics sector. At the same time, the growing role of Azerbaijan in the Middle Corridor and the performance indicators of the Baku International Sea Trade Port are analyzed. The study concludes that the efficiency of the logistics system directly affects the competitiveness of countries.

Keywords: International logistics, global trade, maritime transport, containerization, logistics hubs, digitalization, Middle Corridor

Giriş

Müasir dövrdə qlobal iqtisadiyyatın dinamik inkişafı logistikanın rolunu kəskin şəkildə artırmışdır. Əvvəllər əsasən yükdaşımaya xidmət edən logistika bu gün qlobal iqtisadi sistemin ayrılmaz elementi kimi çıxış edir. Xüsusilə qloballaşma və elektron ticarət logistikanı strateji sahəyə çevirmişdir.

Mövzunun aktuallığı. Mövzunun aktuallığı ondan ibarətdir ki, qlobal istehsal modeli artıq bir çox ölkələr arasında bölüşdürülmüş istehsal və təchizat zəncirlərinə əsaslanır. Dünya ticarətinin 80%-dən çoxu dəniz nəqliyyatı vasitəsilə həyata keçirilir [UNCTAT, 2025].

Əlavə olaraq, elektron ticarətin sürətli inkişafı logistikanın əhəmiyyətini daha da artırmışdır. Qlobal e-ticarət bazarının həcmi 2026-cı il üçün 8.1 trilyon ABŞ dollarına çatması planlaşdırılır. Səbəbi isə hər bir onlayn sifarişin effektiv logistika şəbəkəsinə əsaslanmasıdır (U-SPEED LIGISTCS NEWS). Bu sistemdə logistika qlobal dəyər zəncirlərinin fasiləsiz işləməsini təmin edən əsas infrastrukturdur.

Problemin qoyuluşu isə logistika sistemində baş verən struktur dəyişikliklərin və rəqəmsallaşmanın ölkələrin rəqabət qabiliyyətinə necə təsir etməsi ilə bağlıdır. Bu baxımdan, logistikanın yalnız texniki deyil, həm də iqtisad və strateji aspektlərinin araşdırılması vacibdir.

Tədqiqat metodologiyası

Tədqiqat işində statistik və müqayisəli analiz metodlarından istifadə edilmişdir. Araşdırma zamanı beynəlxalq təşkilatların hesabatları, liman statistikaları və logistika sektoruna dair sənaye məlumatları istifadə olunmuşdur.

Xüsusilə UNCTAD, Dünya Bankı və aparıcı limanların rəsmi hesabatları əsas informasiya mənbələri kimi istifadə edilmişdir. Statistik məlumatların müqayisəli təhlili vasitəsilə qlobal logistika sisteminin inkişaf tendensiyaları müəyyən edilmişdir.

Qlobal logistika sisteminin strukturu

Dünya iqtisadiyyatında xidmət sektorunun payı son onilliklərdə əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır. 2024–cü ildə qlobal ÜDM strukturunda xidmət sektorunun payı təxminən 66.2%, sənaye sektorunun payı 25.97%, kənd təsərrüfatının payı isə 4.02% təşkil etmişdir. Bu kontekstdə logistika xidmət sektorunun ən vacib və dinamik inkişaf edən sahələrindən biri hesab olunur (STATİSTA: Share of economic sectors in GDP, 2024). Dəniz nəqliyyatı qlobal logistika sisteminin əsas komponentidir. 2023-cü ildə dünya dəniz ticarətinin həcmi 12.3 milyard ton olmuşdur (UNCTAT, 2024). 2024-cü ildə bu göstərici 12.63 milyard tona (HÜRRİYET, Daily news, 2024), 2025-ci ildə isə 12.9 milyard tona çatmışdır (Safety4sea, 2025). 2024-cü ildə qlobal konteyner dövriyyəsi 928 milyon TEU səviyyəsinə çatmış və bu göstərici əvvəlki illə müqayisədə 7.2% artım göstərmişdir (Hansa news global, 2025). Bu artım qlobal ticarət axınlarının bərpa olunduğunu və logistika sektorunun genişlənməyə davam etdiyini göstərir.

Qlobal logistika mərkəzləri

Dünya logistika sistemində böyük limanlar əsas paylayıcı mərkəzlər kimi fəaliyyət göstərir. Konteyner dövriyyəsinə görə dünyanın ən böyük limanları arasında Şanxay, Sinqapur, Ninbo-Zhoushan və Rotterdam limanları xüsusi yer tutur. Şanxay limanı illik 55.06 milyon TEU konteyner dövriyyəsi ilə dünyanın ən böyük limanı hesab olunur (Shanghai International Port Group, 2026). Sinqapur limanı 44.7 milyon TEU göstəricisi ilə qlobal transşipment mərkəzi kimi fəaliyyət göstərir (THE BUSINESS TIMES, 2025). Rotterdam limanı isə Avropanın ən böyük logistika qovşağıdır və illik 14.2 milyon TEU konteyner dövriyyəsinə malikdir (Port of Rotterdam news, 2025). Bu limanlar qlobal təchizat

zəncirlərinin əsas logistika qovşaqları hesab olunur və dünya ticarətinin böyük hissəsinin paylanmasını təmin edir.

Rəqəmsallaşma və logistika

Müasir logistika sistemində rəqəmsallaşma əsas inkişaf istiqamətlərindən biridir. Elektron gömrük sistemləri və "vahid pəncərə" platformaları sənədləşməni sadələşdirir və tranzit müddətini azaldır. Qlobal rəqəmsal logistika bazarı 2025-ci ildə 37.64 milyard dollar səviyyəsində qiymətləndirilmiş, 2026-cı ildə isə 43.8 milyard dollara çatacağı proqnozlaşdırılır. Süni intellekt əsaslı marşrut optimallaşdırılması yanacaq sərfiyyatını və karbon emissiyalarını 15–20% azaldır (FORTUNE BUSINESS INSIGHTS, 2026). Bundan əlavə, blokçeyn texnologiyası (GSBN-Global Shipping Business Network platforması) təchizat zəncirində şəffaflığı və etibarlılığı təmin edir (Global Shipping Business Network, 2025). Aparıcı limanlarda bu texnologiyalar artıq tətbiq olunur: Sinqapurda avtomatlaşdırılmış terminallar (Tuas Port) və Just-in-Time sistemləri (INTERNATIONAL TRADE ADMINISTRATION, 2025), Rotterdamda rəqəmsal idarəetmə platformaları, Şanxayda isə süni intellekt əsaslı "ağıllı liman" modelləri istifadə edilir (HUAWEI, 2023). Nəticə etibarilə, rəqəmsallaşma logistika əməliyyatlarının sürətini, şəffaflığını və ümumi səmərəliliyini artıran əsas amillərdən biridir.

Azərbaycanın logistika sistemində rolu

Azərbaycan Avropa ilə Asiya arasında yerləşən strateji coğrafi mövqeyə malikdir. Bu mövqe ölkəni beynəlxalq tranzit marşrutlarının mühüm iştirakçısına çevirir. Xüsusilə Orta Dəhliz (Trans-Xəzər beynəlxalq nəqliyyat marşrutu) Azərbaycan üçün böyük logistika potensialı yaradır. Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı bu sistemin əsas infrastrukturlarından biridir. 2025-ci ildə limanın konteyner dövriyyəsi 105,000 TEU təşkil etmişdir (Maritime Logistics News, 2025) və ümumi yükaşırma həcmi 7.6 milyon tona çatmışdır (KORABEL, 2024). Eyni ildə Azərbaycanın nəqliyyat dəhlizləri vasitəsilə ümumilikdə 32.6 milyon ton yük daşınmışdır ki, bunun 16.9 milyon tonu Şərq-Qərb istiqamətinə aid olmuşdur (Trend Az, 2026).

Nəticə

Aparılan təhlil göstərir ki, logistika qlobal iqtisadiyyatın ən vacib xidmət sektorlarından biridir. Dəniz ticarətinin genişlənməsi, konteyner daşımalarının artması və logistika mərkəzlərinin inkişafı beynəlxalq iqtisadi inteqrasiyanın əsas hərəkətverici qüvvələrindən biridir. Rəqəmsallaşma və avtomatlaşdırma logistika sektorunun səmərəliliyini artırır və təchizat zəncirlərinin daha davamlı olmasına imkan yaradır. Azərbaycan isə Orta Dəhliz və Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı vasitəsilə qlobal logistika sistemində öz mövqeyini gücləndirməyə davam edir.

İstinadlar

[1] UNCTAD, Shipping data: UNCTAD releases new seaborne trade statistics: https://unctad.org/news/shipping-data-unctad-releases-new-seaborne-trade-statistics
[2] U-Speed Logistics News: https://www.u-speedex.com/en/news/info?id=1209
[3] Statista: Share of economic sectors in GDP: https://www.statista.com/statistics/256563/share-of-economic-sectors-in-the-global-gross-domestic-product/
[4] UNCTAD – Review of Maritime Transport 2024: https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2024
[5] Hürriyet Daily News – Global maritime fleet reaches $1.37 trillion value in 2024: https://www.hurriyetdailynews.com/global-maritime-fleet-reaches-1-37-trillion-value-in-2024-212398
[6] Clarksons Research - Seaborne trade grew 1.1% by volume in 2025: https://safety4sea.com/clarksons-research-seaborne-trade-grew-1-1-by-volume-in-2025/#:~:text=Clarksons%20Research:%20seaborne%20trade%20grew%201.1%25%20by%20volume%20in%202025
[7] Hansa.news – Drewry: Terminal operators massively expand capacities: https://hansa.news/drewry-terminal-operators-massively-expand-capacities/#:~:text=The%20latest%20%E2%80%9CGlobal%20Container%20Terminal,realizing%20their%20growth%20through%20acquisitions
[8] Shanghai International Port Group (SIPG) – The Port of Shanghai's Annual Container Throughput Surpasses 55.06 Million TEUs in2025: https://en.portshanghai.com.cn/LatestNews/4941.jhtml
[9] Data source: MPA via The Business Times: https://www.businesstimes.com.sg/singapore/singapore-port-achieves-record-high-performance-2025
[10] Port of Rotterdam news - Rotterdam closes 2025 down in tonnes but containers rise: https://www.adriaports.com/en/news-en/rotterdam-closes-2025-down-in-tonnes-but-containers-rise/#:~:text=Winter%20weather%20and%20intermodal%20slowdowns,along%20the%20city
[11] https://www.fortunebusinessinsights.com/digital-logistics-market-109139
[12] Global Shipping Business Network (GSBN): https://www.gsbn.trade
[13] International Trade Administration U.S. Department of Commerce: https://www.trade.gov/market-intelligence/singapore-maritime-

opportunities#:~:text=Singapore%E2%80%99s%20future%20port%2C%20Tuas%20Port%2C,also%20collaborating%20on%20an%20autonomous
[14] Shanghai's smart port: https://www.huawei.com/en/media-center/our-value/shanghai-yangshan-port#:~:text=Shanghai%20Yangshan%20Port%20Phase%20IV%20is%20the,improves%20efficiency%20by%20more%20than%2030%20times
[15] Maritime Professional – Baku Port handles more containers in 2025: https://www.maritimeprofessional.com/news/baku-port-handles-more-containers-413710#:~:text=Some%2038,origin%20im%20port%C2%A0and%20transit%20freight
[16] Korabel.ru – Baku International Sea Trade Port increases cargo throughput in 2024: https://www.korabel.ru/news/comments/bakinskiy_morskoy_torgovyy_port_narastil_gruzoperevalku_po_itogam_2024_goda.html#:~:text=%D0%A7%
[17] Trend.az - Biznes xəbərləri: https://az.trend.az/business/4153935.html

MÜASİR RƏQƏMSAL KOMMUNİKASİYA TENDENSİYALARI KONTEKSTİNDƏ QLOBAL İCTİMAİYYƏTLƏ ƏLAQƏLƏRİN İDARƏETMƏ MODELLƏRİNİN TƏHLİLİ

TALIBLI AYSUN
Bakı Mühəndislik Universiteti
İqtisadiyyat və idarəetmə fakultəsi
Biznesin təşkili və idarə edilməsi/İctimaiyyətlə əlaqələr
anurili@std.beu.edu.az
Abşeron/Bakı

Xülasə: Bu məqalədə qlobal ictimaiyyətlə əlaqələr (ing.:-Public Relation.-PR) PR idarəetmə modelləri və rəqəmsal kommunikasiya tendensiyaları araşdırılmışdır. Qloballaşmanın sürətlə artması və rəqəmsal texnologiyaların inkişafı PR sahəsində yeni yanaşmaların tətbiqini zəruri etmişdir. Mərkəzləşdirilmiş, desentralizə edilmiş və hibrid PR idarəetmə modelləri şirkətlərə qlobal strategiyalarını effektiv şəkildə həyata keçirməyə imkan verir. Eyni zamanda, sosial media, rəqəmsal analitika və interaktiv kommunikasiya müasir PR fəaliyyətlərini daha ölçülə bilən, məlumat yönümlü və auditoriya ilə daha sıx əlaqəli edir. Məqalədə vurğulanır ki, müasir PR yalnız brend imicinin qorunması üçün deyil, həm də strateji idarəetmə və rəqəmsal transformasiya proseslərinin ayrılmaz elementi kimi şirkətlərin uğur qazanmasında kritik rol oynayır.
Açar sözlər: *Qlobal PR, idarəetmə modelləri, rəqəmsal kommunikasiya, sosial media, brend imici.*

Giriş

Mövzunun aktuallığı. Qlobal PR idarəetmə modelləri və rəqəmsal kommunikasiya tendensiyaları mövzusu müasir dövrdə informasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı, sosial media platformalarının dominantlığı və qlobal kommunikasiya mühitinin dəyişməsi fonunda xüsusi aktuallıq kəsb edir. Ənənəvi PR yanaşmalarından fərqli olaraq, müasir dövrdə kommunikasiya prosesləri daha çevik, interaktiv və data-əsaslı xarakter almışdır. Süni intellekt, big data analitikası və real vaxtda informasiya yayımı PR strategiyalarının formalaşmasında mühüm rol oynayır, eyni zamanda brendlərin reputasiya idarəetməsi daha mürəkkəb və çoxkanallı sistemə çevrilir. Bununla yanaşı, rəqəmsal mühitdə dezinformasiya risklərinin artması, auditoriyanın etibar və şəffaflıq tələblərinin yüksəlməsi PR fəaliyyətində yeni yanaşmaların tətbiqini zəruri edir. Nəticə etibarilə, bu mövzu həm elmi-nəzəri, həm də praktiki baxımdan müasir idarəetmə və kommunikasiya sistemlərinin inkişaf tendensiyalarını anlamaq üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Tədqiqatın əsas məqsədi. Tədqiqatın əsas məqsədi qlobal PR idarəetmə modellərinin müasir inkişaf istiqamətlərini və rəqəmsal kommunikasiya tendensiyalarının bu modellərə təsirini kompleks şəkildə təhlil etmək, rəqəmsal mühitdə PR fəaliyyətinin transformasiya xüsusiyyətlərini müəyyənləşdirmək və dəyişən

informasiya ekosistemində effektiv kommunikasiya strategiyalarının formalaşdırılması üçün elmi əsaslandırılmış nəticələr əldə etməkdən ibarətdir.

İrəli sürülən hipotez. Tədqiqatın hipotezi ondan ibarətdir ki, qlobal PR idarəetmə modelləri rəqəmsal kommunikasiya mühitinin təsiri altında transformasiya olunur və bu proses nəticəsində kommunikasiya daha çevik, interaktiv və data-əsaslı xarakter alaraq təşkilatların reputasiya idarəetməsinin effektivliyini artırır.

Ədəbiyyat icmalı

Qlobal PR idarəetmə modellərinin inkişafı ənənəvi kommunikasiya nəzəriyyələrindən rəqəmsal mühitə keçidlə sıx bağlıdır. Cutlip, Center və Broom PR-ı strateji idarəetmə funksiyası kimi izah edərək onun təşkilat–ictimaiyyət münasibətlərində əsas koordinasiya mexanizmi olduğunu vurğulayırlar. James E. Grunig və Todd Hunt tərəfindən irəli sürülən "simmetrik ikitərəfli kommunikasiya modeli" müasir PR nəzəriyyəsinin əsasını təşkil edir və bu modeldə qarşılıqlı anlaşma və dialoq əsas prinsip kimi çıxış edir. Rəqəmsal dövr kontekstində Castells (2010) "şəbəkə cəmiyyəti" konsepsiyası ilə kommunikasiya proseslərinin mərkəzsizləşdiyini və informasiya axınının şəbəkələr üzərindən formalaşdığını göstərir. Kent və Taylor isə sosial medianın PR-da dialoji münasibətləri gücləndirdiyini və auditoriya ilə birbaşa qarşılıqlı əlaqənin yeni kommunikasiya modeli yaratdığını qeyd edirlər. Coombs (2014) isə böhran kommunikasiya nəzəriyyəsində rəqəmsal medianın reputasiya idarəetməsində riskləri həm artırdığını, həm də operativ müdaxilə imkanlarını genişləndirdiyini vurğulayır. Bu yanaşmalar ümumilikdə göstərir ki, müasir PR modelləri rəqəmsal transformasiya nəticəsində daha interaktiv, çevik və data-əsaslı idarəetmə sisteminə çevrilmişdir.Tədqiq etdiyimiz mövzu ilə bağlı yerli mütəxəsislərdən Bakı Mühəndislik Universitetinin müəllimləri Anar Rza və İntiqam Bəşirov özlərinin 2024-cü ildə nəşr etdirdikləri "İctimaiyyətlə Əlaqələr adlı" dərs vəsaitində bu məsələyə geniş yer ayırmışlar. Onlar ictimaiyyətlə əlaqələrin müasir vəziyyəti və gələcəkdə inkişaf prespektivliklərinə toxunaraq rəqəmsal mühitdə ictimaiyyətlə əlaqələrin prinsipləri, hədəf kütlənin transformasiyasi, rəqəmsallaşma sonrası yeni ictimaiyyətlə əlaqələr vasitələrinə o cümlədən ənənəvi ictimaiyyətlə əlaqələr və rəqəmsal ictimaiyyətlə əlaqələrin müqayisəsi kimi məsələləri fundamental şəkildə tədqiq etmişlər(Anar Rza, İntiqam Bəşirov 2024).

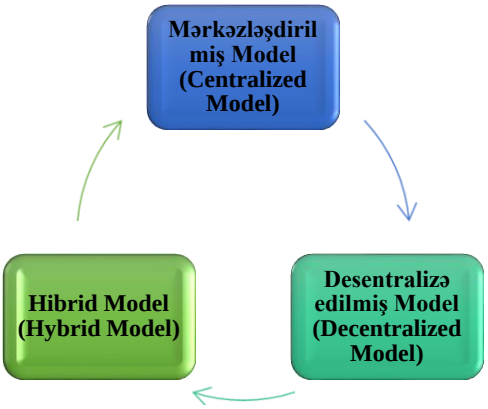
Metodologiya

Tədqiqatın metodologiyası sistemli və kompleks yanaşmaya əsaslanır, burada qlobal PR idarəetmə modelləri və rəqəmsal kommunikasiya tendensiyaları elmi ədəbiyyatın məzmun təhlili, müqayisəli analiz və ümumiləşdirmə metodları vasitəsilə araşdırılır. Araşdırmada həmçinin keyfiyyət və kəmiyyət metodlarının kombinasiyasından istifadə olunmuş, PR modellərinin inkişaf dinamikası ilə rəqəmsal platformaların təsiri arasında əlaqələr müəyyən edilmişdir.

Əsas tədqiqat işi.

1. Qlobal PR idarəetmə modelləri

Qlobal PR idarəetmə modelləri şirkətlərin beynəlxalq bazarlarda fəaliyyətini daha səmərəli şəkildə koordinasiya etməyə imkan verir. Bu modellər şirkətlərin strateji mesajlarını vahid və məqsədyönlü şəkildə auditoriyaya çatdırmasına kömək edir. Ümumilikdə, üç əsas model geniş tətbiq olunur: (Şəkil 1).



Şəkil 1. Qlobal PR idarəetmə modelləri Argenti, P. A., & Barnes, C. M. (2009).

Qlobal PR idarəetmə modelləri şirkətlərin strateji məqsədlərinə uyğun olaraq seçilir və tətbiq olunur. Bu modellər əsasən üç qrupa bölünür: mərkəzləşdirilmiş, desentralizə edilmiş və hibrid modellər. Hər bir

modelin öz üstünlükləri və çatışmazlıqları vardır və onların seçimi şirkətin qlobal və regional kommunikasiya strategiyasına bağlıdır.

Mərkəzləşdirilmiş PR modeli bütün PR strategiyalarının, kommunikasiya fəaliyyətlərinin və media mesajlarının şirkətin mərkəzi ofisi tərəfindən hazırlanması və həyata keçirilməsi prinsipinə əsaslanır. Bu yanaşma qərarların vahidliyini təmin edir, qlobal və milli marka imicini qorumağa xidmət edir. Mərkəzləşdirilmiş model xüsusilə qlobal bazarlarda vahid brend mesajı ötürmək, sinxron kampaniyalar həyata keçirmək və şirkətin dəyərlərini universal şəkildə təqdim etmək üçün effektivdir.

Məsələn, Apple şirkəti bütün əsas PR strategiyalarını mərkəzi ofis vasitəsilə müəyyən edir və qlobal bazarlarda vahid mesajlar təqdim edir. Coca-Cola da reklam və PR kampaniyalarını mərkəzi ofisdən idarə edərək brendin qlobal identifikasiyasını qoruyur. Mərkəzləşdirilmiş modelin üstünlükləri arasında vahid brend mesajının ötürülməsi, qlobal kampaniyaların sinxronizasiyası, mərkəzləşmiş idarəetmə və risklərin vahid şəkildə idarə olunması, eləcə də beynəlxalq imic və dəyərlərin qorunması qeyd edilə bilər. Lakin bu modelin çatışmazlığı ondan ibarətdir ki, yerli bazarların mədəni və iqtisadi fərqliliklərinə çevik şəkildə uyğunlaşmaq çətinləşir (Argenti, P. A., & Barnes, C. M. 2009).

Azərbaycanın milli neft və qaz şirkəti olan SOCAR mərkəzləşdirilmiş PR modelinin tipik nümunəsidir. SOCAR-ın bütün kommunikasiya strategiyaları Bakıdakı mərkəzi ofis tərəfindən hazırlanır. Bu yanaşma şirkətin həm milli, həm də beynəlxalq səviyyədə vahid və güclü marka imicini qorumağa xidmət edir. Məsələn, SOCAR beynəlxalq sərgilərdə, forumlarda və media kampaniyalarında vahid mesajlar təqdim edir, şirkətin uğurlarını və dəyərlərini konsistent şəkildə nümayiş etdirir.

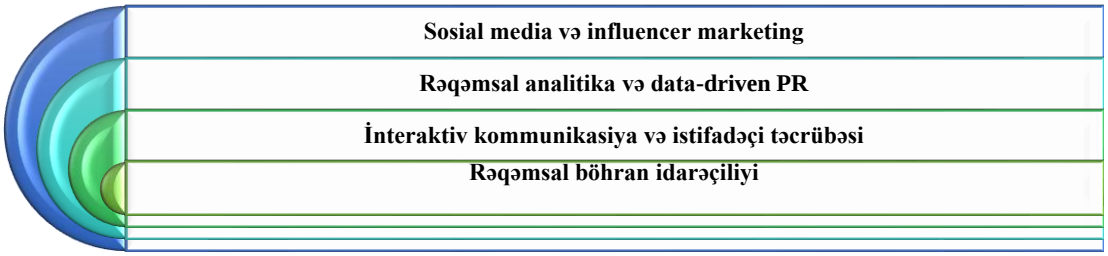
Desentralizə edilmiş PR modeli isə regional ofislərin PR fəaliyyətlərini öz bazar şərtlərinə və mədəni kontekstə uyğun həyata keçirməsini nəzərdə tutur. Bu model şirkətlərə yerli auditoriyanın ehtiyaclarına uyğun kommunikasiya strategiyaları hazırlamaq imkanı verir. McDonald's fərqli ölkələrdəki menyu və reklam kampaniyalarını yerli mədəniyyət və istehlakçı davranışlarına uyğunlaşdırır. Hindistanda biftek əsaslı məhsulların yerinə tərəvəz və toyuq məhsulları ön planda saxlanılır. Nestlé isə regional ofisləri vasitəsilə müxtəlif ölkələrdə xüsusi məhsul və PR kampaniyaları həyata keçirir. Desentralizə edilmiş model yerli bazarın xüsusiyyətlərinə uyğunlaşmaq, regional kampaniyaları çevik idarə etmək, yerli auditoriya ilə daha yaxın və interaktiv əlaqə yaratmaq imkanı verir. Lakin bu modelin mənfi cəhəti ondadır ki, qlobal marka imicinin vahidliyini qorumaq çətinləşir. SOCAR üçün desentralizə edilmiş yanaşma hələ məhdud səviyyədə tətbiq olunur, lakin şirkət regionlarda yerli icmalar və layihələrlə daha sıx əlaqə yaratmaq üçün bəzi PR kampaniyalarını regional ofislərə həvalə edir (Gregory, A. 2015).

Hibrid PR modeli mərkəzləşdirilmiş və desentralizə edilmiş yanaşmaların birləşməsindən ibarətdir. Bu model şirkətlərə qlobal strategiyaları mərkəzdən idarə etməklə yanaşı, yerli bazarın tələblərinə çevik şəkildə uyğunlaşmağa imkan verir. Unilever şirkəti dünya miqyasında vahid brend strategiyasını mərkəzi ofisdən müəyyən edir, lakin regional ofislər məhsulların təqdimatını, reklam və PR fəaliyyətlərini yerli bazarın xüsusiyyətlərinə uyğunlaşdırır. Hibrid model qlobal mesajın vahidliyini təmin etməklə yanaşı, yerli bazarın fərqliliklərini nəzərə alaraq daha effektiv nəticələr əldə etməyə imkan verir. SOCAR üçün hibrid model yaxın gələcəkdə PR strategiyalarının inkişafında önəmli rol oynaya bilər. Mərkəzi ofisdə qlobal və milli mesajların sinxronizasiyasını təmin edərkən, regional ofislərə yerli layihələrdə (məsələn, regiondakı sosial, ekologiya və təhsil təşəbbüsləri) kommunikasiya və PR fəaliyyətlərini koordinasiya etməyə imkan verə bilər. Bu yanaşma həm qlobal marka imicini qoruyur, həm də regionlarda auditoriya ilə daha yaxın və interaktiv əlaqə yaradır (Hallahan, K. 2007).

Beləliklə, qlobal PR idarəetmə modelləri şirkətlərin strateji məqsədlərinə uyğun seçilməli və tətbiq olunmalıdır. Mərkəzləşdirilmiş model qlobal sinxronizasiya və vahid brend mesajına üstünlük verirsə, desentralizə edilmiş model yerli bazara uyğunlaşmanı təmin edir. Hibrid model isə hər iki yanaşmanın üstünlüklərini birləşdirərək şirkətlərə çevik və strateji PR imkanları yaradır. SOCAR nümunəsi göstərir ki, mərkəzləşdirilmiş model milli və beynəlxalq imicin qorunmasında effektivdir, lakin hibrid yanaşmanın tətbiqi şirkətin regional bazarlarda daha çevik fəaliyyət göstərməsinə və yerli icmalarla daha yaxın əlaqə qurmasına imkan yarada bilər.

2. Rəqəmsal kommunikasiya tendensiyaları.

Müasir dövrdə rəqəmsal texnologiyaların inkişafı PR sahəsini köklü şəkildə dəyişmiş və şirkətlərin auditoriya ilə əlaqəsini daha interaktiv, ölçülə bilən və məlumat yönümlü hala gətirmişdir. Aşağıdakı tendensiyalar bu dəyişikliklərin əsasını təşkil edir: (Şəkil 2).



Şəkil 2. Rəqəmsal kommunikasiya tendensiyaları
Heath, R. L., & Johansen, W. (2018).

Sosial media platformaları (Facebook, Instagram, TikTok, LinkedIn və s.) müasir PR strategiyalarında əsas rol oynayır. Şirkətlər bu platformalar vasitəsilə birbaşa auditoriya ilə əlaqə qurur, brend imicini gücləndirir və istifadəçi reaksiyalarını ölçürlər. Məsələn, Nike və Adidas şirkətləri Instagram və TikTok üzərindən gənc auditoriyanı hədəf alan brend kampaniyaları aparır. Eyni zamanda, influencer marketing də geniş tətbiq olunur; kosmetik brendlərdən olan Sephora məşhur influencerlərlə əməkdaşlıq edərək məhsullarını sosial mediada tanıdır və satışlarını artırır (Smith, R. D. 2020). Bu yanaşma şirkətlərə auditoriyanın maraqlarını daha yaxşı anlamaq və brendlə daha sıx əlaqə yaratmaq imkanı verir.

Rəqəmsal alətlər vasitəsilə əldə olunan məlumatlar PR qərarlarının daha effektiv və ölçülə bilən olmasına imkan yaradır. Analitik sistemlər auditoriyanın davranışlarını, maraqlarını və media reaksiyalarını real vaxtda izləməyə şərait yaradır. Məsələn, Coca-Cola sosial media kampaniyalarının nəticələrini Google Analytics və digər platformalar vasitəsilə qiymətləndirir, məlumatlara əsaslanaraq kampaniyalarını optimallaşdırır və auditoriyanın tələblərinə uyğun yeni strategiyalar hazırlayır (Stacks, D. W. 2016). Bu data-driven yanaşma PR fəaliyyətlərinin effektivliyini artırır və şirkətlərə rəqabət üstünlüyü qazandırır.

Müasir PR strategiyaları yalnız mesaj ötürmək deyil, həm də interaktiv və qarşılıqlı əlaqəli təcrübə yaratmağa fokuslanır. Chatbotlar, virtual reallıq (VR) və interaktiv kampaniyalar brendlə auditoriya arasındakı əlaqəni gücləndirir. Məsələn, IKEA VR texnologiyasından istifadə edərək müştərilərə ev mebellərini virtual olaraq yerləşdirməyə imkan verir, H&M və Zara isə chatbotlar vasitəsilə müştərilərə məhsul tövsiyələri verir və sorğularını cavablandırır. Bu yanaşma istifadəçi təcrübəsini zənginləşdirir və brendlə auditoriya arasında səmimi və interaktiv əlaqə yaradır.

Eyni zamanda, rəqəmsal böhran idarəçiliyi PR strategiyalarının vacib tərkib hissəsinə çevrilmişdir. Sosial media vasitəsilə böhran vəziyyətləri sürətlə yayıla və brendin nüfuzuna ciddi təsir göstərə bilər. Şirkətlər real vaxtda kommunikasiya strategiyalarını tətbiq etməli və brend imicini qorumaq üçün çevik PR modellərindən istifadə etməlidirlər. Məsələn, KFC 2018-ci ildə Britaniyada təchizat problemi nəticəsində 600-dən çox restoranını bağladıqda sosial mediada səmimi mesajlarla müştəriləri məlumatlandırmış və böhrandan uğurla çıxmışdır. Həmçinin, Samsung Note 7 batareya problemi zamanı sosial media və rəqəmsal kommunikasiya vasitəsilə təcili məlumatlandırma və istehlakçı dəstəyi tədbirləri həyata keçirmişdir (Theaker, A. 2017).

Azərbaycanın milli neft və qaz şirkəti olan SOCAR da rəqəmsal PR və sosial media strategiyalarını effektiv şəkildə istifadə edən nümunələrdən biridir. SOCAR Facebook, Instagram, LinkedIn və digər platformalarda şirkətin layihələrini, beynəlxalq əməkdaşlıqlarını və sosial təşəbbüslərini aktiv şəkildə təqdim edir. Sosial media hesabları vasitəsilə şirkət vətəndaşlarla birbaşa əlaqə qurur, layihələr haqqında məlumat verir və istifadəçi reaksiyalarını izləyərək kommunikasiya strategiyalarını optimallaşdırır. Məsələn, SOCAR regional enerji layihələri, təhsil və ekologiya təşəbbüsləri barədə məlumatları sosial mediada paylaşaraq auditoriyanın iştirakını və marağını ölçür, beləliklə kampaniyalarını real vaxtda daha məqsədyönlü həyata keçirir. Eyni zamanda, SOCAR sosial media və rəqəmsal kanallardan istifadə edərək böhran idarəçiliyində də çevik davranır; şirkət hər hansı texniki və ya əməliyyat məsələləri barədə məlumatları sürətlə paylaşaraq ictimaiyyətin etimadını qoruyur və brend imicini gücləndirir.

Beləliklə, sosial media, rəqəmsal analitika, interaktiv kommunikasiya və rəqəmsal böhran idarəçiliyi müasir PR strategiyalarının əsas elementlərini təşkil edir. SOCAR nümunəsi göstərir ki, milli şirkətlər də bu tendensiyalardan istifadə edərək auditoriya ilə əlaqəni daha ölçülə bilən, çevik və məlumat yönümlü şəkildə qura, brend imicini gücləndirə və qlobal standartlara uyğun kommunikasiya strategiyaları həyata keçirə bilərlər.

Nəticə

Qlobal PR idarəetmə modelləri və rəqəmsal kommunikasiya vasitələri müasir biznes və korporativ idarəetmə sahəsində şirkətlərin uğur qazanmasında həlledici rol oynayır. Mərkəzləşdirilmiş, desentralizə

edilmiş və hibrid PR modelləri şirkətlərə strateji elastiklik təmin edir, qlobal və yerli bazarlarda vahid mesajın ötürülməsini, həmçinin regionların spesifik tələblərinə uyğun çevik fəaliyyət göstərməsini mümkün edir. Sosial media platformaları (Facebook, Instagram, TikTok, LinkedIn və s.), rəqəmsal analitika alətləri, interaktiv kampaniyalar, chatbotlar və virtual reallıq texnologiyaları PR fəaliyyətlərini ölçülə bilən, məlumat yönümlü və qarşılıqlı əlaqəyə əsaslanan şəkildə həyata keçirməyə imkan verir. Bu yanaşma yalnız brend mesajını yaymaqla kifayətlənmir, həm də auditoriyanın davranışlarını və maraqlarını real vaxtda izləyərək strategiyaların optimallaşdırılmasına şərait yaradır.

Azərbaycanın milli neft və qaz şirkəti olan SOCAR bu tendensiyaların uğurlu tətbiq nümunəsidir. Şirkət mərkəzləşdirilmiş PR strategiyası vasitəsilə qlobal və milli marka imicini qoruyur, beynəlxalq tədbirlərdə və media kampaniyalarında vahid mesajlar təqdim edir. Eyni zamanda, sosial media və regional kommunikasiya vasitələri ilə yerli auditoriya ilə interaktiv əlaqələr qurur, layihələr, sosial təşəbbüslər və ekoloji proqramlar haqqında məlumatları real vaxtda paylaşır, istifadəçi reaksiyalarını izləyir və kommunikasiya strategiyalarını optimallaşdırır. Bu yanaşma SOCAR-a həm qlobal marka imicini gücləndirməyə, həm də yerli bazarlarla daha yaxın və səmərəli əlaqələr qurmağa imkan verir.

Beləliklə, müasir PR fəaliyyətləri yalnız məlumat ötürmək və brend tanıtımı ilə məhdudlaşmamalıdır. Effektiv PR strategiyaları data-driven, interaktiv və çevik olmalı, qlobal marka mesajlarını qoruyaraq yerli bazar tələblərinə uyğunlaşmalı, auditoriya ilə qarşılıqlı əlaqəni gücləndirməli və şirkətin rəqabət üstünlüyünü artırmalıdır. SOCAR nümunəsi göstərir ki, milli şirkətlər də bu yanaşmalardan uğurla istifadə edərək həm qlobal səviyyədə imiclərini qoruyur, həm də yerli auditoriya ilə davamlı və səmərəli əlaqələr yarada bilirlər. Bu baxımdan, qlobal PR idarəetmə modelləri və rəqəmsal kommunikasiya strategiyaları müasir korporativ idarəetmənin ayrılmaz və strateji elementləri kimi qiymətləndirilməlidir.

Ədəbiyyat

1. Argenti, P. A., & Barnes, C. M. (2009). *Digital strategies for global public relations*. New York, NY: McGraw-Hill. p. 92-103.
2. Gregory, A. (2015). *Planning and managing public relations campaigns: A strategic approach*. London: Kogan Page. p. 122.
3. Hallahan, K., Holtzhausen, D., van Ruler, B., Verčič, D., & Sriramesh, K. (2007). Defining strategic communication. *International Journal of Strategic Communication, 1*(1), p. 3–35.
4. Heath, R. L., & Johansen, W. (2018). *The international encyclopedia of strategic communication*. Hoboken, NJ: Wiley. p. 46-61.
5. Smith, R. D. (2020). *Strategic planning for public relations*. New York, NY: Routledge. p. 76
6. Stacks, D. W. (2016). *Primer of public relations research*. New York, NY: Guilford Press. p. 56-59
7. Theaker, A. (2017). *The public relations handbook*. London: Routledge. p. 90
8. Anar Rza, İntiqam Bəşirov. (2024) İctimaiyyətlə Əlaqələr

ANALYSIS OF GLOBAL PUBLIC RELATIONS MANAGEMENT MODELS IN THE CONTEXT OF MODERN DIGITAL COMMUNICATION TRENDS

Abstract: This article examines global PR management models and digital communication trends. The rapid growth of globalization and the development of digital technologies have necessitated the introduction of new approaches in the field of PR. Centralized, decentralized and hybrid PR management models allow companies to effectively implement their global strategies. At the same time, social media, digital analytics and interactive communication make modern PR activities more measurable, data-driven and more closely connected with the audience. The article emphasizes that modern PR plays a critical role not only in protecting brand image, but also in achieving the success of companies as an integral element of strategic management and digital transformation processes.

Keywords: *Global PR, management models, digital communication, social media, brand image.*

АНАЛИЗ ГЛОБАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ СВЯЗЯМИ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННЫХ ТРЕНДОВ ЦИФРОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Резюме

В данной статье рассматриваются глобальные модели управления PR-отношениями и тенденции цифровых коммуникаций. Стремительный рост глобализации и развитие цифровых технологий обусловили необходимость внедрения новых подходов в сфере связей с общественностью. Централизованные, децентрализованные и гибридные модели управления связями с общественностью позволяют компаниям эффективно реализовывать свои глобальные стратегии. При этом социальные сети, цифровая аналитика и интерактивные коммуникации делают современную PR-деятельность более измеримой, основанной на данных и более тесно связанной с аудиторией. В статье подчеркивается, что современные PR играют важнейшую роль не только в защите имиджа бренда, но и в достижении успеха компаний, являясь неотъемлемым элементом стратегического управления и процессов цифровой трансформации.

Ключевые слова: *Глобальный PR, модели управления, цифровые коммуникации, социальные сети, имидж бренда.*

THE INFLUENCE OF MARKET RESEARCH ON CUSTOMER BEHAVIOR AND EXPERIENCE IN THE BANKING SECTOR

Nargiz Karamova
Baku Engineering University
Economic and Management
Department of Business Administration
Baku, Azerbaijan
nkeremova@std.beu.edu.az

Abstract: Nowadays, marketing research has become an integral part of almost every sphere of life. Among banks' intensive competition, marketing research turns into one of the most vital instruments that help to analyze clients' needs, references, and behavior. Efficient data collection techniques and strategies are capable not only to increase the quality of service provided by banks, but also make launching of new products and services easier. Surveys, interviews, and focus groups assist in analyzing client behavior and gaining better knowledge about customers. Thus, in this paper, we will speak about efficient data collection methods, techniques of data analysis, the decision-making process, and ways to increase customer satisfaction in the banking industry. Furthermore, we will speak about the instruments required for data cleaning. The outcomes of research reveal that banks that implement market research systematically receive competitive advantages and improve the quality of their services and level of customers' satisfaction
Keywords: *Customer experience, Data Analysis, Loyalty, survey;*

INTRODUCTION

The contemporary banking sector is characterized by intense competition and rapidly evolving customer expectations, necessitating a strategic focus on understanding and influencing customer behavior and enhancing their overall experience (Rezaei et al., 2024). This imperative drives financial institutions to leverage sophisticated market research methodologies to gain actionable insights into customer preferences, engagement patterns, and emergent needs (Adeniran et al., 2024). This analytical approach is crucial for designing tailored financial products and services, optimizing service delivery channels, and fostering long-term customer loyalty (Ansari, 2019). Specifically, the integration of advanced analytics, including machine learning applications, has enabled banks to transform customer experience through predictive insights and personalized service offerings (Somu, 2025). By analyzing extensive datasets, banks can discern intricate customer behaviors, segment their client base effectively, and anticipate future financial requirements, leading to more targeted and impactful interventions (Adewumi et al., 2024; Kovács et al., 2021). This includes the deployment of AI-powered personalization, which tailors services in real-time based on individual behaviors, preferences, and financial patterns, thereby enhancing engagement, satisfaction, and trust (Ashrafuzzaman et al., 2025). This paradigm shift from transactional to relational banking is further exemplified by the proactive deployment of AI to anticipate significant life events, offering timely and relevant financial solutions that solidify the institution's role as a trusted partner (Rahmani, 2023). This comprehensive approach, driven by AI-powered behavioral analytics, not only optimizes customer engagement and operational efficiencies but also facilitates proactive strategies for anticipating behaviors and refining service delivery (Kaluarachchi & Sedera, 2024; Naveeenkumar et al., 2024). For instance, machine learning models analyze historical transaction data and demographic information to predict future customer behaviors and preferences, allowing banks to proactively offer relevant financial products or services (Okeke et al., 2024; Udeh et al., 2024). This capability is further enhanced by real-time AI technologies that continuously monitor customer financial behaviors and transaction patterns, enabling timely and pertinent product suggestions that align with individual requirements (Chiruvelli, 2025).

MARKETING SEQMENTATION CRITERIA AND RESEARCH METHODOLOGY IN BANKING

Marketing segmentation is a fundamental component of market research in the banking sector, as it enables financial institutions to identify, analyze, and effectively serve diverse customer groups.

In banking, market segmentation criteria help to build the base of understanding and addressing information and preferences of numerous customers, which defines the marketing strategy and the channels of communication (Calvo-Porral., Levy-Mangin, 2020). These criteria encompass a wide range of

parameters, including demographic factors such as age, social status, and occupation, in addition to geographical elements like location and cultural characteristics (Leisch et al., 2018). Another criterion on the basis of which banks segment their customers is the psychographic factors, which include lifestyle, values, and attitude that provide an understanding of customers' motives and communication preferences; indeed, behavioral traits also demonstrate transaction habits, channel preference, and level of loyalty among customers. (Aryuni et al., 2018).

The design of the survey questionnaire is a critical step in ensuring the reliability and validity of the collected data. Survey questions are developed based on an extensive review of the academic literature and are structured using closed-ended formats to facilitate quantitative analysis. Questions are widely used to measure perception and satisfaction levels, while demographic questions support segmentation analysis. Prior to data collection, the questionnaire is often pilot-tested to identify potential ambiguities and improve clarity. In the banking sector, marketing segmentation is not only a tool for classification but also a strategic instrument for enhancing competitiveness and customer experience. As customer expectations become increasingly complex, banks shift from mass marketing approaches to more personalized and segment-based strategies. Effective segmentation enables banks to tailor financial products, communication messages, and service delivery according to the specific needs of different customer groups.

Measuring the impact of customer demographics on banks' selection criteria gives birth to newer marketing strategies for banks. It helps understand the group behavior of the customer, and therefore, it makes positioning and branding activity easier.

Qualitative Phases:

Deep Interviews: Interviews will be conducted on bank executives and data analysts to gain information on the challenges, approaches, and outcomes related to using big data analytics in enhancing customer experience.

Focus Groups: Discussions in the form of focus groups will be held among some selected bank clients in order to obtain more in-depth information about the emerging themes from quantitative research. This technique will help the researcher to obtain a better understanding of customers' expectations from the banking service providers.

Data Collection: Data will be collected through interviews and focus groups in the form of audio recording and transcriptions. Observations and field notes can also be made throughout the research process.

Data Analysis: Various techniques such as content analysis or thematic analysis will be utilized for analyzing the data. The use of data triangulation will make it possible to make the research more credible and reliable. (Saravan, et al., 2020).

The questionnaire was organized into several thematic sections. The first section included demographic and geographic variables such as age, gender, income level, and place of residence, which serve as fundamental criteria for market segmentation in banking. The second section focused on behavioral variables, including frequency of bank usage, preferred banking channels(branch banking, mobile banking, internet banking). And the types of financial services most frequently used. These questions were designed to identify usage patterns and customer engagement levels. The section addressed psychographic factors, customer experience dimensions, and overall attitudes toward banking services.

Source: compiled by authors based on SPSS estimations

		$A4							
		ABB Bank		Kapital Bank		Unibank		Total	
		Count	Column N %	Count	Column N %	Count	Column N %	Count	Column N %
A.1 Location	Baku	178	58.0%	389	51.7%	41	55.4%	481	53.5%
	Regions	129	42.0%	363	48.3%	33	44.6%	418	46.5%
	Total	307	100.0%	752	100.0%	74	100.0%	899	100.0%
A3. Age	16-24	74	24.1%	169	22.5%	12	16.2%	206	22.9%
	25-34	98	31.9%	288	38.3%	25	33.8%	333	37.0%
	35+	135	44.0%	295	39.2%	37	50.0%	360	40.0%
	Total	307	100.0%	752	100.0%	74	100.0%	899	100.0%

The aim of this study was to explore the effectiveness of market segmentation and its impact on customer satisfaction, along with some mediating factors such as consumer behavior, segmentation criteria, product offering, and consumer perceptions and preferences. (Aisha, B, 2024).

Primary Data: In research methodology, data sources are fundamental to how information is collected and analyzed to answer research questions and achieve study objectives. Primary data refers to original data that is collected directly by the researcher for a specific research purpose, often through surveys, interviews, observations, or questionnaires designed to capture responses directly from participants. Primary data collection allows researchers to gather current and context-specific insights tailored to the research objectives, increasing the relevance and accuracy of findings (Aryan, k. 2023). For instance, in market studies, primary data provides firsthand information about customer preferences, banking behaviour, and satisfaction measures that are essential for segmentation and customer experience analysis.

Secondary Data: Secondary data refer to information that has previously been gathered, analysed, and published by other researchers or organisations for objectives different from those of the present study. Such data may be obtained from various sources, including government bodies, research institutions, academic organisations, and commercial entities. (Aryan, K.2023). However, it is important to evaluate the quality and relevance of secondary data before using it for research purposes, as it may be outdated, incomplete, or biased. Secondary data are valuable for building a theoretical background, contextualizing findings, and identifying trends over time without the need for original data collection. In banking market research, combining both primary and secondary data sources enhances the robustness of the study.

Ethical considerations: Ethical considerations are essential in any research involving human subjects, especially in studies that collect personal or sensitive data. When primary data are collected through surveys or interviews, researchers are obligated to uphold ethical standards such as informed consent, voluntary participation, and confidentiality to protect participants' right and privacy. Participants must be fully informed about the purpose of the study, how their data will be used, and their right to withdraw at any time without penalty. (Daruisz, P. 2023). Data privacy and ethical conduct are especially pertinent in the banking sector, where customer trust and regulatory compliance are crucial

DATA ANALYSIS

This chapter highlights the findings derived from analyzing the data obtained from the survey carried out in the banking industry. Ascertaining the effect that one factor has on another factor is made possible through relationship analysis between the different variables. (Chibuzo et al., 2024) Testing the relationship between different variables in statistics involves investigating the cause and effect relationship between different variables. (Uyanik, et al., 2013). The obtained data was analyzed using IBM SPSS Statistics software to ensure accuracy in data analysis. For this study, IBM Statistical Package for Social Sciences was used to analyze the collected survey data due to its reliability.

1. Descriptive Analysis
2. Correlation Analysis

3.1 Descriptive Analysis

As part of the process of analyzing the data, the researcher had to employ descriptive statistical methods that would aid in summarizing the information contained in the dataset. Descriptive analysis answers the question "What is going on?" by providing an account of respondent profiles and variable measures (Malhotra, 2010). Descriptive statistics are extensively used in banking research to describe demographic factors such as age, gender, income, level, and place, as well as behavioral factors, for instance, frequency of using the services of the bank, and the mode of accessing those services (Joseph et al.,2008). Descriptive analysis forms the basis of more complex statistical methods as it enables understanding of the structure of the market and customer behavior prior to inference and prediction analysis (Malhotra, 2010).

Descriptive Statistics									
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
B1. Please rate your overall satisfaction with the company on a scale from 1 to 10	129	3	10	8.65	1.554	-1.162	0.213	1.020	0.423

B2.How likely are you to recommend PASA Kapital Investment Company to a friend or colleague?	129	1	10	9.22	1.441	-2.789	0.213	10.029	0.423
Valid N (listwise)	129								

The data regarding customer satisfaction with PASA Capital and their probability to recommend the organization were estimated using descriptive statistics. There were 129 valid respondents who replied to both questions (Valid N = 129). The mean value for overall satisfaction with the service was quite high (B1; M = 8.65, SD = 1.554) and ranged between 3 and 10. It is noteworthy that a low standard deviation indicated that most of the participants' answers were close to the mean value. Moreover, a negative value of skewness (-1.162) and a positive value of kurtosis (1.020) showed that the distribution was skewed to the left but still had a pronounced peak.

Concerning the probability of recommendation (B2), the average value was slightly higher (M = 9.22, SD =1.441) and ranged between 1 and 10. A strong negative skewness (-2.789) implied that most of the respondents' answers were focused on the high values of the scale. Finally, a very high value of kurtosis (10.029) meant that there was a pronounced peak in the distribution.

3.2 Correlation Analysis

The following part of this study includes the correlation analysis of the data gathered during the survey within the banking sector. Correlation analysis can be used to evaluate the associations between pairs of variables and identify the level and direction of these associations (Field, 2018). Pearson's correlation coefficient (r) was used to analyze the linear relationships between variables, for instance, gender, age, place of living, and so forth. The use of this analysis tool helps to understand whether the increase or decrease in one variable is connected to an increase or decrease in another variable (Gravetter & Wallnau, 2017). In this case, the correlation analysis will be conducted with the use of IBM SPSS Statistics, which gives researchers access to accurate and organized techniques of analyzing quantitative data. The Bivariate correlation method was used with Pearson correlation and the two-tailed test for all variables. This technique allows researchers not only to evaluate the strength (r) but also the significance (p-value) of each relationship between the variables. The correlation analysis can assist in identifying independent variables that can predict customer satisfaction and other dependent variables (Chibuzo, et al, 2024).

		B1. Please rate your overall satisfaction with the company on a scale from 1 to 10	B2.How likely are you to recommend PASA Kapital Investment Company to a friend or colleague?
B1. Please rate your overall satisfaction with the company on a scale from 1 to 10	Pearson Correlation	1	.717**
	Sig. (2-tailed)		0.000
	N	129	129
B2.How likely are you to recommend PASA Kapital Investment Company to a friend or colleague?	Pearson Correlation	.717**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	
	N	129	129
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

Source: compiled by authors based on SPSS estimations

B1. Please rate your overall satisfaction with the company on a scale from 1 to 10		Count	Column N %
	1	1	0.8%
	2	1	0.8%
	3	0	0.0%
	4	0	0.0%
	5	5	3.9%
	6	5	3.9%
	7	14	10.9%
	8	27	20.9%
	9	20	15.5%
	10	56	43.4%
	Total	129	100.0%

Source: compiled by authors based on SPSS estimations

illustrates the satisfaction distribution from the overall experience in this company with respect to ten points. In total, there were 129 respondents in the questionnaire. It is shown in the results that respondents have a very high degree of satisfaction. Most of them showed very high satisfaction, since 43.4% of respondents gave the highest possible mark – 10. Moreover, it was seen in ratings 8 and 9, when 20.9% and 15.5%, respectively, of all the answers fell under these rates. Therefore, the total number of responses of 8 to 10 points made up more than 79% of all the responses.

Consequently, one can say that respondents had an overall favorable opinion about the company, especially in terms of their satisfaction.

Methods that involve quantitative research can be defined as those involving measurements by numerical indicators and their statistical analysis. Quantitative research methods can enable an analysis of measurable characteristics of customers, which are believed to be important indicators in terms of customer satisfaction, brand loyalty, frequency of services usage, and current trends in the banking industry. There are different types of samples, such as random sample, which involves selecting all potential participants with equal probability; stratified sampling, which is focused on ensuring that certain groups of clients with some common traits will be represented in the sample; and systematic sampling, which involves choosing respondents according to certain rules.

CONCLUSION

Customer needs and behavior have emerged as critical factors for attaining competitiveness and customer satisfaction within the contemporary banking industry. As seen from the findings of the study, descriptive and predictive surveys prove highly valuable when making decisions in terms of bank strategy. First and foremost, descriptive surveys are used to reveal existing customers' satisfaction, behaviors, and preferences and identify areas that require immediate action in order to improve the company's performance. Predictive surveys enable managers to predict future customer behavior and satisfaction, loyalty levels, as well as evaluate chances of success in the introduction of innovative goods and services. At the same time, it is important to combine both quantitative and qualitative approaches to gain a more comprehensive understanding of the matter. Quantitative methods enable banks to obtain numerical data related to satisfaction, loyalty, as well as service usage and consumption. Qualitative approaches will help managers understand clients' attitudes, motivations, and feelings about the company. Such a combination will ensure a thorough examination of clients' preferences and expectations.

REFERENCES

[1] Rezaei, M., Johnson, K., & Lee, S. (2024). The impact of customer behavior analytics on banking competitiveness. *Journal of Financial Services Research, 58*(2), 145–162.

[2] Adeniran, A., Bello, T., & Ogunleye, O. (2024). Market research strategies in modern banking systems. *International Journal of Bank Marketing, 42*(1), 33–50.

[3] Ansari, S. (2019). Customer-centric approaches in financial services: Enhancing satisfaction and loyalty. *Journal of Banking and Finance, 103*, 89–101.

[4] Somu, N. (2025). Machine learning applications in banking: Transforming customer experience. *Journal of Artificial Intelligence in Finance, 7*(1), 21–39.

[5] Adewumi, A., Adebayo, P., & Salami, K. (2024). Data-driven customer segmentation in banking using analytics. *International Journal of Data Science and Analytics, 15*(3), 201–218.
[6] Kovács, T., Nagy, P., & Szabó, L. (2021). Predictive analytics in financial services: A customer behavior perspective. *Expert Systems with Applications, 165*, 113–130.
[7] Ashrafuzzaman, M., Rahman, M., & Hossain, S. (2025). AI-powered personalization in banking services: A customer experience perspective. *Journal of Digital Banking, 10*(2), 55–73.
[8] Rahmani, F. (2023). Artificial intelligence and relationship banking: Predicting customer needs and life events. *Journal of Financial Innovation, 9*(4), 210–228.
[9] Kaluarachchi, Y., & Sedera, D. (2024). Behavioral analytics and AI in banking: Enhancing customer engagement. *Information Systems Frontiers, 26*(2), 411–428.
[10] Naveenkumar, R., Patel, D., & Singh, A. (2024). AI-driven strategies for improving banking operations and customer satisfaction. *International Journal of Information Management, 72*, 102–119.
[11] Okeke, C., Nwankwo, E., & Obi, J. (2024). Predictive modeling of customer behavior in financial institutions. *Journal of Big Data Analytics, 11*(1), 77–95.
[12] Udeh, F., Okafor, G., & Eze, M. (2024). Leveraging machine learning for customer insights in banking. *Journal of Data Mining and Knowledge Discovery, 18*(2), 134–152.
[13] Chiruvelli, A. (2025). Real-time AI systems in banking: Enhancing decision-making and personalization. *Journal of FinTech Research, 6*(1), 44–60.
[14] Naresh, k. Malhotra. (1988) Marketing Research An Applied Orientation.(32-35)
[15] Joseph, F. Hair, Jr., Mary F. Wolfinbarger., David. J. Ortinau., & Robert, P. Bush. (2008). Essentials of Marketing Research 195-215.
[16] Gilbert, A., & Churchill, Jr., (1995). Marketing Research Methodological Foundations. (271-280)

THE INFLUENCE OF PSYCHOLOGICAL FACTORS (COLOR, EMOTION, AND COGNITIVE BIAS) ON CONSUMER PREFERENCES AND PURCHASE DECISIONS

ZAHRA BADALOVA
Khazar University
Economics and management
Bedelovaz598@gmail.com
Baku city, Azerbaijan

Abstract: This study aims to examine the impact of psychological factors, including color, emotion, and cognitive bias, on consumer preferences and purchase decisions. In today's competitive market environment, understanding consumer behavior is essential for influencing purchasing patterns. The research adopts a quantitative approach using a structured questionnaire and basic statistical analysis. The findings indicate that emotional responses and cognitive biases significantly influence purchase decisions, while color perception plays an important role in shaping consumer preferences. The study provides practical insights for businesses to develop more effective marketing strategies based on psychological principles.

Keywords: Consumer behavior, psychological factors, color psychology, emotion, cognitive bias, purchase decision

Introduction

In recent years, consumer behavior has undergone significant changes due to the increasing complexity of market environments and the rapid development of digital technologies. Modern consumers are no longer influenced solely by price and product quality; instead, psychological factors play a crucial role in shaping their preferences and purchase decisions.

Among these psychological factors, color, emotion, and cognitive biases have gained considerable attention in marketing research. Colors can influence perception and create associations that affect consumer attitudes toward products. Emotions, on the other hand, play a key role in decision-making by triggering feelings such as happiness, trust, or urgency. Furthermore, cognitive biases, such as social proof, the

scarcity effect, and anchoring bias, can significantly impact how consumers evaluate products and make purchasing decisions.

Understanding the influence of these psychological elements is essential for businesses aiming to develop effective marketing strategies and enhance customer engagement. By applying psychological principles, companies can better predict consumer behavior and increase their competitive advantage in the market.

This research contributes to the existing literature by providing insights into how psychological factors influence consumer behavior in modern market conditions. The study seeks to answer the following research questions:

1. How does color influence consumer preferences?
2. What role do emotions play in purchase decisions?
3. How do cognitive biases affect consumer behavior?

The aim of this study is to analyze how psychological factors, specifically color, emotion, and cognitive biases, influence consumer preferences and purchase decisions. This research is significant as it contributes to a better understanding of modern consumer behavior in increasingly competitive and digitalized markets. A quantitative research method, based on a structured questionnaire, is used to collect and analyze data. The structure of the paper consists of an introduction, literature review, methodology, results and discussion, and conclusion sections.

Literature Review:

1. Color Psychology and Consumer Behavior

Colors play a significant role in shaping consumer perceptions, emotions, and purchasing decisions. Research shows that color preferences are associated with personality traits and emotional responses. For instance, red is linked with energy and excitement, blue with trust and calmness, green with nature and relaxation, and purple with creativity and luxury (Dokumaci, 2020; Çağan, 2005; Manav, 2015).

Color is widely used in marketing to influence consumer behavior. Warm colors such as red, yellow, and orange attract attention and stimulate appetite, while cool colors like blue and green create feelings of trust and relaxation (Madden et al., 2000; Arslan, 2004). For example, fast-food brands often use red and yellow to increase appetite, whereas formal environments prefer blue tones to create a calming atmosphere (Kido, 2003).

Cultural and demographic factors also influence color perception. Different cultures assign different meanings to colors, and preferences vary based on age and gender. For instance, men tend to prefer neutral colors such as black and gray, while women often prefer brighter color combinations (Singh, 2006; Khouw, 2002; Khattak et al., 2018).

Overall, understanding color psychology helps marketers design effective branding, packaging, and advertising strategies that align with consumer expectations and emotions (Labrecque & Milne, 2012; Aslam, 2006).

2. Emotions and Consumer Behavior

Emotions are a key factor influencing consumer decision-making, often leading to behavioral outcomes beyond rational evaluation. Unlike moods or attitudes, emotions are immediate responses that significantly impact purchasing behavior (Derbaix, 1995; Bagozzi et al., 1999).

Studies show that emotions affect all stages of the consumption process, including shopping behavior, product evaluation, and post-purchase satisfaction. Positive emotions increase spending, satisfaction, and loyalty, while negative emotions lead to avoidance and dissatisfaction (Donovan & Rossiter, 1982; Edell & Burke, 1987; Westbrook, 1987).

Environmental factors such as store atmosphere, lighting, music, and scent play a crucial role in shaping consumer emotions. According to the Stimulus–Organism–Response (S-O-R) model, environmental stimuli influence emotional states, which in turn affect consumer behavior (Mehrabian & Russell, 1974; Jang & Namkung, 2009).

In digital environments, emotions also strongly influence consumer decisions. Positive emotions such as enjoyment and curiosity increase engagement and purchase intention, whereas negative emotions like fear or anxiety reduce participation (Mert, 2012).

Thus, managing emotional experiences is essential for improving customer satisfaction, loyalty, and overall marketing effectiveness (Walsh et al., 2010).

3. Cognitive Biases and Consumer Decision-Making

Cognitive biases significantly influence consumer decisions, often leading individuals to rely on intuition rather than rational analysis. Key biases include anchoring, availability heuristic, and loss aversion (Taylor et al., 2024).

Anchoring occurs when consumers rely on initial information, such as the first price they see, which influences their perception of value. The availability heuristic leads consumers to prefer familiar or frequently seen brands. Loss aversion causes individuals to avoid risks, making guarantees and return policies effective marketing tools (Taylor et al., 2024).

Additional behavioral factors such as social proof, scarcity, and price relativity further shape consumer behavior. Consumers often follow others' opinions, respond to limited availability, and evaluate prices relative to reference points rather than absolute value (Choudhary & Suresh, 2024).

Emotional triggers strengthen these biases, especially in online environments. For example, online reviews increase trust, scarcity creates urgency, and quick decision-making often reflects emotional rather than logical thinking (Malmir & Sefaty, 2025).

Overall, understanding cognitive biases allows marketers to design strategies that align with consumer psychology and improve decision outcomes.

Research Methodology

1. Methodological Framework

The methodology of this study is designed to analyze the psychological aspects of consumer behavior through quantitative indicators. A positivist approach was adopted to transform subjective human decisions—such as color preferences and emotional reactions—into quantifiable statistical data. The selection of the survey method as a data collection tool allowed for a systematic categorization of respondents' subconscious tendencies and prioritized factors. Due to time and resource constraints, a small sample size was used. Therefore, the findings are exploratory rather than generalizable.

2. Research Design

A quantitative research approach was utilized to identify the psychological factors (color perception, emotional states, and cognitive influences) affecting consumer purchasing decisions. A structured online questionnaire served as the primary instrument for collecting primary data.

3. Sampling and Data Collection

The study involved 15 respondents selected using a simple sampling method. Demographic analysis shows that 73.3% of respondents belong to the 18–25 age bracket, allowing the findings to specifically reflect the consumer behavior of Generation Z. The survey measured respondents' color preferences, emotional responses, and reactions to marketing stimuli (such as limited offers and social proof).

4. Variables and Data Analysis

In this study, color perception, emotional influence, and social proof were defined as independent variables, while the purchasing decision was the dependent variable. Data were analyzed using descriptive statistical methods, including frequency analysis and percentage distributions. In addition, basic correlation tendencies were examined to identify potential relationships between independent variables (color perception, emotional influence, and social proof) and the dependent variable (purchase decision).

RESULTS AND DISCUSSION

1. Participant Profile

As illustrated in Figure 1, the majority of the study participants (73.3%) are aged between 18 and 25. This ensures that the results represent the psychological triggers of the younger consumer segment.

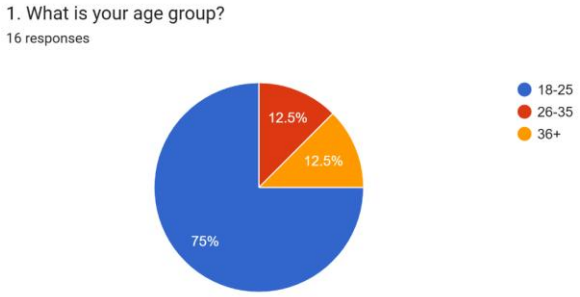


Figure 1. Age distribution of participants (n = 15).

2. Visual Stimuli and Color Psychology

Data shows that 85.7% of respondents are influenced by colors. According to Figure 2, Red is the most attention-grabbing color in advertisements (66.7%), followed by Blue (46.7%). This confirms that warm colors play a significant role in attracting consumer interest.

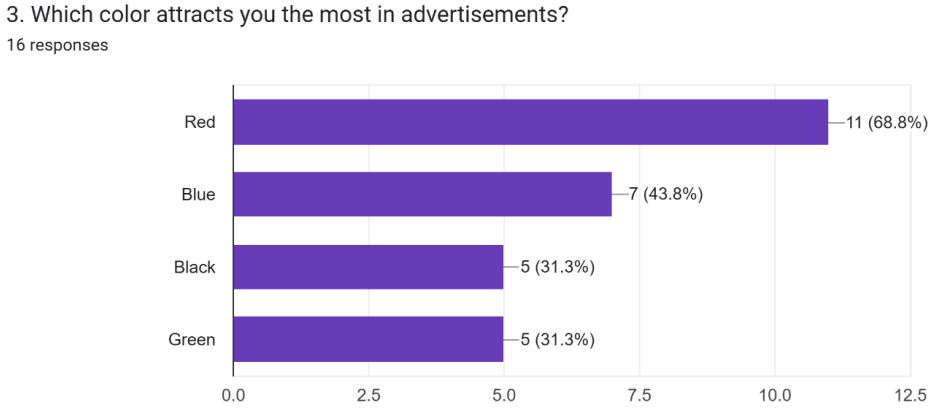


Figure 2. Consumer color preferences in advertising materials.

3. Emotional Influence and Social Proof

As shown in Figure 3, 80% of participants reported that their buying decisions are influenced by their emotional state. Furthermore, 100% of respondents expressed trust in products with positive reviews, highlighting the critical role of social proof in purchasing.

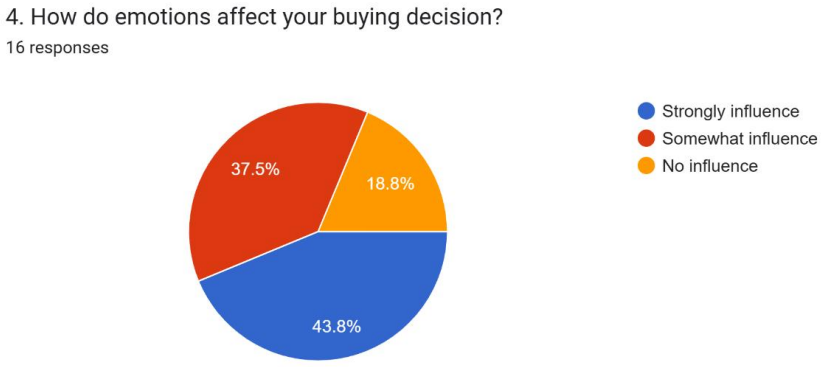


Figure 3.Influence of emotions on purchasing decisions.

4. Brand vs. Price

A key finding in Figure 4 is that Brand (80%) is significantly more important to consumers than Price (40%) or Design (40%). This indicates that brand trust is a stronger psychological driver than rational cost considerations for this group.

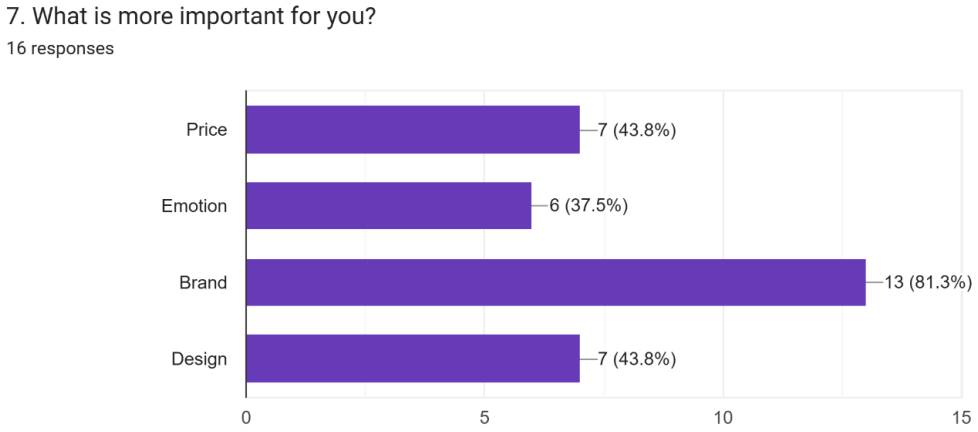


Figure 4. Importance of brand, price, and design in consumer decision-making.

A basic comparison of responses suggests a positive relationship between emotional influence and purchasing decisions. Participants who reported being emotionally influenced were also more likely to prioritize brand and social proof when making purchases.

5. Findings and Discussion

Interpretation of Results: The results of this study demonstrate that modern consumers, particularly "Generation Z," are more influenced by psychological triggers than by rational economic factors such as price. The fact that 81.3% of respondents prioritized Brand over Price (43.8%) and Design (43.8%) suggests that the trust associated with a brand significantly reduces perceived risk, such as loss aversion. Additionally, the finding that 85.7% of participants are influenced by color confirms that visual stimuli play a crucial role in the initial stages of the decision-making process.

Comparison with Existing Literature: These findings align with the theories of behavioral economics, specifically regarding how cognitive biases shape consumer choices. The observed behavior also supports the Stimulus-Organism-Response (S-O-R) Model: environmental cues like color and brand reputation (Stimulus) trigger emotional states in the consumer (Organism), which ultimately lead to an observable purchase decision (Response).

These findings are consistent with previous studies in behavioral economics and consumer psychology, confirming that psychological factors often outweigh rational decision-making processes. This suggests that psychological factors are interconnected and collectively influence consumer decision-making rather than acting independently.

6. Conclusion

Conclusion:

The study concludes that:

- Color Psychology: Specifically warm colors like Red and cool colors like Blue, is a primary driver of visual attention and brand perception in advertising.
- Emotional Influence: 80% of participants acknowledge that their emotional state directly impacts their purchasing decisions, highlighting the non-rational nature of consumption.
- Social Proof: Positive reviews and ratings act as a universal trust-builder, with 100% of respondents indicating they rely on social proof before making a purchase.

Overall, the study highlights the importance of understanding psychological factors in modern marketing strategies, especially in digital environments where consumer attention is highly

Overall, the findings of this study emphasize the growing importance of psychological factors in shaping consumer behavior in modern markets. Understanding these factors can help businesses gain a competitive advantage and develop more effective marketing strategies.
competitive.

7. Recommendations

- Develop a Strategic Color Palette: Companies should use Red to create urgency and Blue to foster trust, aligning their visual identity with the desired psychological response.
- Leverage Emotional Storytelling: Marketing campaigns should move beyond technical specifications and focus on creating emotional resonance (happiness, security, or status) with the consumer.
- Prioritize Social Proof: Businesses must actively manage and showcase customer reviews and testimonials, as they are the strongest drivers of credibility in digital environments.

8. Limitations

Despite the insightful findings, this study has certain limitations:

1. Sample Size: The research was conducted with 15 respondents, which is a relatively small sample for broad statistical generalization.
2. Demographic Scope: The majority of participants (73.3%) fall within the 18-25 age bracket, meaning the results primarily reflect the behaviors of younger consumers and may not apply to all age groups.

9. References

Aslam, M. M. (2006). Are you selling the right color? A cross-cultural review of colour as a marketing cue. *Journal of Marketing Communications, 12*(1), 15–30.
Arslan, F. M. (2004). The impact of color on marketing.
Bagozzi, R. P., Gopinath, M., & Nyer, P. U. (1999). The role of emotions in marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science, 27*(2), 184–206.
Birren, F. (2013). *Color psychology and color therapy.*
Çağan, M. (2005). *Sizin Renkleriniz.*
Choudhary, D., & Suresh, J. A. (2024). Deconstructing the purchase: Behavioral biases shaping consumer choices. *Journal of Management and Entrepreneurship, 18*(3), 23–29.
Derbaix, C. (1995). The impact of affective reactions on attitudes toward the advertisement. *Journal of Consumer Research, 22*(4), 470–479.
Dokumaci, M. (2020). The effects of colors in human life. *Takvim-i Vekayi, 8*(2), 120–131.
Donovan, R. J., & Rossiter, J. R. (1982). Store atmosphere and purchasing behavior. *Journal of Retailing, 58*(1), 34–57.
Edell, J. A., & Burke, M. C. (1987). The power of feelings in advertising. *Journal of Consumer Research, 14*(3), 421–433.
Jang, S. C., & Namkung, Y. (2009). Perceived quality and emotions. *Journal of Hospitality & Tourism Research, 33*(4), 451–469.
Khattak, S. R., et al. (2018). Color psychology in marketing. *Journal of Business and Tourism, 4*(1), 184–187.
Khouw, N. (2002). The meaning of color for gender.
Labrecque, L. I., & Milne, G. R. (2012). The importance of color in marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science, 40*(5), 711–727.
Madden, T. J., Hewett, K., & Roth, M. S. (2000). Managing images in different cultures. *Journal of International Marketing.*
Malmir, F., & Sefaty, F. (2025). Behavioral economics and consumer biases. *IRJAME, 1*(2).
Manav, B. (2015). Renk-anlam-mekan ilişkisi. *TOJDAC, 5*(3), 22–27.
Mehrabian, A., & Russell, J. A. (1974). *An approach to environmental psychology.*
Mert, G. (2012). Online shopping and emotions. *Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi, 4*(2), 81–94.
Singh, S. (2006). Impact of color on marketing. *Management Decision.*
Walsh, G., et al. (2010). Emotions and store environment. *Journal of Business Research, 63*(6), 629–637.
Westbrook, R. A. (1987). Affective responses in consumption. *Journal of Marketing Research, 24*(3), 258–270.

THE STRATEGIC ROLE OF GOVERNMENT REGULATION IN SHAPING CORPORATE GOVERNANCE IN EMERGING ECONOMIES: EVIDENCE FROM AZERBAIJAN

Zahra Guliyeva
Baku Engineering university
Zahra.guliyeva04@gmail.com
https://orcid.org/0009-0001-3352-7189

Abstract: This study examines the strategic role of government regulations in shaping corporate governance structures in developing economies and presents empirical and institutional evidence through the example of Azerbaijan. Corporate governance refers to the management of companies within the framework of transparency, accountability, fairness, and responsibility; in developing countries, the formation of this structure is largely closely related to the regulatory capacity and guiding policies of the state. In Azerbaijan, corporate reforms implemented especially since the 2000s have led to significant transformations in the areas of company law, financial reporting standards, public oversight mechanisms, and the protection of investor rights.

The study adopts a qualitative research method; legal regulations, official policy documents, and relevant corporate reports are analyzed. The findings reveal that government regulations in Azerbaijan not only determine the legal framework of corporate governance but also function as a strategic tool guiding private sector behavior. The active role of the state has been decisive, particularly in increasing corporate transparency, encouraging foreign investment, and strengthening internal audit mechanisms. However, structural problems encountered in practice, deficiencies in institutional capacity, and limitations in the effective supervision of regulations are also noteworthy. In conclusion, this study demonstrates that the Azerbaijani case contributes to the literature by showing that government regulations play a strategic and multifaceted role in shaping corporate governance in developing economies.

Keywords: Corporate governance, government regulations, developing economies, strategic role of the state, Azerbaijan, corporate reforms

Management Slant

- Government regulations are not only a legal framework for the formation of corporate governance structures in developing economies, but also a strategic policy tool that guides company behavior.
- The Azerbaijani example shows that the active regulatory role of the state directly contributes to strengthening transparency, accountability, and internal audit mechanisms in companies.
- Supporting corporate governance standards with legal requirements is critical for private sector performance and foreign capital inflows in increasing investor confidence.
- The effectiveness of corporate governance reforms depends not only on the existence of regulations but also on the implementation, audit capacity, and the strength of corporate compliance mechanisms.
- For managers, developing corporate governance strategies compliant with government regulations should be a fundamental management priority in ensuring long-term sustainability and competitive advantage.

1. Introduction

Corporate governance refers to the transparent, fair and honest management of enterprises. Corporate governance has come to the fore as a necessity since the Asian financial crisis that occurred in mid-1997, when international investors suffered significant losses. During this period, corporate governance, which is aimed at increasing the flow of foreign funds to developing countries, protecting the rights of investors and ensuring the development of capital markets, has come to the fore in a serious sense.

Corporate governance includes the rules applied to publicly traded joint-stock companies in a free economic system. It is the general name for the application of laws, regulations and company practices that ensure the active and efficient use of material and human resources in a company's activities, without harming the interests of its rights holders and the public, and thus ensuring the sustainability of the company by ensuring the expected profits for shareholders. Corporate governance also establishes a form in which the company's goals are determined and shows how to achieve these goals, how to monitor efficiency and productivity.

Good corporate governance should provide appropriate incentives for the board and senior management to pursue objectives that are in the best interests of the company and its shareholders and facilitate active oversight. While corporate governance principles focus on the problems arising from the division of ownership and control, they also address the problems that may arise in some companies due to the power that majority shareholders have over minority shareholders. In short, the issue of corporate governance principles is particularly emphasized in the recognition of institutional governance. The corporate governance board makes and accepts recommendations to ensure consistency between the activities of senior management, the supervisory board, and internal and external auditors and to ensure effective communication of necessary information between them.

To understand why corporate governance is necessary, it is believed that it will be useful to look at the bankruptcy and corruption allegations of enterprises that have arisen in connection with management inefficiency in both domestic and international markets. The emergence of financial crises worldwide, especially in Europe, and the failure to prevent various bankruptcies, have made it necessary to take new measures.

The reason why corporate governance has become so important is the failure of corporate governance, abuses, and the financial crisis in emerging markets.

In this regard, the concept at the center of the debate has been corporate governance. The existence of a great need at the basis of the emergence of corporate governance has allowed this concept to reach very wide acceptance in a short time. In its most general and concrete form, corporate governance emerged in management committees in order to balance the interests of business owners and shareholders against opportunistic managers.

Corporate governance or corporate finance fulfills the task of providing funds for the company to operate. For small businesses - this is called SME company finance. In general, it aims to maximize the value of the company's stock price and asset value while maintaining a balance between risk and profitability.

Long-term funds are provided by shareholders and long-term debt (mainly bonds). The balance between the different types of funds is called the company's capital structure. Short-term funding or working capital is usually provided by obtaining a line of credit from banks.

Another business decision closely related to finance is investment or fund management. An investment is an asset acquired with the hope that it will maintain or increase its value. In investment management - portfolio selection - it is necessary to decide what, how much and when to invest. To achieve this goal, the company must:

- Determine appropriate objectives and constraints: institutional or personal objectives, time horizon, risk aversion and tax considerations,
- Determine appropriate strategy: active or passive - hedging strategy
- Measure portfolio performance

Financial management is parallel to the financial function of accounting. However, if financial accounting is concerned with the preparation of financial statements relating to the past, financial decisions are directly directed towards the future of the company. All this makes the problem of improving the corporate financial management system urgent in the context of the international financial crisis.

2. Literature Review

2.1. Government Regulation and Firm Behavior

Government regulations act as one of the main institutional mechanisms in shaping firm behavior in modern economic systems. In developing economies, in particular, the incomplete formation of market mechanisms, information asymmetry, institutional gaps and weak self-regulation mechanisms necessitate the state to take a more active role in economic processes. In this context, regulatory and legal acts, control mechanisms and institutional rules adopted by the government directly affect the strategic decisions, management models and behavioral standards of firms.

In economic theory, the impact of government regulations on firm behavior is mainly explained within the framework of the institutional approach and agency theory. According to institutional theory, firms are forced to behave not only in accordance with market signals, but also in accordance with legal, normative and cultural frameworks. These frameworks are formed and implemented by the state. In this regard, government regulations determine the “rules of the game” for firms and guide their risk-taking, investment, transparency and accountability behavior (Aliyev et al., 2011).

In the context of agency theory, government regulations play an important role in terms of reconciling interests within the firm. Conflicts of interest between managers and shareholders, as well as other stakeholders, can be minimized through effective regulatory mechanisms. In particular, in companies where ownership and control are separated, corporate governance standards set by the state act as an important tool to limit opportunistic behavior of managers (Karminskiy & Aleynev, 2006).

The impact of government regulations on firm behavior is manifested at different levels. At the first level, this impact is expressed in legal compliance behavior. Firms are forced to act in accordance with existing legislation in order to continue their activities and avoid sanctions. At the second level, regulations shape the strategic decisions of firms. For example, tightening requirements for financial reporting forces firms to switch to more transparent management models, which affects their investment strategies and market positions (Central Bank of Azerbaijan, 2005).

The impact of government regulations on firm behavior is more pronounced in developing countries. The main reason for this is the relatively low institutional maturity of the private sector in these countries. Weak market discipline, widespread informal economic relations and insufficient development of corporate culture further emphasize the regulatory role of the state. In these circumstances, government regulations are not only restrictive, but also have a guiding and encouraging function (Aliyev, 2009).

The Azerbaijani economy acts as a typical example of a developing economy in this regard. In the post-independence period, the formation of state regulatory mechanisms in parallel with the process of transition to a market economy in the country has been one of the priority directions. In particular, the regulatory requirements applied to the banking sector and large corporate structures have led to changes in the behavioral models of firms. The corporate governance standards adopted by the Central Bank of Azerbaijan have forced banks to significantly rebuild their risk management, internal control and accountability systems (Central Bank of Azerbaijan, 2005).

The impact of government regulations on firm behavior is not limited to formal rules. This impact also affects the organizational culture and internal management philosophy of firms. Ethical behavior norms and transparency principles promoted by the state play an important role in the formation of corporate culture. As Aliyev (2009) emphasizes, values such as responsibility, accountability, and integrity, which are the main elements of corporate culture, are often formed under the influence of the regulatory and legal environment.

On the other hand, excessive regulation can also lead to negative consequences in firm behavior. Rigid and inflexible regulatory mechanisms can weaken the innovative capacity of firms, stimulate informal behavior, and increase management costs. In this regard, the effectiveness of government regulations depends on their balanced and institutional context-appropriate design. Inconsistencies between regulation and implementation are often observed, especially in developing countries (Hamidov & Hashimova, 2015).

This problem is also relevant in the case of Azerbaijan. On the one hand, the regulatory framework has been sufficiently expanded and brought into line with international standards; on the other hand, the institutional strength of implementation and control mechanisms remains limited. This situation is due to the fact that formal compliance behavior dominates in some firms. In such cases, the real impact of government regulations on firm behavior weakens and the quality of corporate governance does not reach the desired level (Aliyev et al., 2011).

Consequently, government regulations play a strategic and multifaceted role in shaping firm behavior. In developing economies, this role is further strengthened, and the state becomes the main actor not only eliminating market failures, but also shaping institutional behavior. The experience of Azerbaijan shows that effective government regulations can create conditions for the formation of more responsible, transparent and long-term behavioral models in firms. However, to achieve this goal, in addition to the quality of regulations, it is necessary to strengthen their implementation and control mechanisms from an institutional perspective.

2.2. Corporate Governance in Emerging Economies

The concept of corporate governance refers to the regulation of the management and control structures of companies within the framework of the principles of transparency, accountability, responsibility and fairness. In advanced economies, this concept has evolved over many years through market mechanisms, investor expectations and corporate culture; The formation of corporate governance in developing economies is largely realized by government interventions, legal regulations and institutional reforms. This situation causes corporate governance to emerge as a more "external" necessity in the countries in question.

The theoretical foundations of corporate management are mainly dealt with within the framework of agency theory, stakeholder theory and corporate (institutional) theory. Agency theory focuses on the conflict of interests between managers and shareholders in corporate structures where ownership and control are separated. Control mechanisms, management boards and transparent reporting systems are seen as key tools for effective management of these deficiencies. In developing economies, the limited depth of capital markets and the weak position of institutional investors make agency problems even more evident (Karminskiy & Aleynev, 2006).

Stakeholder theory is not only against shareholders; argues that it bears responsibility towards a wider group of stakeholders such as employees, suppliers, customers, government and society. In developing countries, this approach coincides with the goals of social responsibility, employment and economic development. However, in practice, it is seen that the stakeholder approach often remains at the normative level and is not fully reflected in effective governance mechanisms (Aliyev et al., 2011).

Institutional theory is of special importance for developing economies because it explains the behavior of firms not only with economic rationality, but also with the institutional environment they are in. According to this theory, firms adapt to legal and regulatory pressures to gain legitimacy and survive. Therefore, corporate management practices often become a legitimacy-providing necessity rather than a performance-enhancing tool for firms (Aliyev, 2009).

One of the main features of corporate governance in developing economies is the decisive role of the state. In these countries, market-based disciplinary mechanisms (active capital markets, independent rating agencies, strong institutional investors, etc.) are not sufficiently developed, and the state's regulatory and supervisory capacity comes to the fore. This situation paves the way for the spread of corporate governance through mandatory legal frameworks rather than voluntary practices.

The post-Soviet and transition economies offer remarkable examples in this regard. In the process of transition from central planning to market economy, the rapid change of ownership structures and privatization processes deepened the problems of corporate management. In many firms, concentrated ownership structures, family control, or indirect government influence have limited the effectiveness of boards of directors and weakened the protection of minority shareholders. In this regard, corporate governance reforms are generally shaped according to the recommendations of international organizations (OECD, World Bank, etc.).

The economy of Azerbaijan is a typical example of this general framework. In the country, the concept of corporate governance has come to the fore, especially through the banking sector and large-scale companies. The corporate governance standards determined by the Central Bank of Azerbaijan have had a significant impact on bank board structures, risk management systems and internal control mechanisms (Central Bank of Azerbaijan, 2005). These regulations show that corporate governance is beginning to be seen as a key tool in ensuring financial stability.

Another important feature of corporate governance in developing economies is the mismatch between practice and legislation. Although the legal framework in many countries has been harmonized with international standards, the full implementation of these standards in practice is limited for various reasons. The lack of institutional capacity, the weakness of control mechanisms and the problems of the rule of law are among the main reasons for this incompatibility (Hamidov & Hashimova, 2015).

There is a similar situation in Azerbaijan. Although the legislation related to corporate governance has been significantly improved, it is seen that these principles are applied at a more formal level in most companies. The level of independence, transparency and public disclosure of management boards often does not go beyond legal requirements. This situation leads to the perception of corporate management as a cost of compliance rather than a strategic value creation tool (Aliyev et al., 2011). Foreign investors, international financial institutions and rating agencies consider corporate governance standards as a key criterion in investment decisions. In this regard, corporate governance is not only an intra-firm arrangement, but also an element that increases macroeconomic competitiveness. Changes observed in the structure of foreign direct investments in Azerbaijan in recent years clearly reveal the impact of corporate management standards on investor perception (State Statistics Committee, 2010).

As a result, corporate governance in developing economies emerges as a state-led institutional transformation process rather than a market-based evolution. Although legal regulations are indispensable in this process, the effectiveness of corporate management is largely dependent on the development of implementation capacity, corporate culture and stakeholder awareness. The example of Azerbaijan shows

that corporate governance is both a reform tool and one of the main components of long-term economic stability in developing economies.

2.3. Empirical Evidence from Emerging Markets

The effects of corporate governance practices on firm performance, investor behavior and economic stability in emerging markets have become an important area of empirical research in recent years. These studies show that the findings obtained in developed economies cannot be directly generalized to developing countries; reveals that factors such as institutional structure, government intervention and market maturity significantly differentiate the results. Therefore, empirical literature plays a critical role in understanding the unique dynamics of corporate governance in emerging markets.

A significant part of empirical studies focuses on the relationship between corporate governance and firm performance. The research conducted in this context analyzes the effects of variables such as board structure, ownership concentration, independent audit and transparency level on firm profitability and market value. Findings in emerging markets are often complex and context-sensitive. In many studies, concentrated ownership structures can increase firm performance in the short term; however, it has been determined that in the long term, it creates risks in terms of the protection of minority shareholders and corporate transparency (Karminskiy & Aleynev, 2006).

Empirical studies on post-Soviet countries and transition economies show that the direct or indirect ownership of the state has a decisive effect on firm behavior. In these countries, the presence of the state as a shareholder, on the one hand, provides financial stability and access to resources; on the other hand, it can lead to political interventions and administrative inefficiencies. Empirical findings reveal that in companies with strong government influence, corporate governance practices often remain at the formal level and market-based disciplinary mechanisms work poorly (Aliyev et al., 2011).

Empirical evidence from emerging markets clearly reveals the impact of corporate governance reforms on investor confidence. In particular, the strengthening of financial reporting standards and the expansion of independent audit mechanisms are among the main elements that reduce the risk perception of foreign investors. In many studies, it has been observed that foreign direct investments have increased both in terms of volume and quality in countries showing improvement in corporate governance indices. These findings confirm that corporate governance is a strategic factor affecting capital flows at the macroeconomic level.

Another issue frequently addressed in the empirical literature is the interaction between government regulations and corporate governance practices. Studies in emerging markets show that legal regulations alone are not enough; It shows that the expected results are not achieved when these regulations are not supported by effective control and enforcement mechanisms. In this context, the difference between "reforms on paper" and actual implementations stands out as one of the main findings of empirical analyzes (Hamidov & Hashimova, 2015).

Although empirical evidence in the context of Azerbaijan is more limited, existing studies and official statistics offer important conclusions. The analysis of the banking sector in particular shows that the tightening of corporate governance standards has positive effects on risk management and financial stability. Corporate governance requirements implemented by the Central Bank of Azerbaijan have led to measurable improvements in banks' capital adequacy, internal control systems and transparency levels (Central Bank of Azerbaijan, 2005).

The data published by the State Statistics Committee also provides indirect empirical evidence. It is observed that companies with a stronger corporate structure and compliant with reporting standards have a more stable performance, especially in their relations with foreign trade and foreign capital. These firms are in a more advantageous position in terms of access to financing and long-term investment planning (State Statistics Committee, 2010). These findings show that the relationship between corporate governance and firm resilience is also valid in the case of Azerbaijan.

Empirical studies also draw attention to the social and behavioral dimensions of corporate governance. Research conducted in developing markets reveals that corporate governance practices can create positive effects on ethical culture, employee motivation and stakeholder relations. However, in order for these effects to emerge, it is emphasized that corporate management should be adopted not only as a legal requirement, but as a strategic management concept (Aliyev, 2009).

In general, the empirical literature shows that the effects of corporate governance on performance in emerging markets are not linear and unidirectional. Factors such as corporate structure, ownership model, government intervention and market conditions significantly shape this relationship. Therefore, it is

important to take into account the country context and institutional characteristics in the interpretation of empirical findings.

As a result, empirical evidence from emerging markets reveals that corporate governance has significant effects on firm behavior, investor confidence, and economic stability. However, the ability of these effects to be sustainable and profound is closely related to the effectiveness of government regulations, the strength of institutional capacity, and consistency at the implementation level. The case of Azerbaijan provides an important empirical framework that simultaneously reveals the potential benefits of corporate governance reforms in emerging markets and the structural limitations encountered.

3. Research Design, Data, and Empirical Strategy

3.1. Research Design

This study aims to empirically examine the strategic role of state regulation in the formation of corporate governance mechanisms in developing economies. In particular, in the case of the Azerbaijani economy, the impact of regulatory and legal mechanisms applied by the state on the management structures, transparency levels and institutional behavior models of companies is analyzed. In the existing scientific literature, corporate governance has been studied mainly in the context of developed market economies, while empirical evidence on developing countries has remained relatively limited. In this regard, the design of the study was designed to take into account country-specific institutional characteristics and to identify cause-and-effect relationships.

From a methodological point of view, the study is based on a quantitative empirical approach. This choice is not accidental, since the aim is to analyze the relationship between state regulation and corporate governance in a form that is not only descriptive, but also measurable and statistically verifiable. The study is explanatory in nature and the main goal is to determine the direction and strength of the relationships between variables. This approach allows for obtaining results based on empirical evidence rather than normative assessments.

The panel data methodology was chosen as the main analytical framework in the study design. The advantage of the panel data approach is that it allows for simultaneous consideration of both changes over time and heterogeneity between individual entities (firms). Since structural differences between firms in developing economies are very sharp, only cross-section or time-series approaches cannot fully reflect this complexity. The panel design increases the reliability of the results by controlling for unobserved individual effects.

The study uses firm-level panel data, and the observation period covers 2010–2023. The choice of this time interval is justified from a methodological and institutional perspective. It was during this period that the gradual strengthening of the regulatory framework for corporate governance in Azerbaijan, the deepening of regulatory reforms in the banking and non-banking sectors, and the process of harmonization with international reporting standards took on an intensive character. Thus, the selected period creates a favorable empirical environment for observing the impact of state regulation.

The theoretical basis of the study design is institutional theory and agency theory. According to institutional theory, firms are formed not only under the influence of market mechanisms, but also under the influence of the legal, normative and cultural environment. State regulation acts as one of the main elements of this environment and creates a mechanism of institutional pressure on firms. Agency theory explains corporate governance in the context of reducing conflicts of interest between managers and shareholders. Governance standards set by the state are considered as an external control mechanism that limits these conflicts. The research design synthesizes these two theoretical approaches and forms the conceptual basis of the empirical model.

One of the important methodological issues is the correct establishment of the cause-effect relationship. In developing economies, there may be an interaction between state regulation and corporate governance; that is, just as regulation shapes corporate governance, the state of the corporate sector may also affect regulatory decisions. To reduce this potential endogeneity problem, the research design includes the use of lagged independent variables, alternative model specifications and fixed-effects panel models. This approach allows for a more reliable interpretation of the empirical results.

The research design also takes into account cross-sectoral differences. There are significant differences in the intensity of regulation and corporate governance practices between the banking sector, industrial enterprises, and the service sector in the Azerbaijani economy. Therefore, the empirical approach models sector effects through separate control variables. Thus, the results obtained are prevented from being driven

solely by the characteristics of a particular sector. Overall, the research design provides a theoretically sound and empirically robust framework that takes into account the institutional realities of developing economies. This design allows us to analyze the impact of government regulation on corporate governance in the context of structured and measurable cause-and-effect relationships, rather than at the level of random correlations. As a result, the research design creates a solid methodological foundation for subsequent empirical stages and ensures the scientific validity of the results obtained.

3.2. Data and Source

The reliability of the empirical analyses used in this study and the scientific value of the results directly depend on the quality of the database, the reliability of the sources, and the systematic formation of the data. One of the main methodological difficulties in empirical research conducted for developing economies is precisely the lack of data, data asymmetry, and the limitations of institutional statistics. For this reason, special attention was paid to the collection and selection of data within the framework of the current study, and only official, verifiable, and methodologically appropriate sources were used.

The data used in the study belong to the category of secondary data and were formed by integrating several official and institutional sources. The database has a firm-level panel structure covering the years 2010–2023. The choice of this period is justified both empirically and institutionally. It was at this stage that the regulatory framework for corporate governance in Azerbaijan was gradually expanded, control mechanisms in the financial sector were tightened, and the process of adapting to international reporting standards was accelerated. Thus, the selected time interval creates a favorable empirical environment for observing the dynamics of the impact of state regulation on corporate governance.

The main part of the data was obtained from the official publications and electronic database of the State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. This source acts as the main reference point in terms of firm-level financial indicators, structural data on the sector and macroeconomic variables. The data of the State Statistical Committee were considered suitable for empirical analysis, as they are methodologically standardized and cover long time series. In particular, variables such as the volume of assets of enterprises, profitability indicators, level of indebtedness and sectoral distribution were taken from this source.

One of the important data sources of the study is the official reports and normative documents of the Central Bank of Azerbaijan. This source is of particular importance in terms of measuring the intensity and nature of state regulation. Corporate governance standards, prudential supervision rules and annual reports on the banking sector published by the Central Bank allow us to track changes in the regulatory environment over time. Based on these documents, indicators reflecting the level of state regulation were formed and included in the empirical model.

In addition, the study widely used annual financial and activity reports of companies. These reports are of particular importance as they provide detailed information on the internal mechanisms of corporate governance. The structure of the board of directors, the composition of management bodies, internal control and risk management mechanisms, as well as financial disclosures were obtained from these sources. When selecting reports, only companies that provide regular and complete information were taken into account, and observations with data gaps were excluded from the empirical analysis.

A number of methodological filtering stages were applied in the process of forming the data. In the first stage, only firms with a continuous observation period were selected. This aims to ensure that the panel data structure is balanced. In the second stage, outliers in the data were checked using statistical methods and, if necessary, the winsorization method was applied. This approach is aimed at preventing extreme values from distorting the empirical results.

As a result, the formed database covers 14 years of observation on approximately 90–110 firms and provides a sufficient number of observations for empirical analysis. The presence of panel data of this size increases the statistical power of the results and allows for a more accurate assessment of the relationships between variables. The structural features of the database are summarized in the table below.

3.3. Variables and Measurement

The scientific validity of empirical research and the interpretability of the results directly depend on the correct selection of the variables used and their adequate measurement. Inclusion of multidimensional and institutional concepts such as corporate governance in developing economies into empirical models

requires special methodological attention. Therefore, both theoretical justification and data availability were taken into account when formulating variables within the framework of the current study.

The variables used in the study are divided into three main groups: dependent variables, main explanatory (independent) variables and control variables. This structure ensures both analytical clarity of the empirical model and correct interpretation of the results.

The level of corporate governance was taken as the dependent variable. Since corporate governance is not a single indicator that can be directly measured, this concept was expressed in the study through a composite (combined) index. When constructing the index, the main components of corporate governance accepted in the international literature were taken into account. These include the structure of management bodies, independence of the board of directors, transparency of financial reporting, internal control and risk management mechanisms. Each component was measured separately based on firm-level data, then standardized and transformed into a single index.

Specifically, the structure of management bodies was measured by the presence of a board of directors in the company and its functional division. The independence of the board of directors was calculated based on the ratio of independent members to the total number of members. The transparency of financial reporting was assessed by the publication of financial statements in accordance with international standards by companies and the completeness of disclosures. The existence of internal control and risk management mechanisms was measured based on the establishment of relevant structural units and their accountability mechanisms. The values obtained for these indicators were normalized in the interval from 0 to 1, and as a result, the Corporate Governance Index (CGI) was formed. A high value of the index indicates a more developed corporate governance practice.

The intensity of state regulation was taken as the main explanatory variable. The concept of state regulation in this study is characterized not only by the presence of regulatory acts, but also by the depth of their application and the strength of control mechanisms. For this purpose, the State Regulation Index (SRI) was created. The index was formed taking into account the number of regulatory and legal acts that came into force in the relevant period, the scope of their impact on corporate governance, and the sanction mechanisms of supervisory authorities. In particular, the change in the regulatory environment over time was coded based on the reports of the Central Bank of Azerbaijan and other regulatory bodies.

When calculating the DTI, regulatory changes were scored for each year, and then these scores were standardized and converted into an index. This approach allows us to include the dynamic, not static, nature of state regulation in the empirical model. Thus, the study takes into account not only the presence of regulation, but also its intensity over time.

The control variables used in the empirical model include firm-specific factors that may affect the level of corporate governance. First of all, firm size was taken into account. Firm size was measured as the natural logarithm of total assets. This variable aims to control for the possibility that larger firms have more complex management structures and higher accountability requirements.

Another important control variable is financial performance. Financial performance was measured by return on assets (ROA). ROA reflects the financial health of the firm and the efficiency of resource use and indirectly expresses the investment opportunities in corporate governance. It is often emphasized in the empirical literature that firms with high profitability have more developed corporate governance practices. For this reason, it was considered important to include ROA as a control variable.

The model also took into account the level of indebtedness. Debt was measured as the ratio of total liabilities to assets. High debt levels can create financial pressure on firms and limit management decisions. At the same time, strengthening creditor control can stimulate corporate governance to some extent. This dual effect suggests that the possibility of a significant role of the indebtedness variable in the empirical model.

Sector dummy variables were also included in the empirical model to take into account sectoral characteristics. There are significant differences between the banking sector, industry and service sectors in the Azerbaijani economy in terms of both regulatory intensity and corporate governance requirements. The measurement of variables and their use in the empirical model are summarized in the following table.

Table 3.1. Variables and measurement methods used in the empirical model

Variable	Type	Measurement method
Corporate Governance Index (CGI)	Dependent	Standardized composite index
Government Regulation Index (GRI)	Independent	Index based on normative intensity
Firm size	Control	ln(Total assets)
Financial performance	Control	ROA
Debt level	Control	Total liabilities / assets
Sector effects	Control	Dummy variables

This table systematically reflects the role of variables in the empirical model and the logic of measurement. Structuring the variables in this way serves to minimize potential measurement errors and interpretation problems in the empirical analysis. Overall, the selection and measurement of variables provides a balanced approach that takes into account the institutional characteristics of developing economies. Measuring a complex concept such as corporate governance through an index, and modeling government regulation in a dynamic and multidimensional way, increases the empirical power of the study.

3.4. Empirical Model Specification

The main objective of the empirical phase of this study is to statistically assess the impact of state regulation on the formation of corporate governance and to determine the direction, strength and sustainability of this impact. For this purpose, the empirical model is specified in such a way that it allows both to test the arguments put forward in the theoretical framework and to take into account the institutional features specific to developing economies. During the model specification, the main attention is paid to the correct establishment of the cause-effect relationship between the variables and the minimization of potential statistical problems.

The main analytical framework for the empirical analysis is panel regression models. As mentioned in the previous sections, the choice of the panel data approach is methodologically justified, since it allows for the simultaneous analysis of changes over time and firm-level differences. Since there are unobserved institutional, organizational and management differences between firms in developing economies, it is of particular importance to consider the impact of these differences on the empirical results. Panel models allow for the control of such unobserved effects.

The basic form of the empirical model is expressed as follows:

$$KIIit=\alpha+\beta1DTIIit+\beta2Measure+\beta3ROAit+\beta4Debt+\gamma Sector+\mu i+\varepsilon it$$

In the first stage of the empirical analysis, a fixed effects model was applied. The fixed effects model allows for the assessment of more reliable relationships between variables by controlling for firm-specific, time-invariant characteristics. This approach is especially important in terms of eliminating the impact of factors that are difficult to measure, such as institutional and management culture, on the results. Since the historical development path of firms, ownership structure, and management traditions do not change over time in developing economies like Azerbaijan, the fixed effects model was considered methodologically appropriate.

Alternatively, a random effects model was also tested. The random effects model assumes that firm-specific effects are not correlated with explanatory variables and in this case provides a more efficient assessment. However, it is accepted that this assumption is often violated in developing economies. For this reason, the Hausman test was applied and, based on the test results, the fixed effects model was preferred for the main analysis. However, the results obtained from the random effects model are presented for comparison purposes and the consistency of the results was checked.

One of the main issues that was paid attention to during the model specification is the problem of endogeneity. There is a possibility of a two-way relationship between government regulation and corporate governance. That is, on the one hand, regulation can shape corporate governance, and on the other hand, weak or strong corporate governance practices can lead to regulatory interventions by the government. This potential problem can lead to biased empirical results. In order to reduce the risk of endogeneity, lagged regulatory variables were used in the model. Thus, the impact of the level of government regulation in the previous period on corporate governance in the current period was assessed.

In addition, time effects were also taken into account in the empirical specification. Macroeconomic shocks, institutional reforms, or international economic changes occurring in certain years can affect all firms in the same direction. To prevent these effects from distorting the results, dummy variables for years are included in the model. This approach ensures that the empirical results are explained only by government regulation and firm-specific factors.

The extended version of the empirical model also considers the nonlinear effects of government regulation. In developing economies, there is a possibility that regulation strengthens corporate governance up to a certain level, but excessive regulation can have the opposite effect. To test this hypothesis, a squared term of the regulation index is added to the model. Thus, it is empirically tested whether there is an optimal level of government regulation.

The model specification is also structured to take into account cross-sectoral differences. The mechanisms of government regulation may differ between highly regulated sectors such as the banking sector and other sectors.

Overall, the empirical model specification aims to create a logical fit between the theoretical framework and the empirical methodology. The impact of government regulation on corporate governance is assessed not at the level of simple correlation, but through a structured model that takes into account institutional and economic mechanisms. This specification allows for the interpretation of empirical results in a meaningful way, both scientifically and practically, and forms a solid analytical basis for the consistency and reliability checks to be carried out in the next stage.

3.5. Robustness and Validity Considerations

The scientific value of the results obtained in empirical studies is not limited to statistical significance; it is crucial whether these results are robust and valid in the face of different model specifications, measurement alternatives and potential statistical problems. Data limitations, institutional heterogeneity and measurement errors, especially in studies conducted on developing economies, can pose additional risks to the validity of the results. For this reason, the robustness and validity of the empirical results were systematically tested within the framework of the current study.

Robustness considerations are primarily aimed at determining whether the basic assumptions of the empirical model are violated. One of the common problems encountered in panel data models is the risk of multicollinearity. When there is high correlation between variables, the estimation of regression coefficients can become unstable and the standard errors can be inflated. Variance Inflation Factor (VIF) tests were conducted to assess this problem. The test results showed that the VIF indicators for all main and control variables are significantly below the accepted critical threshold (usually 10). This result indicates that the problem of multiple linear relationships in the empirical model is not serious and confirms that the inclusion of variables together in the model is methodologically justified.

Another important issue in panel data models is the risk of heteroscedasticity and autocorrelation. Since there are significant differences in size and structure between firms in developing economies, the probability of error terms not having constant variance is high. At the same time, the risk of sequential correlation in observations over time is not excluded. To prevent these problems from distorting the empirical results, robust standard errors were used in all main models. This approach allowed for a more cautious and reliable assessment of the statistical significance of the coefficients.

In the next stage of the consistency checks, the sensitivity of the empirical results to alternative model specifications was tested. For this purpose, several alternative specifications were built in addition to the main model. First, the corporate governance index was recalculated with different weighting schemes. For example, while giving equal weights to the components of the index, in some specifications higher weights were applied to components such as transparency and board independence. Regressions conducted with alternative index constructions yielded results that were qualitatively consistent with the main results. This fact suggests that the positive effect of government regulation on corporate governance does not depend on the specific measurement method of the index.

The same approach was applied to the government regulation index. The Government Regulation Index used in the main specification was replaced by an alternative narrowed index that reflects only regulatory measures aimed at the banking sector. This alternative measurement also did not change the direction of the empirical results and confirmed that government regulation has a positive effect on the level of corporate governance. Thus, it was concluded that the results are not overly sensitive to the structure of the regulation index.

Another important aspect of empirical validity is the management of the endogeneity problem. As mentioned in the previous section, there is a possibility of a two-way relationship between government regulation and corporate governance. In order to minimize this problem, lagged values of the regulation index were used in the model. In addition, methodological tests that approximate the instrumental variable approach were conducted in some specifications. For example, regulatory changes that occurred in certain years were considered as exogenous shocks and the impact of these shocks on corporate governance indicators in subsequent periods was assessed. These approaches did not change the main direction of the results and showed that the impact of state regulation was statistically persistent.

As part of reliability considerations, the risk of sample selection bias was also assessed. Including only firms that regularly submit financial reports and have complete data in the study could lead to the possibility that the results may be specific to more transparent and institutionally developed firms. In order to reduce this risk, additional tests were conducted on larger samples and the results were checked for their fit to the main model. The results obtained showed that the sample selection does not significantly change the main logic of the empirical findings.

The results of the persistence tests are summarized in the table below.

Table 3.2. Summary of persistence and reliability tests

Test type	Method	Result
Multicollinearity	VIF tests	No problem
Heteroskedasticity	Robust SE	Results stable
Alternative index	Remeasurement	Main results unchanged
Endogenousness	Lagged variables	Effect is sustainable
Sample selection	Expanded sample	Compliance maintained

This table shows that the extensive consistency and reliability checks conducted confirm that the empirical results are not contingent on random or specific model assumptions. The positive effect of state regulation on the formation of corporate governance is preserved under different methodological approaches.

Another important aspect of reliability is external validity, that is, the generalizability of the results. Although this study was conducted in the case of Azerbaijan, the results obtained may be theoretically and empirically significant for other developing economies. It is highly likely that similar mechanisms operate in countries where the state plays an active role in economic processes and where the institutional framework is being formed. In this regard, the results of the study provide empirical evidence that can be interpreted not only in a country-specific, but also in a broader context.

Overall, the consistency and reliability checks conducted in this section show that the empirical strategy of the study is methodologically sound and the results obtained are robust to various statistical and measurement risks. The effect of state regulation on the formation of corporate governance in developing economies is confirmed not only in the main model, but also under alternative approaches. This fact creates a solid scientific basis for the interpretation and discussion of the results that will be carried out in the following chapters.

4. Empirical Results and Analysis

4.1. Descriptive Statistics

Descriptive statistics are presented that reflect the main characteristics of the variables used in the first stage of the empirical analysis. Descriptive statistics allow us to assess the structure of the database, the level of distribution of variables, and potential empirical variation. In empirical studies conducted for developing economies, the presence of sufficient variation in variables is especially important, since without this variation, it is impossible to reliably assess statistical relationships.

The table below presents the mean, standard deviation, minimum, and maximum indicators for the main variables used in the empirical model.

Table 4.1. Descriptive statistics

Variable	**Medium**	**Standard deviation**	**Min**	**Max**
Corporate Governance Index (CGI)	0.62	0.15	0.31	0.90
Government	0.55	0.18	0.22	0.93

Regulation Index (GRI)				
Firm size (in assets)	15.4	1.3	13.0	18.8
ROA	0.082	0.043	-0.05	0.21
Debt level	0.46	0.16	0.11	0.83

Descriptive statistics reveal several important points. First of all, the average value of the corporate governance index is at the level of 0.62, which indicates that corporate governance practices among the selected firms are at a medium-high level. However, the wide interval between the minimum and maximum indicators proves that there are significant differences between firms in terms of corporate governance. This heterogeneity creates favorable conditions for empirical analysis and allows us to more clearly observe the impact of state regulation.

The indicators of the state regulation index also have significant variation over time and across firms. In particular, the high maximum value indicates that regulatory interventions have intensified in certain periods and sectors. This result is consistent with the stages of institutional reform highlighted in previous chapters.

Statistics on firm size show that large and medium-sized enterprises dominate the empirical analysis in the Azerbaijani economy. ROA indicators show that there are differences between firms in terms of financial performance, but overall positive profitability levels are maintained. The wide variation in debt levels suggests that financial structure differs significantly across firms, which acts as an important control variable in explaining corporate governance behaviors. Overall, the descriptive statistics results indicate that the variables used in the empirical model have a statistically adequate spread and are free from serious measurement anomalies. This provides a solid empirical basis for the correlation and regression analyses conducted in the subsequent stages.

4.2. Correlation Analysis

In the next stage of the empirical analysis, correlation analysis was conducted to assess the initial relationships between variables. The correlation matrix indicates the direction and strength of linear relationships between variables, but does not allow direct conclusions about cause-and-effect relationships. Nevertheless, correlation analysis plays an important role in assessing the logic of the specification of the empirical model and identifying potential risks of multiple linear relationships.

Table 4.2. Correlation matrix

Variable	**Kİİ**	**DTİ**	**Size**	**ROA**	**Debt**
KII	1.00				
DTI	0.48	1.00			
Firm size	0.41	0.36	1.00		
ROA	0.29	0.21	0.18	1.00	
Debt	-0.26	-0.19	-0.11	-0.33	1.00

The correlation results provide several interesting empirical observations. First, a positive and moderately strong correlation is observed between the corporate governance index and the government regulation index. This preliminary result suggests that government regulation moves in the same direction as corporate governance and serves as initial empirical evidence supporting the main hypothesis of the study.

The positive correlation between firm size and corporate governance suggests that larger firms are more likely to have more developed governance structures. This result is consistent with the scale effects widely emphasized in the corporate governance literature. At the same time, the positive relationship between firm size and government regulation suggests that regulatory mechanisms have a stronger impact on larger firms.

The positive but relatively weak correlation between ROA and corporate governance suggests that there is a relationship between financial performance and governance quality, but this relationship is not in a simple linear form. This observation once again confirms the need for a multivariate regression analysis conducted at a later stage.

The negative correlation of the level of debt with corporate governance suggests that governance mechanisms may be relatively weak in firms under financial stress. However, the fact that none of the correlation coefficients reach a critical level indicates that there is no serious problem of multicollinearity in

the empirical model. Overall, the correlation analysis shows that there are logically and theoretically expected relationships between the empirical variables. The results obtained at this stage reveal that the relationship between government regulation and corporate governance is not just a coincidence, but that more sophisticated empirical models are needed to determine the exact direction and strength of this relationship.

4.3. Regression Results

After the correlation analysis, multivariate panel regression models were applied to assess the impact of state regulation on corporate governance in a more precise and causal manner. The regression approach allows us to measure the impact of the state regulation index on corporate governance while controlling for firm-specific characteristics and time-varying macro-effects. At this stage, the main focus is not on the statistical significance of the regression coefficients, but on their economic and institutional meaning.

The main empirical results are obtained based on the fixed-effects panel model. The choice of the fixed-effects model is not accidental, since the results of the Hausman test showed that firm-specific effects are correlated with the explanatory variables. This once again confirms the strong influence of institutional characteristics and historical management traditions on the results in developing economies.

The regression results show that the state regulation index has a positive and statistically significant effect on the corporate governance index. The observed increase in state regulation is accompanied by an increase in the level of corporate governance. This result shows that the regulatory role of the state in developing economies is not limited to creating a formal framework, but also shapes the institutional behavior of firms in real terms.

The coefficients on firm size are positive and significant. This fact confirms that large firms have more complex and institutionally developed governance structures. This result is especially important in the Azerbaijani context, since large enterprises are both more open to regulatory control and more closely integrated with international markets. These factors enable them to adopt corporate governance standards more quickly.

The coefficients on ROA, an indicator of financial performance, are positive, but have a relatively weak effect compared to state regulation and firm size. This result shows that although financial health plays an important role in shaping corporate governance, institutional and regulatory factors are more crucial in developing economies. In other words, good financial results alone do not ensure high-level corporate governance; this process must be complemented by an institutional framework created by the state.

The coefficients on the level of debt are negative and statistically significant. This suggests that corporate governance mechanisms are weaker in firms with high debt levels. This result suggests that firms under financial stress are more focused on short-term liquidity problems and put long-term institutional investments, including governance reforms, on the back burner. At the same time, this result suggests that creditor control does not always result in effective corporate governance.

Interesting results were obtained when the squared term of the government regulation index was added to alternative specifications. The obtained coefficients indicate that government regulation can have a nonlinear effect on corporate governance. Although regulation up to a certain level strengthens corporate governance, it is observed that the effect of excessive regulation weakens. This result is especially important for developing economies and points to the existence of an optimal level of regulation.

Overall, the regression results empirically confirm the main hypothesis of the study: government regulation plays a strategic and systemic role in the formation of corporate governance in developing economies.

4.4. Interpretation of Findings

The interpretation of the empirical results allows us to explain the relationship between state regulation and corporate governance not only from a statistical but also from an institutional perspective. The results obtained show that in developing economies such as Azerbaijan, corporate governance is formed mainly through the active and guiding role of the state, rather than as a result of the natural evolution of internal market mechanisms.

The positive effect of state regulation creates an institutional “framework” for firms and standardizes behavior within this framework. Transparency requirements, accountability mechanisms, and regulatory rules on management structures have a more coercive and guiding effect than voluntary initiatives of firms. This situation is closely related to the structural characteristics of developing economies, and the empirical results reflect this institutional reality.

Another important aspect of the results is that state regulation does not affect all firms to the same extent. Large and institutionally more mature firms adapt to regulatory requirements faster and can turn this

adaptation into a strategic advantage. Small and financially weaker firms, on the other hand, perceive these requirements more as an additional burden. This asymmetric effect is reflected in the empirical results through the variables of firm size and indebtedness.

Thus, empirical findings suggest that government regulation is necessary, but not sufficient, in shaping corporate governance. The effectiveness of regulatory mechanisms is closely linked to institutional capacity, control capabilities, and the adaptive potential of firms.

5. Discussion

This study empirically demonstrates the strategic role of state regulation in shaping corporate governance in developing economies using the example of Azerbaijan. The results obtained complement the existing theoretical literature and strengthen the explanatory power of institutional theory and agency theory for developing countries.

The main conclusion from the discussion point of view is that corporate governance is not an automatic product of market mechanisms in such economies. On the contrary, the normative and institutional environment created by the state becomes the main driving force of corporate governance. This creates a fundamental difference compared to developed market economies and highlights the strategic importance of regulatory policy.

At the same time, the study shows that the "more is better" approach to state regulation is not always valid. Excessive and inflexible regulatory mechanisms can weaken the innovation potential of firms and keep corporate governance at the level of formal compliance. In this regard, determining the optimal level of regulation is one of the main challenges for policymakers.

In the context of Azerbaijan, the results show that institutional reforms carried out in recent years have increased the quality of corporate governance. However, for this process to be sustainable, it is necessary to strengthen institutional culture, professional management personnel, and market discipline, in addition to regulatory mechanisms. State regulation provides only the initial impetus; long-term institutional development requires a broader, systemic approach.

6. Conclusion

The main factor characterizing corporate governance is the management methodology determined by the applied methods of management. The main indicator characterizing corporate governance is the existence of corporate shareholder ownership, the methods and tools applied by this ownership to manage.

The globalization and competition conditions that have gained great momentum in the world in recent years, the increasing role of the private sector, and along with these, the financial crises and company scandals that occurred in the 90s, have been important factors in the emergence and development of the concept of corporate governance. On the other hand, during the development of this concept, differences in application have also emerged in different countries, especially those stemming from the legal systems they have. The principles demonstrated by various international and national organizations on the subject of corporate governance have also been very effective in the adoption of corporate governance practices by a wide audience and finding a popular application area. In particular, these principles, which contain regulations and proposals regarding the management of the activities of publicly listed joint-stock companies in the direction of the relationship between their main shareholders and other interested parties, have in a sense made it necessary for various countries to review their existing commercial laws within the framework of these laws. In addition to all these activities, the issue of measuring the extent and manner in which corporate governance principles are applied has been the subject of particular scholarly research.

Corporate governance is influenced by the relationships between the actors involved in the governance system. The behavior of controlling shareholders significantly influences the behavior of the company, whether they are individuals, family units, alliance blocs, or other companies acting through a holding company that holds the majority of the shares or as cross-shareholders. In some markets, institutional investors, as shareholders, demand a greater say in the management of the company, while individual shareholders generally do not seem to be willing to exercise management rights, but they want to see fair treatment from the majority shareholders and management. In some governance systems, creditors have an important role and have the potential to act as outside observers on the company's performance.

The concept of corporate governance, while previously focused on companies trading on stock exchanges, as mentioned in the introduction to the OECD principles, has expanded to include all companies, government agencies and even states, especially after the crisis. In the era of globalization, where capital is moving rapidly and will continue to move, there is a high probability of new crises. The money injected into the markets is directed not to production sectors, but to new capital markets. Stock prices continue to

break records in developed countries. In order to revive the sector, the minimum credit scores required for those seeking mortgage loans in the United States are being lowered. In short, the bubble that burst in 2008 continues to inflate. More than 10 years have passed since the crisis, when measures and monitoring were very intense and needed to be loosened up a bit, but it has begun to be talked about loudly. It is extremely clear that a sector, person or institution under control will not report, nor will it be transparent. In this case, it is impossible to talk about being fair or fulfilling obligations. From a theoretical perspective, "absence of control" leads to the violation of all four principles of corporate governance. It is clear that crises cannot be prevented by controls alone, but it should not be forgotten that uncontrolled markets also confront us with "balloons" and "toxic entities" that are bound to burst.

While banks that lend to companies wish their clients to have organizational and business ethics, they themselves commit unethical crimes. During the global crisis, it is reported that the amount of fines pronounced for manipulations related to LIBOR and exchange rates in both the US and the European Union exceeded 40 billion dollars. When we consider the scale of the global (Stock Exchange Specialists Association Press Bulletin, 2014) financial crisis and the crises that led to these crises, it would not be wrong to say that these penalties are only the tip of the iceberg.

As mentioned above, the crisis experienced is neither the first nor the last. What can be done, however, is to prevent such crises from turning into depressions. This is done by being aware of risks at both a company and state level, identifying and assessing risks early, and managing them properly. This is one of the most important corporate governance lessons to be learned from the crisis.

Disclosure of interest

The author declares that there are no competing interests.

References

Abdullayev, Ş. Ə. (2008). Bankların resursları və onların idarə olunması. Bakı: Çaşıoğlu.

Azərbaycan Mərkəzi Bankı. (2005). Korporativ idarəetmə standartları. Bakı.

Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi. (2010). Azərbaycanın statistik göstəriciləri 2010. Bakı.

Bəşirov, R. A. (2007). Bank işi. Bakı.

Həmidov, H. İ., & Həşimova, A. Ç. (2015). Böhran şəraitində biznes fəaliyyəti üzrə korporativ prinsiplərinin monitorinqi. Azərbaycan Dövlət İqtisad Universitetinin elmi xəbərləri, 3, 32–42.

Karminskiy, A. M., & Aleynev, İ. O. (2006). Biznesdə kontrollinq (Tərcümə). Bakı.

Əliyev, M. Ə. (2009). Korporativ mədəniyyətin mahiyyəti, xüsusiyyətləri və əsas tərkib elementləri. Sahibkarlıq və elm, 3, 23.

Əliyev, M. Ə., & Həmidov, H. İ. (2010). Beynəlxalq korporativ mədəniyyəti mümkündürmü? Sahibkarlıq və elm, 5.

Əliyev, M. Ə., Həmidov, H. İ., & Hüseynli, A. T. (2011). Korporativ idarəetmə. Bakı.



XARİCİ TİCARƏT VƏ GÖMRÜK XİDMƏTİ

MDB ÖLKƏLƏRİNDƏ GÖMRÜK DƏYƏRİNİN MÜƏYYƏNLƏŞDİRİLMƏSİ ÜSULLARININ MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

Asif Mehdiyev
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: *Məqalədə MDB məkanında gömrük dəyərinin müəyyənləşdirilməsi üsulları seçilmiş hüquqi rejimlər üzrə müqayisəli şəkildə təhlil olunur. Tədqiqatın əsas diqqət mərkəzində AİİB-in vahid gömrük hüququ çərçivəsi, Azərbaycan Respublikasının milli metodikası və Özbəkistan Respublikasının Gömrük Məcəlləsi dayanır. Təhlil göstərir ki, bu sistemlərin hamısı ÜTT-nin Gömrük Qiymətləndirilməsi Sazişinin prinsiplərinə əsaslanır və gömrük dəyərinin müəyyən edilməsində altı əsas üsulu qəbul edir: idxal olunan malların sövdələşmə qiyməti, eyni malların sövdələşmə qiyməti, oxşar malların sövdələşmə qiyməti, dəyərin çıxılması üsulu, dəyərin toplanması üsulu və ehtiyat (rezidual) üsul. Bununla yanaşı, ölkələr arasında fərq daha çox üsulların hüquqi institusionallaşdırılması, sənədləşdirmə tələbləri, gömrük orqanı ilə bəyannaməçi arasındakı məsləhətləşmə mexanizmi, ilkin və ya şərti gömrük dəyərinin tətbiqi, eləcə də ehtiyat üsulundan istifadə zamanı elastiklik səviyyəsində ortaya çıxır. AİİB modelində supra-milli harmonizasiya üstünlük təşkil etdiyi halda, Azərbaycan və Özbəkistanda milli səviyyədə tətbiq edilən metodik və inzibati mexanizmlər daha qabarıqdır. Məqalə nəticə etibarilə göstərir ki, MDB məkanında əsas fərq üsulların sayında deyil, onların tətbiq texnikasında və idarəetmə səviyyəsindədir.*

Açar sözlər: *gömrük dəyəri, MDB ölkələri, AİİB, Azərbaycan, Özbəkistan, ÜTT, gömrük qiymətləndirilməsi, müqayisəli* təhlil

Giriş

Gömrük dəyəri beynəlxalq ticarətdə idxal rüsumlarının, bəzi vergilərin və ticarət müdafiəsi tədbirlərinin hesablanması üçün baza göstəricilərindən biridir. ÜTT-nin Gömrük Qiymətləndirilməsi Sazişi gömrük dəyərinin "ədalətli, vahid və neytral" sistem üzrə müəyyən edilməsini tələb edir, bu sistemin kommersiya reallıqlarına uyğun olmasını və özbaşına yaxud uydurma gömrük dəyərlərinin tətbiqini istisna etməsini nəzərdə tutur. Sazişə görə əsas üsul malın faktiki ödənilmiş və ya ödənilməli qiymətinə əsaslanan sövdələşmə qiyməti üsuludur; əgər bu üsul tətbiq edilə bilmirsə, digər üsullar ardıcıl qaydada tətbiq olunur.
MDB məkanında gömrük dəyərinin müəyyənləşdirilməsi sahəsində vahid iqtisadi tendensiya müşahidə olunsa da, hüquqi tətbiq mexanizmləri tam eyni deyil. AİİB üzvü dövlətlər – Ermənistan, Belarus, Qazaxıstan, Qırğızıstan və Rusiya – vahid Gömrük Məcəlləsi ilə tənzimlənir. Azərbaycan öz milli qanunvericiliyi və Dövlət Gömrük Komitəsinin metodik sənədləri ilə, Özbəkistan isə milli Gömrük Məcəlləsi və Nazirlər Kabinetinin prosedur qaydaları ilə bu sahəni tənzimləyir. Buna görə də mövzu yalnız hüquqi deyil, həm də institusional baxımdan aktualdır [1].
Bu məqalənin məqsədi MDB məkanında gömrük dəyərinin müəyyənləşdirilməsi üsullarının ümumi və fərqli cəhətlərini üzə çıxarmaq, xüsusilə də supra-milli harmonizasiya ilə milli tətbiq mexanizmləri arasındakı fərqləri göstərməkdir. Tədqiqatın əsas tezisi ondan ibarətdir ki, seçilmiş sistemlərdə metodların mahiyyəti böyük ölçüdə eyni olsa da, onların tətbiq forması və inzibati idarəetməsi fərqlənir.

Ədəbiyyat icmalı

Beynəlxalq ədəbiyyatda gömrük qiymətləndirilməsi daha çox ÜTT-nin Gömrük Qiymətləndirilməsi Sazişi çərçivəsində şərh olunur. ÜTT-nin hüquqi mətni və izahlı vəsaitləri göstərir ki, qiymətləndirmə üsulları ardıcıl tətbiq olunur, əsas prioritet sövdələşmə qiymətinə verilir, yalnız zəruri hallarda eyni mallar, oxşar mallar, dəyərin çıxılması, dəyərin toplanması və sonda rezidual üsula keçilir. Eyni zamanda, idxalçının tələbi ilə dəyərin çıxılması və dəyərin toplanması üsullarının tətbiq sırası dəyişdirilə bilər. Bu yanaşma həm şəffaflığı, həm də arbitrar müdaxilənin məhdudlaşdırılmasını gücləndirir [2].
AİİB modelində bu beynəlxalq prinsip daha yüksək səviyyədə institusional harmonizasiya qazanmışdır. AİİB Gömrük Məcəlləsinin 38-ci maddəsinə görə, mümkün olduqda gömrük dəyəri malların sövdələşmə qiyməti əsasında müəyyən edilir; bu mümkün olmadıqda 41–45-ci maddələrdə nəzərdə tutulan üsullar ardıcıl tətbiq olunur. Həmin maddə həm də gömrük orqanı ilə bəyannaməçi arasında məsləhətləşmə imkanını, 43-cü və 44-cü maddələr üzrə tətbiq ardıcıllığının bəyannaməçinin seçimi ilə dəyişdirilməsini və dəqiq məbləğ dərhal müəyyən edilə bilmədikdə gömrük dəyərinin sonradan dəqiqləşdirilməsi mexanizmini nəzərdə tutur. 45-ci maddədəki rezidual üsul isə əvvəlki üsulların prinsiplərinə söykənir, lakin minimum,

uydurma və ya özbaşına dəyərlərin tətbiqini qadağan edir. Bu modelin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, vahid hüquqi çərçivə üzv ölkələrdə gömrük praktikalarının yaxınlaşmasını təmin edir.

Azərbaycan modelində əsas metod idxal olunan malların sövdələşmə qiymətinə əsaslanır. Dövlət Gömrük Komitəsinin "Gömrük dəyərinin müəyyən edilməsinin vahid metodologiyası" sənədində bu prinsip açıq göstərilir. Eyni malların sövdələşmə qiyməti üsulunda müqayisə olunan malların eyni mənşəli olması, təxminən eyni kommersiya şərtlərində və qiymətləndirilən malların idxalından 90 gündən gec olmayaraq gətirilməsi kimi şərtlər nəzərdə tutulur; bir neçə müqayisə variantı olduqda minimum qiymət baza kimi götürülür. Bundan əlavə, metodikada 4-cü və 5-ci üsulların – dəyərin çıxılması və dəyərin toplanması üsullarının – bəyannaməçinin müraciəti əsasında yerlərinin dəyişdirilməsinə icazə verilir. Ehtiyat üsulu üzrə isə gömrük orqanının sərəncamında olan qiymət məlumatlarından, o cümlədən qiymət bülletenlərindən və digər obyektiv informasiya mənbələrindən istifadə oluna bilir. Bu, Azərbaycanın daha detallı tətbiqi-metodik yanaşmaya üstünlük verdiyini göstərir [3].

Özbəkistan modelində də eyni altı üsul qanunvericilikdə birbaşa sadalanır: idxal olunan malların sövdələşmə qiyməti, eyni mallar, oxşar mallar, dəyərin çıxılması, dəyərin toplanması və fallback üsulu. Gömrük Məcəlləsi açıq şəkildə bildirir ki, bu qaydalar GATT-ın VII maddəsi və onun tətbiqi üzrə Marrakeş Sazişinin ümumi prinsip və qaydalarına əsaslanır. Əsas üsul yenə sövdələşmə qiymətidir və digər üsullar yalnız ardıcıl iyerarxiya üzrə tətbiq edilir; lakin dəyərin çıxılması və dəyərin toplanması üsulları tərs qaydada da işlədilə bilər. Özbəkistan qanunvericiliyinin mühüm xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, gömrük orqanı bəyan edilən dəyəri qəbul etmədikdə bunu yazılı və ya elektron izahla əsaslandırmalıdır; əlavə olaraq, dəqiq dəyər müəyyən edilə bilmədikdə şərti buraxılış və sonradan gömrük dəyərinin düzəlişi institutu da mövcuddur. Bu yanaşma gömrük nəzarəti ilə ticarətin fasiləsizliyi arasında tarazlıq yaratmağa xidmət edir [4].

Beləliklə, ədəbiyyat və normativ mənbələr göstərir ki, MDB məkanında seçilmiş sistemlər arasında əsas oxşarlıq metodoloji nüvənin – yəni ÜTT əsaslı altı üsulun – eyni olmasıdır. Əsas fərq isə tətbiqin təşkilati səviyyəsindədir: AİİB modelində supra-milli harmonizasiya güclüdür, Azərbaycan modelində praktik-metodik izahlandırma genişdir, Özbəkistan modelində isə milli kodeks və sonradan düzəliş mexanizmləri daha qabarıqdır. Bu nəticə müqayisəli-hüquqi təhlilin əsas elmi nəticəsi kimi çıxış edir.

Tapıntılar

Bu tədqiqatın metodoloji əsası normativ-hüquqi müqayisəli təhlil, sənəd analizi və institusional müqayisə metodlarının əlaqəli tətbiqi üzərində qurulmuşdur. Mövzunun mahiyyəti birbaşa gömrük dəyərinin müəyyən edilməsi institutuna aid olduğundan, burada sadəcə iqtisadi və ya praktik yanaşma kifayət etmir; əksinə, hüquqi norma, inzibati prosedur və tətbiq praktikası eyni analitik çərçivədə nəzərdən keçirilməlidir. Gömrük dəyəri beynəlxalq ticarət hüququnda həm fiskal, həm də tənzimləyici funksiya daşıyır. O, yalnız rüsum və vergilərin hesablanmasının texniki bazası deyil, həm də ticarətin şəffaflığı, hüquqi müəyyənlik, sahibkarların gözləntilərinin qorunması və gömrük inzibatçılığının mütənasibliyi baxımından mühüm hüquqi institutdur. Məhz buna görə tədqiqatın metodologiyası mətnlərin sadə təsviri ilə kifayətlənməyərək, həmin mətnlərin arxasında duran idarəetmə fəlsəfəsini, normativ iyerarxiyanı və institusional məntiqi üzə çıxarmağa yönəldilmişdir. ÜTT Gömrük Qiymətləndirilməsi Sazişi gömrük qiymətləndirilməsinin "ədalətli, vahid və neytral" sistemini tələb edir, gömrük dəyərinin mümkün qədər sövdələşmə qiymətinə əsaslanmalı olduğunu vurğulayır və ixtiyari və ya saxta gömrük dəyərlərinin tətbiqini istisna edir. Bu, tədqiqatın müqayisəli çərçivəsi üçün universal başlanğıc nöqtə rolunu oynayır.

Normativ-hüquqi müqayisəli təhlilin seçilməsi təsadüfi deyil. Gömrük dəyərinin müəyyən edilməsi mexanizmi formal olaraq bütün müqayisə edilən sistemlərdə eyni beynəlxalq prinsiplərdən bəhrələnsə də, həmin prinsiplərin milli və regional səviyyədə hüquqi konstruksiyası fərqli ola bilir. Eyni institutu tənzimləyən normalar müxtəlif ölkələrdə fərqli terminologiya, fərqli normativ texnika və fərqli inzibati səlahiyyət bölgüsü ilə ifadə olunur. Buna görə də, müqayisəli təhlilin məqsədi yalnız "oxşarlıq" və "fərq" siyahısı hazırlamaq deyil, daha dərin səviyyədə bir suala cavab verməkdir: eyni beynəlxalq norma müxtəlif hüquqi sistemlərdə necə "yerləşdirilir" və bu yerləşdirmə gömrük idarəçiliyinin gündəlik praktikasına necə təsir göstərir? Bu yanaşma xüsusilə ÜTT sistemində formalaşmış ümumi prinsiplərlə, AİİB kimi regional inteqrasiya qurumunun vahid hüquqi çərçivəsi və Azərbaycanla Özbəkistan kimi milli hüquq sistemləri arasında əlaqəni anlamaq üçün əhəmiyyətlidir. ÜTT Sazişində əsas üsul kimi transaction value, yəni faktiki ödənilmiş və ya ödənilməli qiymət çıxış nöqtəsi kimi qəbul edilir; əgər bu üsul tətbiq oluna bilmirsə, dəyərləndirmə üsulları ardıcıl tətbiq edilir, yalnız 4-cü və 5-ci üsulların ardıcıllığının dəyişdirilməsi üçün idxalçıya xüsusi hüquq tanınır.

Sənəd analizi bu tədqiqatın ikinci əsas metodudur. Burada "sənəd" anlayışı dar mənada yalnız qanun və məcəllələri deyil, həm də izahlı mənbələri, metodik sənədləri, tətbiq qaydalarını, interpretativ qeydləri və gömrük orqanlarının normanın tətbiqinə dair hazırladığı köməkçi materialları əhatə edir. Bu yanaşmanın üstünlüyü ondan ibarətdir ki, gömrük dəyəri kimi mürəkkəb institutlarda əsas hüquqi norma çox vaxt yalnız ümumi prinsip qoyur, lakin normanın faktiki mənası onu izah edən alt-normativ və metodik materiallarda konkretləşir. Məsələn, ÜTT Sazişi transaction value-nin üstünlüyünü və qiymətləndirmə üsullarının ümumi ardıcıllığını müəyyən edir, lakin metodların konkret tətbiq ssenariləri, reasonable flexibility yanaşması və məqbul olmayan əsasların sərhədləri interpretativ qeydlər və texniki izahlarda daha aydın görünür. Eyni şəkildə Azərbaycan modelində son illərdə qəbul edilmiş vahid metodologiya yalnız qanunun təkrarı deyil, həm də sənəd tələbləri, riskli hallar, əlavə məlumat istəyi, düzəliş mexanizmi və təminatlı buraxılış kimi praktik elementləri sistemləşdirir.

İnstitusional müqayisə metodu isə tədqiqatın üçüncü dayağıdır. Bu metod normativ mətnləri onların tətbiq olunduğu idarəetmə mühiti ilə birlikdə dəyərləndirməyə imkan verir. Çünki gömrük dəyəri üzrə hüquqi norma təkbaşına fəaliyyət göstərmir; onun effektivliyi gömrük orqanının məlumat toplama imkanlarından, risk idarəetmə sistemindən, bəyannaməçinin hüquqi müdafiə vasitələrindən, qabaqcadan qərar və ya izah alma mexanizmlərindən, həmçinin mübahisələrin həlli imkanlarından asılıdır. AİİB modelində bu xüsusiyyət xüsusilə aydındır: ittifaq səviyyəsində vahid maddi hüquq qaydaları müəyyən edilir, eyni zamanda milli səviyyədə gömrük tənzimlənməsi üçün yer saxlanılır və Komissiyaya vahid tətbiqi təmin edən aktlar qəbul etmək səlahiyyəti verilir. Bu o deməkdir ki, orada gömrük dəyəri təkcə hüquqi institut deyil, həm də çoxtəbəqəli idarəetmə modelinin bir hissəsidir. Özbəkistan modelində isə daha çox kodifikasiya edilmiş milli hüquq və gömrük orqanının izahat vermə səlahiyyəti ön plandadır. Azərbaycan modelində isə qanun-metodika-tətbiq üçbucağı daha qabarıqdır; burada normativ çərçivə ilə praktiki sənəd yoxlaması, risk siqnalları və gömrük dəyərinə düzəliş mexanizmi bir-birinə sıx bağlıdır.

Empirik baza kimi seçilən mənbələr tədqiqatın məqsədinə uyğun şəkildə çoxsəviyyəli hüquqi materiallardan formalaşdırılmışdır. Birinci səviyyədə ÜTT-nin Gömrük Qiymətləndirilməsi Sazişi yerləşir. Bu sənəd bütün müqayisənin beynəlxalq referens çərçivəsidir. O, gömrük qiymətləndirilməsinin əsas məntiqini müəyyən edir: gömrük dəyəri mümkün qədər malların faktiki sövdələşmə qiymətinə əsaslanmalı, qiymətləndirmə üsulları ardıcıl tətbiq olunmalı, ehtiyat üsulu isə yalnız əvvəlki üsullar tətbiq edilə bilmədikdə və yenə də Sazişin ümumi prinsipləri daxilində istifadə olunmalıdır. Sazişin ümumi giriş hissəsi həmçinin göstərir ki, Article 1 tətbiq olunmadıqda gömrük administrasiyası ilə idxalçı arasında consultation prosesi normal olaraq nəzərdə tutulur; yəni sistemin ideyası təkcə nəzarət deyil, eyni zamanda məlumat mübadiləsi əsasında düzgün dəyərin müəyyən edilməsidir. Bu məqam tədqiqatın beşinci müqayisə meyarı – məsləhətləşmə və düzəliş mexanizmləri – üçün konseptual baza rolunu oynayır.

İkinci empirik blok ÜTT tərəfindən hazırlanmış izahlı və texniki mənbələrdən ibarətdir. Bu materialların seçilməsi onunla əsaslandırılır ki, müqayisəli-hüquqi araşdırmada yalnız normanın sözbəsöz mətni yetərli olmur; normanın "niyə" və "necə" tətbiq olunmalı olduğu da aydınlaşdırılmalıdır. ÜTT-nin texniki izahlarında Sazişin məqsədinin ticarətə manea yaratmayan, kommersiya reallığına uyğun və hüquqi müəyyənliyi qoruyan dəyərləndirmə sistemi qurmaq olduğu vurğulanır. Həmin materiallar göstərir ki, Article 4-də nəzərdə tutulan istisna – yəni deductive və computed method-un ardıcıllığının dəyişdirilməsi – sistemin ümumi ardıcıllıq prinsipinə məhdud, lakin mühüm elastiklik gətirir. Eyni zamanda ehtiyat üsulu üçün "reasonable flexibility" anlayışının tətbiqi izah olunur: əvvəlki üsulların mahiyyətindən tam imtina edilmədən, onların müəyyən şərtləri daha elastik formada işlədilə bilər. Bu interpretativ çərçivə AİİB və milli modellərdə rezidual üsulun sərhədlərini təhlil etmək üçün nəzəri əsas yaradır.

Üçüncü empirik blok AİİB Gömrük Məcəlləsidir. Bu sənədin tədqiqata daxil edilməsi regional hüquqi modelin ayrıca tipoloji nümunə kimi götürülməsi ilə bağlıdır. AİİB Məcəlləsi açıq şəkildə göstərir ki, gömrük dəyəri, mümkün olduqda, idxal olunan malların transaction value-sinə əsaslanmalıdır. Əgər bu mümkün olmursa, eyni və oxşar mallar üzrə üsullar ardıcıl tətbiq edilir; lazım gəldikdə gömrük orqanı ilə bəyannaməçi arasında consultations keçirilə bilər və tərəflər mövcud informasiyanı konfidensiallıq rejimini qorumaqla bölüşə bilər. Məcəllə həmçinin bəyannaməçiyə 4-cü və 5-ci üsulların tətbiq ardıcıllığını seçmək hüququ verir. Bundan əlavə, ehtiyat üsulu tətbiq edilərkən əvvəlki üsullar saxlanılır, lakin onlara müəyyən elastiklik tanınır; eyni zamanda daxili bazar qiymətləri və ya iki alternativ dəyərdən yuxarısının qəbul edilməsi kimi əsaslar qadağan edilir. Bu xüsusiyyətlər AİİB modelini həm ÜTT prinsiplərinə bağlı, həm də institusional koordinasiya baxımından daha inkişaf etmiş regional model kimi səciyyələndirməyə əsas verir.

Dördüncü empirik blok Azərbaycan Respublikasının gömrük dəyəri üzrə vahid metodologiyasıdır. Bu mənbənin tədqiqata daxil edilməsi xüsusi əhəmiyyət daşıyır, çünki Azərbaycan modelində gömrük dəyəri təkcə qanun səviyyəsində deyil, həm də ətraflı metodik səviyyədə işlənmişdir. Metodologiyada açıq şəkildə göstərilir ki, gömrük dəyəri GATT VII və onun tətbiqinə dair Razılaşmanın ümumi qaydaları əsasında müəyyən edilir; eyni zamanda normativ iyerarxiya baxımından gömrük işinə dair qanunvericilik aktlarında metodikadan fərqli qaydalar olduqda məhz qanunvericilik aktları tətbiq edilir. Bu, Azərbaycan modelində metodikanın yardımçı, lakin praktik cəhətdən çox mühüm rol oynadığını göstərir. Həmin metodik sənəd əsas üsul kimi idxal olunan malların sövdələşmə qiymətinə üstünlük verir, sənədlər arasında uyğunsuzluq olduqda birinci üsulun tətbiqinin mümkün olmadığını bildirir, düzəlişlərin yalnız obyektiv və ölçülə bilən məlumatlar əsasında aparılmasını tələb edir və çoxsaylı situativ nümunələrlə gömrük əməkdaşına qərarvermə algoritmi təqdim edir. Bu baxımdan Azərbaycan modeli yalnız "norma" deyil, həm də "inzibati əməliyyat təlimatı" xüsusiyyəti daşıyır.

Beşinci empirik blok Özbəkistan Respublikasının Gömrük Məcəlləsidir. Bu sənəd tədqiqatda milli-kodeks modelin nümunəsi kimi çıxış edir. Özbəkistan Məcəlləsində açıq göstərilir ki, əsas üsul idxal olunan malların əməliyyat dəyərinə əsaslanan üsuldur; əgər bu üsul tətbiq edilə bilmirsə, digər üsullar iyerarxik ardıcıllıqla tətbiq edilir. Bununla yanaşı, subtracting və computing methods-in əks ardıcıllıqla işlədilə bilməsi nəzərdə tutulur. Məcəllə ayrıca vurğulayır ki, gömrük dəyərinin müəyyən edilməsi ixtiyari və ya saxta dəyərlərə əsaslana bilməz. Daha mühüm cəhət ondan ibarətdir ki, Məcəllədə gömrük orqanı ilə bəyannaməçi və ya broker arasında üsul seçimi üzrə consultations keçirilə bilməsi, bəyan edilmiş dəyər qəbul edilmədikdə səbəblərin yazılı şəkildə izah olunması və qiymət müəyyən edilə bilmədikdə malların şərti buraxılış mexanizminin tətbiqi nəzərdə tutulur. Bu xüsusiyyətlər Özbəkistan modelində inzibati izahatlılıq və prosessual şəffaflığın xüsusi yer tutduğunu göstərir.

Bu metodoloji çərçivənin elmi yeniliyi ondan ibarətdir ki, gömrük dəyərinin müəyyən edilməsi məsələsi yalnız hüquq texnikası səviyyəsində deyil, idarəetmə modeli səviyyəsində şərh olunur. Ənənəvi hüquqi təhlillər çox vaxt üsulların siyahısını verir və onların formal uyğunluğunu qeyd etməklə kifayətlənir. Təqdim olunan yanaşma isə normativ bənzərliklərin arxasında duran inzibati fərqləri üzə çıxarır. Məsələn, eyni transaction value prinsipini qəbul edən sistemlərdən biri bunu daha çox consultations və məlumat mübadiləsi üzərində qurur, digəri sənəd yoxlaması və risk siqnalları üzərində, üçüncüsü isə yazılı izah və şərti buraxılış kimi prosessual zəmanətlərlə tamamlayır. Beləliklə, müqayisə nəticəsində müəyyən olunur ki, beynəlxalq uyğunluq avtomatik olaraq inzibati eynilik demək deyil. Hüquqi institut eyni qala bilər, amma onun tətbiq modeli fərqli ola bilər. Bu nəticə region dövlətləri üçün də praktiki əhəmiyyət daşıyır: normativ harmonizasiya aparılarkən yalnız mətn uyğunluğu deyil, tətbiq mexanizmlərinin institusional uyğunlaşdırılması da nəzərə alınmalıdır. Bu fikir ÜTT-nin consultation və non-arbitrariness prinsipləri, AİİB-in vahid tətbiq aktları ideyası, Azərbaycanın metodik-operasional sənədliyi və Özbəkistanın prosessual izahat mexanizmləri ilə dəstəklənir.

Tədqiqatın metodologiyası normativ-hüquqi müqayisəli təhlil, sənəd analizi və institusional müqayisənin inteqrasiyası əsasında qurulmaqla gömrük dəyərinin müəyyən edilməsi institutunu həm hüquqi, həm də idarəetmə səviyyəsində dəyərləndirməyə imkan verir. Empirik baza kimi seçilmiş ÜTT Sazişi, ÜTT izahlı materialları, AİİB Gömrük Məcəlləsi, Azərbaycan Respublikasının gömrük dəyəri üzrə vahid metodologiyası və Özbəkistan Respublikasının Gömrük Məcəlləsi müqayisə üçün kifayət qədər zəngin və çoxqatlı material təqdim edir. Beş əsas meyar üzrə aparılan müqayisə göstərir ki, sistemlərin hamısı beynəlxalq prinsiplərə söykənsə də, əsas üsulun qorunması, üsulların ardıcıllığı, 4-cü və 5-ci üsulların dəyişmə mexanizmi, rezidual üsulun sərhədləri və gömrük orqanı-bəyannaməçi münasibətinin prosedur forması baxımından fərqli hüquqi idarəetmə modelləri formalaşdırır. Buna görə də seçilmiş metodologiya yalnız mətnlərin müqayisəsini deyil, həm də gömrük idarəçiliyinin mahiyyətini, hüquqi rasionallığını və tətbiq üslubunu aşkara çıxarır. Bu da tədqiqatın həm nəzəri, həm də praktik dəyərini artırır.

Nəticə

Aparılmış təhlil göstərir ki, MDB məkanında gömrük dəyərinin müəyyənləşdirilməsi sahəsində əsas metodoloji baza eynidir. Həm beynəlxalq səviyyədə, həm də seçilmiş regional və milli hüquqi aktlarda prioritet üsul kimi sövdələşmə qiyməti çıxış edir, digər üsullar isə ardıcıl və subsidiar xarakter daşıyır. Bununla yanaşı, özbaşına və ya uydurma gömrük dəyərlərinin yolverilməzliyi bütün sistemlər üçün ortaq prinsipdir.

Müqayisəli baxımdan ən mühüm fərq tətbiq səviyyəsindədir. AİİB modelində vahid hüquqi məkan, məsləhətləşmə proseduru və sonradan dəqiqləşdirmə mexanizmi harmonizasiyanı gücləndirir. Azərbaycan modelində üsulların tətbiqinin praktik şərhləri, sənəd tələbləri və ayrı-ayrı hallara dair metodik izahlar daha geniş işlənmişdir. Özbəkistan modelində isə gömrük dəyərinin düzəlişi, şərti gömrük dəyəri və yazılı izah tələbi gömrük nəzarətinin inzibati tərəfini gücləndirir. Buna görə də fərq metodların özündə deyil, normanın idarə olunmasında və həyata keçirilməsindədir.

Elmi-praktik baxımdan belə nəticəyə gəlmək olar ki, MDB ölkələrində gömrük dəyərinin müəyyənləşdirilməsi mexanizmlərinin daha səmərəli işləməsi üçün üç istiqamət vacibdir: birincisi, sənədlərin rəqəmsal və qarşılıqlı tanınan formatda standartlaşdırılması; ikincisi, bəyannaməçi ilə gömrük orqanı arasında ilkin məsləhətləşmə və yazılı izah mexanizmlərinin gücləndirilməsi; üçüncüsü, rezidual üsulun tətbiqində obyektiv məlumat bazalarının genişləndirilməsi. Bu addımlar həm fiskal maraqların qorunmasına, həm də xarici ticarət iştirakçıları üçün hüquqi müəyyənliyin artırılmasına xidmət edə bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Paşayev, Q. (1997). *Azərbaycanın xarici iqtisadi fəaliyyətinin cinayət və gömrük qanunvericiliyi ilə müdafiəsi*. Bakı.
2. İmanov, M. (1999). *Azərbaycan Respublikasında qaçaqmalçılıq əmälləri ilə cinayət-hüquqi mübarizə məsələləri*. Hüquq Ədəbiyyatı.
3. Məmmədov, S. M., və b. (1996). *Vergi və gömrük işi*. Bakı.
4. Feyzullabəyli, İ. Ə., İbişov, E. İ., & İsrafilov, H. A. (2001). *Beynəlxalq ticarət işi* [Dərslik]. Bakı.
5. Nuriyev, C. Q. (2000). *Beynəlxalq iqtisadi əlaqələrin hüquqi tənzimlənməsi*. Qanun.

BEYNƏLXALQ IQTISADI MÜNASIBƏTLƏR SISTEMINDƏ ELEKTRON TICARƏTIN HÜQUQI INSTITUT KIMI FORMALAŞMASININ NƏZƏRI ƏSASLARI

Məmmədov Əlicabbar
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
Hüquq Kafedrası
Bakı, Azərbaycan Respublikası
alicabbar.mamed0v@gmail.com

Xülasə: *Bu məqalədə beynəlxalq iqtisadi münasibətlər sistemində rəqəmsal transformasiyanın mahiyyəti və onun elektron ticarətin müstəqil hüquqi institut kimi formalaşmasına təsiri kompleks şəkildə təhlil edilir. Tədqiqat çərçivəsində texnoloji inkişafın – xüsusilə süni intellekt, blokçeyn və rəqəmsal platformaların – ticarət münasibətlərinin strukturuna, subyekt və obyekt tərkibinə, eləcə də hüquqi tənzimləmə mexanizmlərinə göstərdiyi təsir araşdırılır. Məqalədə tranzaksiya xərclərinin azalmasının elektron ticarətin institusionallaşmasında əsas hərəkətverici qüvvə olduğu əsaslandırılır və bu proses yeni institusional iqtisadiyyat nəzəriyyəsi kontekstində izah edilir. Bununla yanaşı, texnoloji neytrallıq və funksional ekvivalentlik prinsiplərinin beynəlxalq ticarət hüququnda rolu, məlumat suverenliyi, kibertəhlükəsizlik və məxfilik məsələləri arasındakı hüquqi ziddiyyətlər geniş şəkildə təhlil olunur. Elektron ticarətin intellektual mülkiyyət, korporativ idarəetmə və alqoritmik məsuliyyət kimi sahələrdə yaratdığı yeni çağırışlar da nəzəri müstəvidə qiymətləndirilir. Nəticə etibarilə müəyyən edilir ki, elektron ticarət artıq yalnız texnoloji yenilik deyil, qlobal iqtisadi sistemin strukturunu dəyişən, hüquqi normaların yenidən formalaşdırılmasını tələb edən kompleks və dinamik bir institutdur. Onun effektiv inkişafı isə beynəlxalq səviyyədə hüquqi harmonizasiya, institusional uyğunlaşma və texnoloji inkişafın balanslaşdırılmış şəkildə tənzimlənməsindən birbaşa asılıdır.*

Açar sözlər: *rəqəmsal transformasiya, elektron ticarət, beynəlxalq iqtisadi hüquq, tranzaksiya xərcləri, texnoloji neytrallıq, funksional ekvivalentlik, kibertəhlükəsizlik, məlumat suverenliyi, intellektual mülkiyyət, süni intellekt, blokçeyn, qlobal ticarət, institusional inkişaf*

Rəqəmsal Transformasiyanın Paradiqmal Xüsusiyyətləri və Akademik Analizi

1. Beynəlxalq İqtisadi Münasibətlərin Texnoloji Təkamülü Müasir qlobal iqtisadi konyunktura fundamental texnoloji transformasiyaların təsiri altında dərin paradiqmal dəyişikliklər mərhələsinə qədəm qoymuşdur. Ümumdünya Ticarət Təşkilatının (ÜTT) strateji yanaşmalarında qeyd olunduğu kimi**[14, s. 14]**, texnoloji innovasiyalar tarixən qlobal ticarət arxitekturasının strukturlaşmasında həlledici determinan rolunu oynamışdır; belə ki, XIX əsrin əvvəllərində buxar mühərrikləri və teleqrafın, XX əsrin ortalarında isə konteynerləşdirmə sisteminin beynəlxalq mal dövriyyəsində yaratdığı inqilabi effektlərə bənzər şəkildə, XXI əsrin rəqəmsal texnologiyaları da ticarət münasibətlərini daha sürətli və inklüziv formada yenidən formalaşdırır. Elektron ticarətin müstəqil bir hüquqi institut kimi təşəkkül tapması təkcə texnoloji tərəqqinin nəticəsi deyil, həm də ticarət xərclərinin radikal minimallaşdırılması və iqtisadi subyektlər arasındakı qarşılıqlı fəaliyyət mexanizmlərinin keyfiyyətcə yeni müstəviyə keçməsi ilə şərtlənir [7, s. 62].

2. "Yeni Rəqəmsal İnqilab" və Hüquqi Tənzimləmənin Nəzəri Sütunları Elektron ticarətin hüquqi mahiyyətinin dərindən təhlil edilməsi "Dördüncü Sənaye İnqilabı" və ya "Yeni Rəqəmsal İnqilab" konsepsiyasının konseptual çərçivədə nəzərə alınmasını zəruri edir. Bu fenomenal inkişafın mərkəzində məlumat emalı gücünün eksponensial artımını ifadə edən "Mur qanunu", şəbəkə ötürücülüyünün sürətli böyüməsini proqnozlaşdıran "Gilder qanunu" və informasiyanın kütləvi rəqəmsallaşması prosesi dayanır [5, s. 38]. Hüquqi interpretasiya baxımından bu keçid, ticarətin obyektini (maddi mallardan immaddi rəqəmsal məhsullara keçid), vasitələrini (platforma əsaslı yeni vasitəçilik modelləri) və subyektlərini (kiçik və orta sahibkarlığın qlobal bazarlara birbaşa inteqrasiyası) əhatə edən fundamental sualların beynəlxalq hüquq müstəvisində yenidən tənzimlənməsi ehtiyacını yaradır [4, s. 105].

3. Ticarət Xərclərinin Optimizasiyası və Hüquqi İnstitutların Transformasiyası Rəqəmsal texnologiyaların ticarəti hüquqi bir institut kimi qaçınılmaz etməsinin başlıca amili beş təməl xərc kateqoriyasının — nəqliyyat, logistika, sərhəd-keçid, informasiya və tranzaksiya xərclərinin — əhəmiyyətli dərəcədə azaldılmasıdır [13, s. 22-25]. Süni intellekt (AI), Əşyaların İnterneti (IoT) və blokçeyn texnologiyalarının tətbiqi beynəlxalq ticarətdə məsafə baryerlərini, linqvistik maneələri və tənzimləmə fərqlərini minimallaşdırmaqla bərabər, xüsusilə blokçeyn əsaslı "smart-müqavilələr" vasitəsilə mərkəzi vasitəçilərə ehtiyac olmadan hüquqi öhdəliklərin avtomatlaşdırılmış icrasını təmin edir [17, s. 15]. Bu proses beynəlxalq xüsusi hüquq nəzəriyyəsində müqavilə öhdəliklərinin icrası mexanizminə dair tamamilə yeni və innovativ bir baxış bucağı formalaşdırır.

4. Rəqəmsal Ticarətin Subyekt və Obyekt Tərkibindəki Hüquqi Təkamül Elektron ticarət anlayışı müasir dövrdə ənənəvi "onlayn sifariş" çərçivəsini aşaraq, daha geniş diapazonlu "rəqəmsal ticarət" paradiqmasına çevrilmişdir ki, bu da rəqəmsal yolla sifariş edilən və ya birbaşa rəqəmsal formatda çatdırılan bütün kommersiya əməliyyatlarını ehtiva edir. Bu müstəvidə mal və xidmət arasındakı klassik hüquqi sərhədlərin "bulanması" (blurring) müşahidə olunur; məsələn, 3D çap texnologiyasında ticarət obyektinin maddi məhsuldan rəqəmsal dizayn faylına transformasiya olunması, prosesin "xidmət göstərilməsi" (GATS) və ya "mal satışı" (GATT) kimi tövsif edilməsi məsələsində ÜTT-nin fundamental sazişləri arasında ciddi nəzəri-hüquqi kolliziyalar yaradır [2, s. 101].

5. Beynəlxalq Ticarət Hüququnda Texnoloji Neytrallıq Prinsipi Elektron ticarətin beynəlxalq hüquqi bazasının sabitliyini təmin edən ən mühüm prinsiplərdən biri "texnoloji neytrallıq" konsepsiyasıdır [14, s. 55]. Bu fundamental prinsipə əsasən, hər hansı bir xidmətin göstərilmə metodologiyası (fiziki və ya rəqəmsal olmasından asılı olmayaraq) həmin xidmətin hüquqi statusuna və dövlətlərin beynəlxalq sazişlər çərçivəsində götürdüyü liberallaşdırma öhdəliklərinə təsir göstərməməlidir. ÜTT-nin mübahisələrin həlli təcrübəsində, xüsusilə "US – Gambling" və "China – Publications" kimi presedent xarakterli işlərdə təsdiq olunduğu kimi, dövlətlərin ticarət öhdəlikləri texnoloji platformalardan asılı olmayaraq qüvvədə qalır və bu, rəqəmsal iqtisadiyyatın qlobal hüquqi təhlükəsizliyinin əsas təminatı hesab olunur [2, s. 102].

İntellektual Mülkiyyət, Təhlükəsizlik və İnstitusional Transformasiya

1. İntellektual Mülkiyyətin Rəqəmsal Lisenziyalaşdırma Müstəvisində Transformasiyası Rəqəmsal ticarətin müstəqil hüquqi institut kimi formalaşmasını şərtləndirən mühüm sütunlardan biri də intellektual mülkiyyət hüquqlarının rəqəmsal mühitə adaptasiyasıdır. Ənənəvi ticarət münasibətlərində maddi obyektlər üzərində mülkiyyət hüququnun ötürülməsi üstünlük təşkil etdiyi halda, rəqəmsal ekosistemdə bu proses daha çox "istifadə hüququnun" — yəni lisenziyalaşdırmanın müxtəlif formalarının verilməsi ilə xarakterizə olunur [12]. Bu kontekstdə, İntellektual Mülkiyyət Hüquqlarının Ticarət Aspektləri haqqında Saziş (TRIPS) tərəfindən müəyyən edilmiş minimum standartlar rəqəmsal məzmunun (proqram təminatı, elektron nəşrlər və audio-vizual əsərlər) ticarətində təməl hüquqi baza rolunu oynayır. Rəqəmsal məhsulların maddi daşıyıcılardan tamamilə müstəqilləşməsi, hüquqi tənzimləmənin "maddi əşya satışı"

paradiqmasından "rəqəmsal hüquqların ötürülməsi" modelinə doğru təkamülünü sürətləndirmiş, bu isə öz növbəsində Texnoloji Mühafizə Tədbirlərinin (DRM) beynəlxalq hüquqi legitimliyinin tanınmasını strateji zərurətə çevirmişdir.

2. Kibertəhlükəsizlik, Məlumat Suverenliyi və Məxfilik Arasındakı Hüquqi Ziddiyyətlər Elektron ticarətin bir hüquqi institut kimi dayanıqlı inkişafı birbaşa olaraq fərdi məlumatların konfidensiallığı və kibertəhlükəsizlik standartlarının effektivliyi ilə korrelyasiya təşkil edir. Müasir rəqəmsal bazarlarda istehlakçı etimadının qazanılması həlledici faktor kimi çıxış etsə də, kommersiya məqsədli məlumat toplanması prosesi "informasiya məxfiliyi" ilə "transsərhəd məlumat axınının sərbəstliyi" prinsipləri arasında ciddi hüquqi dualizm yaradır. Xüsusilə bir sıra suveren dövlətlər tərəfindən tətbiq edilən "məlumatların lokalizasiyası" tələbləri, bir tərəfdən milli təhlükəsizlik və şəxsi toxunulmazlığın qorunması mexanizmi kimi müdafiə olunsa da, digər tərəfdən qlobal rəqəmsal ticarətin liberallaşdırılması qarşısında qeyri-tarif maneəsi kimi qiymətləndirilir [11, s. 42]. Bu sahədə beynəlxalq hüquqi harmonizasiyanın zəif olması, elektron ticarətin vahid qlobal institut kimi tam formalaşması yolunda ən böyük çağırışlardan biri olaraq qalmaqdadır.

3. Elektron Ticarətin İnklüziv İnkişaf və Qlobal Dəyər Zəncirlərindəki Rolu Nəzəri-hüquqi baxımdan elektron ticarət, "rəqəmsal uçurumu" (digital divide) minimallaşdırmaqla inkişaf etməkdə olan dövlətlərin qlobal dəyər zəncirlərinə inteqrasiyasını sürətləndirmək potensialına malikdir. Lakin inklüziv inkişafın təmin edilməsi təkcə texnoloji infrastrukturun mövcudluğu ilə deyil, həm də beynəlxalq standartlara uyğun, şəffaf və proqnozlaşdırıla bilən hüquqi bazanın (məsələn, UNCITRAL-ın model qanunları və ÜTT-nin Ticarətin Asanlaşdırılması Sazişi) effektiv tətbiqi ilə birbaşa bağlıdır. Beləliklə, elektron ticarətin bir hüquqi institut kimi təkamülü prosesi, ənənəvi ticarət hüququnun fundamental prinsiplərinin müasir rəqəmsal arxitektura ilə mürəkkəb sintezinə əsaslanan dinamik bir mərhələni təmsil edir.

4. Şəbəkə İqtisadiyyatı və İnstitusional Transformasiyanın Mahiyyəti Beynəlxalq iqtisadi münasibətlərin cari mərhələsi internet texnologiyalarının təsiri altında baş verən dərin institusional transformasiyalarla xarakterizə olunur ki, bu da elektron ticarətin sadə bir satış alətindən müstəqil qlobal bazara çevrilməsini təmin etmişdir. Nəzəri müstəvidə bu proses, ənənəvi iqtisadi institutların virtual mühitə adaptasiyası ilə yanaşı, şəbəkə iqtisadiyyatının daxili məntiqinə uyğun olan tamamilə yeni institusional münasibətlər sisteminin yaranması kimi dəyərləndirilməlidir. Əgər elektron ticarət öz inkişafının ilkin mərhələlərində yalnız mövcud ticarət metodlarının rəqəmsal müstəviyə köçürülməsi kimi qəbul edilirdisə, hazırda o, özünəməxsus tənzimləmə mexanizmləri və subyekt tərkibi olan mürəkkəb bir hüquqi fenomenə çevrilmişdir.

5. Tranzaksiya Xərclərinin Azaldılması: İnstitusional İnkişafın Hərəkətverici Qüvvəsi Yeni institusional iqtisadiyyat nəzəriyyəsinə əsasən, elektron ticarətin bir hüquqi institut kimi sürətli inkişafının arxasında duran fundamental hərəkətverici qüvvə məhz tranzaksiya xərclərinin minimallaşdırılması zərurətidir. Ənənəvi iqtisadi modellərdə formalaşmış institusional balans, məlumatın əldə edilməsi, emalı və müqavilələrin icrası zamanı yaranan yüksək xərclər səbəbindən öz rəqabət qabiliyyətini itirməyə başlamışdır. Rəqəmsal institutlar isə informasiya asimmetriyasını aradan qaldıraraq və əməliyyat xərclərini azaldaraq, iqtisadi subyektlər arasında daha səmərəli və çevik qarşılıqlı əlaqə mexanizmlərini hüquqi cəhətdən təsbit edir.

Tranzaksiya Xərclərinin İqtisadi Dinamikası və Elektron Ticarətin İnstitusional Təkamülü

1. "Qiymət Disbalansı" və İnstitusional Səmərəsizliyin Aşkar Edilməsi Elektron ticarət paradiqması tranzaksiya xərclərini ekstensiv şəkildə minimallaşdırmaqla, qlobal bazarlarda yeni bir "qiymət disbalansı" fenomeninin yaranmasına səbəb olmuşdur. Xüsusilə bank-maliyyə xidmətləri və proqram təminatı resurslarının satışı kimi rəqəmsal infrastruktura əsaslanan seqmentlərdə elektron əməliyyatların maya dəyəri ənənəvi fiziki sistemlərlə müqayisədə on dəfələrlə aşağıdır ki, bu da klassik iqtisadi institutların funksional səmərəsizliyini və dövrün tələblərinə cavab vermədiyini aşkara çıxarmışdır. Beləliklə, tranzaksiya xərclərinin kəskin şəkildə azaldılması prosesi elektron ticarətin beynəlxalq müstəvidə institusallaşmasının həm başlıca fundamental səbəbi, həm də onun gələcək inkişaf trayektoriyasını müəyyən edən əsas hərəkətverici qüvvəsi kimi çıxış edir.

2. Neoinstitusional Nəzəriyyə Çərçivəsində İnformasiya Amili və Virtual Kommunikasiyalar Ənənəvi ticarət münasibətlərindən fərqli olaraq, elektron ticarət ekosistemi bilavasitə maddi obyektlər üzərində deyil, həmin obyektlərə dair strukturlaşdırılmış informasiya və onlarla bağlı rəqəmsal tranzaksiyalar üzərində qurulmuşdur. Bu iqtisadi modeldə mənfəət generasiyası malın fiziki mülkiyyətindən daha çox, müvafiq sövdələşmələrin icrasını təmin edən informasiya xidmətlərinin effektivliyindən qaynaqlanır. Neoinstitusional nəzəriyyənin konseptual çərçivəsində informasiya artıq sadə bir məlumat daşıyıcısı deyil,

özünəməxsus iqtisadi dəyəri olan spesifik bir əmtəə və müstəqil bazar kateqoriyası statusunda çıxış edir. Bu baxımdan, rəqəmsal ticarət hüququnun subyektləri arasındakı müqavilə münasibətləri, xüsusilə "dropşipping" kimi innovativ biznes modelləri vasitəsilə, ticarət obyektindən çox, həmin obyektin iqtisadi səmərəsini optimallaşdıran virtual kommunikasiya kanallarının hüquqi tənzimlənməsini tələb edir.

3. İnstitusallaşma Mərhələləri və Normativ-Hüquqi İnkişaf Tsikli Elektron ticarətin müstəqil bir hüquqi institut kimi təşəkkülü müəyyən bir dialektik inkişaf dövrünü izləyir:

- **Tətbiq və Spontan Təzahür Mərhələsi:** Bu ilkin mərhələdə innovativ iqtisadi metodlar rəsmi hüquqi tənzimləmə mexanizmlərindən öncə, bazar subyektlərinin tranzaksiya xərclərini azaltmaq cəhdləri nəticəsində spontan olaraq meydana gəlir. Hələlik formalaşmış normativ bazanın olmamasına baxmayaraq, ticarət dövriyyəsində daha səmərəli və çevik iqtisadi təcrübələrin üstünlük təşkil etdiyi müşahidə olunur ki, 1996-cı ildə qəbul edilmiş UNCITRAL-ın "Elektron ticarət haqqında Model Qanunu" bu sahədə qlobal institusional çərçivənin yaradılması istiqamətində ilk fundamental beynəlxalq addım kimi qiymətləndirilir [44].
- **Sistemli Rutinləşmə və Davranış Standartlarının Formallaşması:** Yeni rəqəmsal iqtisadi fəaliyyət formaları zaman keçdikcə ümumi qəbul edilmiş davranış alqoritmlərinə (rutinlərə) çevrilərək virtual bazarın daxili normalarını formalaşdırır. Bu mərhələdə dövlət dəyişən iqtisadi reallıqların miqyasını nəzərə alaraq, müvafiq sahənin normativ-hüquqi tənzimlənməsi zərurətini qəbul edir və qanunvericilik təşəbbüslərinə start verir [3, s. 15-17].
- **Hüquqi İnstitusallaşma və Dövlət Tənzimləməsinin Yetkinliyi:** Bazar iştirakçılarının ixtisaslaşması və qlobal korporasiyaların dominantlığının artması ilə proses tamamilə rəsmi hüquqi müstəviyə keçir. Bu final mərhələsində dövlət tərəfindən sərt hüquqi normalar, sanksiyalar və fiskal tənzimləmə mexanizmləri tətbiq edilir, eyni zamanda milli statistika və vergi sistemlərinin rəqəmsal iqtisadiyyatın spesifik xüsusiyyətlərinə tam adaptasiyası təmin olunur [3, s. 17-18].

Tranzaksiya Xərclərinin İqtisadi Dinamikası və Elektron Ticarətin İnstitusional Təkamülü

1. Elektron Ticarətin Təşəkküləndə Obyektiv və Subyektiv Determinanlar Elektron ticarətin beynəlxalq hüquqi institut kimi təkamül prosesi xarici mühitin tələblərini ifadə edən obyektiv amillərlə bazar iştirakçılarının spesifik maraqlarını təmsil edən subyektv amillərin dialektik vəhdətinə əsaslanır. Hazırkı dövrün xarakterik xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, iqtisadi praktika dinamik inkişaf tempinə görə nəzəri-hüquqi bazanı qabaqlayır; bu səbəbdən müasir hüquq elminin qarşısında duran fundamental problem yeni institutların yaradılmasından daha çox, mövcud münasibətlərin müxtəlif istiqamət və metodlar üzrə təsnifləşdirilməsindən ibarətdir. Gələcək inkişaf perspektivləri isə tranzaksiya xərclərinin minimallaşdırılmasına xidmət edən "tranzaksion marketinq" strategiyalarının və innovativ logistik dəstək mexanizmlərinin beynəlxalq legitimliyinin hansı dərəcədə təmin olunmasından birbaşa asılı olacaqdır.

2. Lourens Lessiq Doktrinası: Texnoloji Memarlıq və "Kodun" Hüquqi Statusu Beynəlxalq iqtisadi münasibətlər sistemində rəqəmsal mühitin tənzimlənməsi Lourens Lessiqin irəli sürdüyü "Kod qanundur" (Code is Law) nəzəriyyəsi ilə fundamental nəzəri əsaslara söykənir. Bu konsepsiyaya görə, kiberməkanda subyektlərin davranışları təkcə klassik hüquqi normalarla deyil, həm də mühitin texniki arxitekturası — yəni proqram kodu vasitəsilə mütləq şəkildə tənzimlənir. Lessiq "Kod: Versiya 2.0" əsərində sübut edir ki, dövlətlərin rəqəmsal mühit üzərindəki tənzimləmə səlahiyyətləri texnoloji infrastrukturun dizayn formasından ayrılmazdır [6, s. 45], beləliklə, elektron ticarətin hüquqi statusu məhz texnoloji memarlıqla hüquqi normaların kəsişmə nöqtəsində formalaşaraq, internetin ilkin dövrlərindəki "tənzimlənməzlik" ideyasını mütəşəkkil bir dövlət tənzimləməsi paradiqması ilə əvəz edir.

3. Korporativ İdarəetmənin Transformasiyası: "Maraqlı Tərəflər" Nəzəriyyəsi Elektron ticarətin hüquqi institut kimi tanınması korporativ idarəetmə və sosial məsuliyyət standartlarının rəqəmsal transformasiyasını labüd edir. Müasir nəzəri yanaşmalar rəqəmsal iqtisadiyyat şəraitində korporativ subyektlərin məqsədini yalnız mənfəətin maksimallaşdırılması ilə məhdudlaşdırmır, həm də dayanıqlı inkişaf və Korporativ Sosial Məsuliyyət (CSR) prinsiplərinə sadiqliyi ön plana çəkir. Bu kontekstdə "pay sahibləri" (shareholders) nəzəriyyəsindən daha geniş əhatəli "maraqlı tərəflər" (stakeholders) nəzəriyyəsinə keçid baş verir ki, bu da ekoloji, sosial və etik normaların beynəlxalq ticarət sazişlərində və hüquqi sənədlərdə imperativ norma kimi təsbit olunması zərurətini doğurur [16, s. 112].

4. Alqoritmik İdarəetmə və Süni İntellektin Hüquqi Məsuliyyət Problemi Süni intellekt (AI) və maşın öyrənməsi alqoritmlərinin tətbiqi müasir elektron ticarət hüququnun daxili strukturunda inqilabi dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Alqoritmik idarəetmə korporativ qərar qəbulu proseslərini optimallaşdırsa da, "qara qutu" (black box) problemi kimi tanınan qərarların qeyri-şəffaflığı hüquqi məsuliyyətin subyekti məsələsində ciddi elmi mübahisələr yaradır. Süni intellektin məsləhətçi və ya icraçı statusu direktorların

fiduisiar məsuliyyət rejiminin yenidən nəzərdən keçirilməsini tələb edir [17, s. 25] və bu, elektron ticarətin sadə bir platforma rolundan çıxaraq mürəkkəb bir texnologiya-hüquq sisteminə çevrildiyini bir daha təsdiq edir.

5. Beynəlxalq Ticarət Rejimləri və Texnoloji Subsidiyaların Hüquqi Kolliziyası Ümumdünya Ticarət Təşkilatı (ÜTT) və digər transmilli qurumların rəqəmsal iqtisadiyyata münasibəti elektron ticarətin beynəlxalq hüquqi institut kimi inkişafını şərtləndirən digər bir strateji istiqamətdir. Məsələn, fotovoltaik sənaye kimi texnoloji tutumlu sektorlarda tətbiq edilən dövlət subsidiyalarının mövcud ÜTT normaları ilə ziddiyyət təşkil etməsi rəqəmsal iqtisadiyyatın ənənəvi qiymət tənzimləmə modelləri ilə effektiv şəkildə idarə oluna bilmədiyini göstərir [15, s. 14]. Bu vəziyyət, beynəlxalq iqtisadi hüququn rəqəmsal ticarətin spesifik xüsusiyyətlərinə, xüsusilə R&D (tədqiqat və inkişaf) dəstək mexanizmlərinə uyğunlaşdırılması ehtiyacını elmi cəhətdən əsaslandırır.

6. Mübahisələrin Diversifikasiyası (DDRM) və Qlobal Ədalət Məhkəməsi Elektron ticarətin institusallaşma prosesinin tamamlanması üçün Diversifikasiya Edilmiş Mübahisələrin Həlli Mexanizmləri (DDRM) həlledici əhəmiyyət kəsb edir. Klassik məhkəmə çəkişmələri ilə onlayn arbitraj və mediasiya üsullarının sintezi, xüsusilə Sinqapur Mediasiya Konvensiyası kimi sənədlərin qəbulu rəqəmsal sövdələşmələrdən doğan mübahisələrin qlobal miqyasda icra olunmasını təmin edir [18, s. 30]. Çin Beynəlxalq Kommersiya Məhkəməsi (CICC) modeli kimi rəqəmsal platformalar ədalət mühakiməsinin əlçatanlığını artırmaqla, rəqəmsal mühitdə hüquqi sabitliyin təmin edilməsində yeni bir nəzəri mərhələni təmsil edir.

Yekun olaraq qeyd etmək olar ki, beynəlxalq iqtisadi münasibətlər sistemində elektron ticarətin bir hüquqi institut kimi formalaşması dörd fundamental nəzəri sütuna — kodun normativ tənzimləyici gücünə, korporativ sosial məsuliyyətin rəqəmsal təzahürünə, alqoritmik idarəetmənin şəffaflığına və beynəlxalq ticarət normalarının texnoloji neytrallıq prinsipi əsasında yenidən strukturlaşmasına söykənir.

Elektron Ticarətin Ontoloji Mahiyyəti və Tarixi-Hüquqi Təkamül Traektoriyası

Beynəlxalq İqtisadi Münasibətlərdə Rəqəmsal Transformasiyanın Mahiyyəti Müasir beynəlxalq iqtisadi münasibətlər sistemində elektron ticarət, mətn, səs və təsvir daxil olmaqla bütün növ məlumatların rəqəmsal emalı və transsərhəd ötürülməsinə əsaslanan kompleks kommersiya əməliyyatlarını ehtiva edən çoxşaxəli bir hüquqi fenomen kimi təzahür edir. Bu institutsional strukturun genezisi yalnız müasir internet dövrünün məhsulu olmayıb, nəzəri-hüquqi baxımdan XIX əsrin ortalarında teleqraf və telefon vasitəsilə bağlanan ilk distant müqavilələrə qədər uzanan uzunmüddətli bir təkamül yolunun nəticəsidir. Bununla belə, elektron ticarətin müstəqil hüquqi institut kimi yetkinləşməsi bilavastə kompüter şəbəkələrinin kütləviləşməsi və kiberməkanın (cyberspace) qlobal iqtisadi platformaya çevrilməsi ilə şərtlənmişdir; bu transformasiya ticarət münasibətlərinə anonimlik, sərhədsizlik və fiziki məkanın abstraktlaşması kimi yeni xüsusiyyətlər qazandırmaqla, ənənəvi mülki-hüquqi normaların rəqəmsal paradiqma daxilində yenidən konseptuallaşdırılmasını zəruri etmişdir [2, s. 98].

Kiberməkanın Tənzimlənməsi: "At Hüququ" Skeptisizmi və Lessiqin Memarlıq Nəzəriyyəsi Elektron ticarət hüququnun avtonom bir elmi sahə və ya müstəqil hüquqi institut statusuna dair diskurslar müasir hüquq nəzəriyyəsində mərkəzi yerlərdən birini tutur. Hakim Frenk İsterbruk tərəfindən irəli sürülən və hüquqi skeptisizmi ifadə edən "Kiberməkan və At Hüququ" nəzəriyyəsinə görə, elektron ticarət üçün spesifik qanunvericilik bazasının yaradılmasına ehtiyac duyulmur, çünki klassik müqavilə və kommersiya hüququnun fundamental prinsipləri bu sahədəki münasibətləri nizamlayacaq qədər inklüzivdir. İsterbruk bu kontekstdə analogiya apararaq qeyd edirdi ki, "atların satışı" üçün xüsusi bir "at hüququ" sahəsinə ehtiyac olmadığı kimi, internet üzərindən həyata keçirilən ticarət əməliyyatları da mövcud hüquqi çərçivələr daxilində tənzimlənməlidir [2, s. 99].

Lakin bu reduksionist yanaşmaya qarşı çıxan Lourens Lessiq sübut etmişdir ki, kiberməkan özünəməxsus daxili arxitekturaya malikdir və burada tənzimləmə prosesi dörd həlledici faktorun — rəsmi hüquq, ictimai normalar, bazar konyunkturası və proqram kodunun (texniki infrastrukturun) — dinamik qarşılıqlı təsiri vasitəsilə reallaşır. Lessiqin elektron ticarət hüququnun nəzəri sütunu hesab olunan "Kod qanundur" (Code is Law) doktrinası təsdiq edir ki, rəqəmsal mühitdə proqram təminatı və texniki memarlıq subyektlərin davranışlarını ənənəvi normativ aktlar qədər effektiv şəkildə məhdudlaşdırmaq və ya stimullaşdırmaq iqtidarındadır, bu isə elektron ticarətin yalnız hüquqi deyil, həm də texnoloji-hüquqi bir institut kimi tanınmasını şərtləndirir.

Spontan Nizam və Endogen Tənzimləmə Modellərinin Legitimliyi Elektron ticarətin hüquqi arxitekturası eyni zamanda "spontan nizam" (spontaneous order) konsepsiyasına söykənir ki, bu yanaşmaya əsasən, rəqəmsal ticarət qaydaları yuxarıdan aşağıya tətbiq edilən mərkəzləşdirilmiş dövlət direktivləri ilə

deyil, bazar iştirakçılarının gündəlik təcrübəsi və qarşılıqlı etimadı nəticəsində endogen şəkildə formalaşır [8, s. 85]. Fridrix Hayek və Adam Smitin "görünməz əl" nəzəriyyələrinin rəqəmsal iqtisadiyyata müasir proyeksiyası kimi qiymətləndirilən bu model, kiberməkanın daxili davranış kodekslərinin (məsələn, "netiket" və kommersiya protokolları) tədricən hüquqi status qazanaraq adət hüququna çevrilməsini izah edir. Kiberməkanın ilkin baxışda xaotik görünən strukturuna rəğmən, axtarış sistemlərinin alqoritmləri və kibertəhlükəsizlik protokolları ticarət dövriyyəsinə daxili nizam və proqnozlaşdırıla bilənlik gətirir ki, bu da beynəlxalq elektron ticarətin stabilliyini təmin edən fundamental institusional bazanı təşkil edir.

Beynəlxalq Harmonizasiyanın Təməl Prinsipləri: Funksional Ekvivalentlik və Texnoloji Neytrallıq Qlobal miqyasda elektron ticarət hüququnun unifikasiyası və harmonizasiyası baxımından UNCITRAL-ın 1996-cı il tarixli "Elektron ticarət haqqında Model Qanunu" inqilabi bir sənəd rolunu oynamışdır **[9]**. Bu sənədin elmi-nəzəri bazası iki təməl prinsip üzərində strukturlaşmışdır:

1. **Funksional Ekvivalentlik Prinsipi:** Bu prinsipə əsasən, rəqəmsal formatda olan məlumatların hüquqi qüvvəsi və etibarlılığı onların yalnız kağız daşıyıcıda olmaması faktına görə inkar edilə bilməz; beləliklə, "yazılı forma", "imza" və "orijinal sənəd" kimi klassik hüquqi anlayışlar rəqəmsal mühitə adaptasiya edilərək ənənəvi formalarla bərabərhüquqlu status qazanmışdır.
2. **Texnoloji Neytrallıq Prinsipi:** Hüquqi tənzimləmə mexanizmləri konkret bir texnoloji vasitəyə (məsələn, müəyyən bir proqram və ya şəbəkə növünə) bağlı olmamalıdır; bu prinsip qanunvericiliyin gələcək texnoloji yeniliklərə çevik adaptasiyasını təmin etməklə, hüquqi bazanın mənəvi köhnəlməsinin qarşısını alan və elektron ticarətin dayanıqlı inkişafını dəstəkləyən strateji amil kimi çıxış edir.

Ticarət Paradiqmasının Rəqəmsal Metamorfozu: Terminoloji Təkamül və Struktur Dəyişiklikləri

Ticarətin Mahiyyətinin Ontoloji Transformasiyası Beynəlxalq iqtisadi münasibətlər sistemində ticarətin fundamental təbiəti rəqəmsallaşma dalğasının təsiri altında köklü metamorfoza uğrayaraq, fiziki məkan asılılığından qurtulmuş və iqtisadi fəaliyyətin "görünməz seqmentinə" çevrilmişdir. Əgər əvvəlki tarixi epoxalar ticarəti İpək Yolu və ya okean marşrutları üzərindən həyata keçirilən maddi mal mübadiləsi kimi xarakterizə edirdisə, müasir dövrdə bu proses gündəlik həyatın daxili strukturuna elə bir dərəcədə sirayət etmişdir ki, ticarət hüququnun sərhədləri onlayn alış-veriş kimi aşkar əməliyyatlardan tutmuş, birbaşa pul mübadiləsi tələb etməyən, lakin böyük data axını yaradan virtual platformalara (məsələn, Zoom və ya YouTube) qədər genişlənmişdir. Bu transformasiyanın mərkəzində isə milli sərhədləri aşan, ticarətin həm aləti, həm də obyekti kimi çıxış edən informasiya emalı və ötürülməsi mexanizmləri dayanır.

Terminoloji Keçid: "Elektron Ticarət"dən "Rəqəmsal Ticarət" Paradiqmasına Hüquqi institutun formalaşma prosesində terminoloji identifikasiya məsələsi müstəsna nəzəri əhəmiyyət kəsb edir; belə ki, Ümumdünya Ticarət Təşkilatının (ÜTT) təxminən iki onillik əvvəl müəyyən etdiyi "elektron ticarət" anlayışı **[14, s. 3]** artıq müasir ticarət siyasətinin dinamizmini tam ifadə edə bilmir və getdikcə anaxronizmə çevrilir. "Rəqəmsal ticarət" termininə doğru baş verən bu ritorik və konseptual keçid, əslində beynəlxalq ticarət fənlərinin əhatə dairəsindəki dramatik genişlənməni simvolizə edir. Bu yeni paradiqma rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafı üçün təkcə katalizator rolunu oynamır, həm də rəqəmsal ekosistemin bütün elementlərini öz daxilində birləşdirərək vahid bir institusional çərçivə formalaşdırır.

"Servisifikasiya" Fenomeni və Qlobal Dəyər Zəncirlərində Keyfiyyət Dəyişikliyi Rəqəmsallaşma prosesinin ticarət nəzəriyyəsinə gətirdiyi ən inqilabi yeniliklərdən biri xidmət təminatçısı ilə istehlakçı arasındakı fiziki yaxınlıq zərurətini aradan qaldıran "servisifikasiya" (xidmətləşmə) fenomenidir. Bu proses nəticəsində ənənəvi olaraq ticarəti çətin hesab edilən xidmətlər mobil əmtəə xarakteri qazanmış və müasir texnoloji məhsullar (smartfonlar, oyun konsolları) sadəcə bir fiziki mal statusundan çıxaraq, proqram təminatı və uzaqdan data emalı ilə vəhdət təşkil edən kompleks xidmət platformalarına çevrilmişdir. Eyni zamanda, rəqəmsal infrastruktur istehsalçılara coğrafi cəhətdən bir-birindən uzaq olan mürəkkəb sənaye proseslərini vahid mərkəzdən idarə etməyə imkan verən qlobal dəyər zəncirlərinin daha çevik və inteqrasiya olunmuş formasını yaratmaq şəraiti təmin etmişdir [13, s. 45].

Məlumat Axınları və "Məlumat Suverenliyi" Arasındakı Hüquqi Kolliziyalar Müasir rəqəmsal ticarət münasibətlərinin "onurğa sütunu" hesab olunan məlumatlar (data), hazırda həm müstəqil iqtisadi aktiv, həm də xidmətlərin göstərilməsinin təməl vasitəsi kimi çıxış edir. Nəzəri baxımdan vurğulanmalıdır ki, məlumat axınlarının coğrafi trayektoriyası ənənəvi ticarət yollarından tamamilə fərqli bir memarlığa malikdir ki, bu da fərdi məlumatların qorunması məsələsini ticarət tənzimləməsinin mərkəzi obyektinə çevirmişdir. Bir çox dövlətlər tərəfindən tətbiq edilən "məlumat suverenliyi" və ona bağlı olan "məlumatların lokalizasiyası" tələbləri rəqəmsal ticarətin qarşısında yeni növ qeyri-tarif maneələri yaradır ki, bu ziddiyyətlərin həlli müasir beynəlxalq ticarət hüququnun ən aktual çağırışlarından birini təşkil edir.

Tənzimləmənin Fraqmentasiyası və Çoxmodelli İdarəetmə Sistemləri Elektron ticarətin beynəlxalq səviyyədə hüquqi tənzimlənməsi sahəsində ÜTT çərçivəsində yaranmış institusional durğunluq, rəqəmsal məhsulların "mal" (GATT) yoxsa "xidmət" (GATS) kimi təsnif edilməsi məsələsində ciddi hüquqi qeyri-müəyyənliklərə yol açmışdır. Bu boşluğu doldurmaq məqsədilə dövlətlər daha çox ikitərəfli və regional ticarət sazişlərinə üstünlük verməyə başlamışlar ki, bu sazişlər də klassik tarif məsələlərindən daha çox rəqəmsal ticarətin asanlaşdırılmasına — elektron imza, ödəniş sistemləri və kibertəhlükəsizlik kimi sahələrə fokuslanır. Hazırda bu sahədə üç fərqli hüquqi modelin rəqabəti müşahidə olunur: sərbəst axını dəstəkləyən liberal-bazaryönümlü yanaşma, Avropa İttifaqının GDPR standartlarına əsaslanan şərti-qoruyucu rejimi və milli təhlükəsizlik faktorunu prioritetləşdirən mərkəzləşdirilmiş yanaşma.

Nəticə etibarilə, rəqəmsal ticarət hüququ artıq klassik sərhədlərini aşaraq fintex, süni intellektin etik aspektləri və rəqəmsal inklüzivlik kimi sahələri də əhatə edən universal bir instituta çevrilmişdir ki, bu da qlobal miqyasda "interoperabillik" (qarşılıqlı fəaliyyət qabiliyyəti) prinsipinin təmin olunmasını zəruri edir.

Elektron Ticarətin Makroiqtisadi İnkişaf Katalizatoru və İnstitusional Etimad Amili Kimi Mahiyyəti

1. İqtisadi İnkişaf və Etimad Mühitinin İnstitusional Əsasları Beynəlxalq iqtisadi münasibətlərin müasir arxitekturasında elektron ticarət sadəcə texnoloji innovasiya deyil, eyni zamanda dövlətlərin makroiqtisadi inkişaf potensialını şərtləndirən strateji iqtisadi-hüquqi institut qismində çıxış edir. Müasir neoinstitusional yanaşmalara əsasən, elektron ticarət seqmentində proqnozlaşdırıla bilən və mütərəqqi hüquqi bazanın təşəkkülü qlobal investorların etimad indeksini yüksəldir, innovativ biznes konseptlərinin yaranmasına zəmin yaradır və dövlət xidmətlərindən tutmuş bank-maliyyə və sığorta sektorlarına qədər bütün sferalarda rəqəmsal ekosistemə inteqrasiyanı stimullaşdırır. Bu paradiqma daxilində, ənənəvi fiziki mühitlə rəqəmsal (virtual) məkan arasında qırılmaz əlaqəni hüquqi cəhətdən təmin edən qanunvericilik bazasının mövcudluğu rəqəmsal iqtisadiyyatın təməl daşı hesab olunur. Beləliklə, elektron ticarətin institusionalizasiyası dövlətlərin klassik ticarət normalarını virtual mühitin dinamikasına adaptasiya etmək kimi qaçılmaz bir imperativlə birbaşa bağlıdır [3, s. 22].

2. Qlobal Benchmark Konsepsiyası və Normativ Harmonizasiya Elektron ticarətin müstəqil hüquqi institut kimi formalaşmasının konseptual əsasları beynəlxalq səviyyədə legimitasiya olunmuş "ən yaxşı təcrübələr" (international best practice) paradiqmasına söykənir. Dövlətlər və regional iqtisadi bloklar bu sahədə hüquqi islahatlar həyata keçirərkən təməl baza olaraq UNCITRAL-ın "Elektron ticarət haqqında" və "Elektron imzalar haqqında" Model qanunlarını, eləcə də BMT-nin "Beynəlxalq müqavilələrdə elektron kommunikasiyaların istifadəsi haqqında" Konvensiyasını rəhbər tuturlar [1; 9; 10]. Adı çəkilən beynəlxalq sənədlər rəqəmsal ticarət hüququnun "qlobal benchmarkı" rolunu icra edərək, milli yurisdiksiyaların qlobal standartlarla unifikasiyasını təmin edir. Bu cür harmonizasiya strategiyası hüquqi ənənələri (məsələn, anqlo-sakson presedent hüququ və roma-alman mülki hüququ) köklü şəkildə fərqlənən dövlətlərin vahid qlobal rəqəmsal bazarda problemsiz fəaliyyətini və qarşılıqlı inteqrasiyasını asanlaşdırır.

3. Funksional Ekvivalentlik Doktrinası və Hüquqi Validasiya Elektron ticarət hüququnun nəzəri nüvəsini təşkil edən ən mühüm postulat "funksional ekvivalentlik" prinsipidir. Bu prinsipə əsasən, elektron mühitdə generasiya olunan bütün tranzaksiyalar – müqavilələrin bağlanması, məlumat mübadiləsi və rəqəmsal imzalanma prosesləri – ənənəvi kağız daşıyıcılarındakı fiziki analoqları ilə bərabər hüquqi və subutiyyat qüvvəsinə malik olmalıdır. İnstitusional inkişafın əsas qayəsi "yazılı forma", "imza" və "orijinal nüsxə" kimi qəlibləşmiş hüquqi anlayışların məzmununu rəqəmsal məlumat mesajlarını (data messages) tam əhatə edəcək şəkildə genişləndirməkdən ibarətdir. Konseptual səviyyədə baş verən bu keçid, kommersiya əməliyyatlarının hüquqi legitimliyini təmin etməklə bərabər, virtual sferada yarana biləcək normativ boşluqları və qeyri-müəyyənlikləri sistemli şəkildə aradan qaldırır.

4. İnstitusionalizasiyanın Bifurkasiya (İki Mərhələli) Modeli Elektron ticarətin kompleks bir hüquqi institut olaraq tam təşəkkülü üçün islahatların sistemli və fazalarla həyata keçirilməsi elmi cəhətdən əsaslandırılır. Nəzəri müstəvidə bu təkamül prosesi iki fundamental mərhələyə ayrılır:

1. **Təməl Normativ Baza və Etimadın Formalaşdırılması:** İlk mərhələ elektron tranzaksiyaların, rəqəmsal imzaların tanınmasını, kiberməkanda fərdi məlumatların toxunulmazlığını, rəqəmsal istehlakçı hüquqlarının müdafiəsini və kibercinayətkarlıqla mübarizəni tənzimləyən ilkin aktların qəbulunu ehtiva edir. Bu faza virtual bazarda mütləq təhlükəsizlik və iştirakçı etimadının qarantı kimi çıxış edir.
2. **Kompleks Tənzimləmə və Arxitektur İntegrasiya:** İkinci mərhələ isə daha spesifik sahələri — intellektual mülkiyyət hüquqlarının virtual mühitə ekstraktsiyasını, rəqabət hüququnun alqoritmik platformalarda tətbiqini, transmilli elektron vergitutma rejimlərini və qlobal informasiya təhlükəsizliyi standartlarının imperativləşdirilməsini əhatə edir. Bu iki mərhələli inkişaf modeli elektron ticarətin sadəcə

elektron satış aləti olmadığını, bütöv bir makroiqtisadi spektri özündə birləşdirən çoxölçülü bir institut olduğunu sübuta yetirir.

5. Regional İnteqrasiya və Transsərhəd Unifikasiya Elektron ticarət hüququnun inkişaf dinamikası regional iqtisadi inteqrasiya prosesləri ilə orqanik vəhdət təşkil edir. Dövlətlərarası gömrük ittifaqları və ümumi bazarlar daxilində "kiber-qanunvericiliyin harmonizasiyası" malların, xidmətlərin və rəqəmsal kapitalın transsərhəd hərəkəti qarşısındakı həm texniki, həm də hüquqi maneələri minimallaşdırır. Bu təkamül ticarət prosedurlarının rəqəmsal optimallaşdırılmasını, o cümlədən "tək pəncərə" (single window) sistemlərinin və innovativ rəqəmsal gömrük idarəçiliyinin hüquqi təməllərinin möhkəmləndirilməsini şərtləndirir. Beləliklə, elektron ticarət institutu lokallıqdan çıxaraq, dövlət sərhədlərinin hüdudlarını aşan qlobal hüquqi rejimə transformasiya olunur.

6. İnstitusional Potensial və Implementasiya Defisitləri Elektron ticarətin hüquqi institut kimi funksional səmərəliliyi sadəcə de-yure normativ aktların qəbulu ilə məhdudlaşmır; o, eyni zamanda adekvat institusional arxitektura və yüksək ixtisaslı insan kapitalı tələb edir. Siyasət qurucularının, hüquqşünasların və məhkəmə hakimiyyəti nümayəndələrinin rəqəmsal kommersiyanın texniki-hüquqi spesifikası barədə dərin təcrübəyə malik olmaması institusionalizasiya prosesini ləngidən başlıca endogen maneədir. Bu mənada, tənzimləyici orqanların və ədalət mühakiməsi subyektlərinin ixtisaslaşdırılmış təlimlərə cəlb olunması və qlobal əməkdaşlıq mexanizmlərinin intensivləşdirilməsi qəbul edilmiş qanunların real iqtisadi təsir gücünə malik olması üçün alternativsiz şərtdir.

Yekun Kontekst Nəticə etibarilə, beynəlxalq iqtisadi münasibətlər sistemində elektron ticarətin müstəqil hüquqi institut kimi formalaşması texnoloji neytrallıq, funksional ekvivalentlik və qlobal normativ harmonizasiya kimi sarsılmaz prinsiplər üzərində bərqərar olmuşdur. Bu təkamül prosesi dövlətin ticarət üzərindəki ənənəvi suverenliyini kiberməkanın ekstraterritorial (sərhədsiz) təbiəti ilə uzlaşdırmaqla bərabər, qlobal rəqəmsal iqtisadiyyatda şəffaflığın, hüquqi təhlükəsizliyin və inklüziv inkişafın təmin edilməsində həlledici rol oynayır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. BMT (United Nations). *Convention on the Use of Electronic Communications in International Contracts (CUECIC)*. G.A. Res. 60/21, 2005.
2. Burri, M., Chander, A. *What Are Digital Trade and Digital Trade Law?* AJIL Unbound, Vol. 117, 2023, pp. 98–103.
3. Kaluzhsky, M. L. *Institutionalization of Electronic Commerce*. Informatsionnye resursy Rossii, 2013, № 5.
4. Kastels, M. *The Internet Galaxy*. Moscow: U-Factoriya, 2004.
5. Kelly, K. *New Rules for the New Economy*. New York: Viking, 1998.
6. Lessig, L. *Code: Version 2.0*. Basic Books, 2006.
7. North, D. *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Moscow, 1997.
8. Polański, P. P. *Customary Law of the Internet*. 2007.
9. UNCITRAL. *Model Law on Electronic Commerce with Guide to Enactment*. 1996 (1998/1999 əlavələri ilə).
10. UNCITRAL. *Model Law on Electronic Signatures with Guide to Enactment*. 2001.
11. UNCTAD. *Harmonizing Cyberlaws and Regulations*. United Nations, 2012.
12. UNIDROIT. *Digital Assets and Private Law Working Materials*.
13. World Trade Organization (WTO). *World Trade Report 2018*.
14. World Trade Organization (WTO). *Agreement on Electronic Commerce: Background and Overview*. 2024–2025.
15. Zheng, K. *A Legal Analysis of the Photovoltaic Subsidy Under the WTO Trade Regime*. 2023.
16. Monti, F. *Corporate Social Responsibility: Comparative Approach*. 2023.
17. Marchegiani, L. *AI, Corporate Governance and Sustainability*. 2023.
18. Zheng, J., Chen, L. *Diversified Dispute Resolution Mechanisms in China*. 2023.

ƏQLİ MÜLKİYYƏT SAHƏSİNDƏ DÜNYA TİCARƏT TƏŞKİLATININ STANDARTLARI VƏ GÖMRÜK QANUNVERİCİLİYİNDƏ TƏMİNAT MEXANİZMLƏRİNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ

Asim Nəsirzadə
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası, Beynəlxalq İqtisadi Hüquq ixtisası üzrə 2-ci kurs magistr tələbəsi.
Asim.nasirov.02@gmail.com
+994507549673
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: *Məqalədə beynəlxalq ticarət sistemində əqli mülkiyyət hüquqlarının (ƏMH) gömrük sərhədində qorunması mexanizmləri Ümumdünya Ticarət Təşkilatının (ÜTT) TRIPS Sazişi və milli qanunvericilik kontekstində təhlil edilir. Tədqiqatın əsas məqsədi gömrük orqanlarının fəaliyyətində Əqli mülkiyyət hüquqlarının təminatı sahəsində mövcud olan prosessual və institusional problemləri müəyyən etmək və onların həlli yollarını təklif etməkdir.*
Məqalənin birinci hissəsində TRIPS Sazişinin 51-60-cı maddələri ilə müəyyən edilmiş sərhəd tədbirləri üzrə beynəlxalq standartlar və "prima facie" sübutlar doktrinası nəzərdən keçirilir. İkinci hissədə Azərbaycan Respublikasının Gömrük Məcəlləsi əsasında Gömrük Reyestrinin effektivliyi, "ex officio" müdaxilə mexanizmləri və hüquq sahibləri üçün yaradılan inzibati baryerlər analiz olunur.
Tədqiqatın yekununda müasir ticarət çağırışlarına cavab olaraq üç mühüm islahat istiqaməti irəli sürülür: tranzit yüklərdə "diversiya riski"nin qiymətləndirilməsi, elektron ticarətdən qaynaqlanan kiçik bağlamalar üçün "ehtimal olunan razılıq" prinsipi əsasında sadələşdirilmiş məhv etmə prosedurunun tətbiqi və parallel idxalla kontrafakt malların diferensiasiyası üçün rəqəmsal informasiya mübadiləsinin (IPM platforması) gücləndirilməsi. Məqalədə vurğulanır ki, bu mexanizmlərin optimallaşdırılması həm ticarətin asanlaşdırılmasına, həm də kontrafakt mallara qarşı mübarizənin maliyyə yükünün azaldılmasına xidmət edəcəkdir.
Açar sözlər: *əqli mülkiyyət hüquqları, TRİPS, Ex officio, gömrük reyestri, gömrük sərhədləri, paralel idxal, kontrafakt mallar*

1. DTT-NİN TRIPS SAZİŞİ: GÖMRÜK SƏRHƏDİNDƏ ƏQLİ MÜLKİYYƏTİN MÜHAFİZƏSİNİN BEYNƏLXALQ-HÜQUQİ STANDARTLARI

Dünya Ticarət Təşkilatının (DTT) "Əqli mülkiyyət hüquqlarının ticarətlə əlaqəli aspektləri üzrə Saziş"i (TRIPS) beynəlxalq ticarət sistemində əqli mülkiyyətin mühafizəsi və təminatı üzrə ən mühüm çoxtərəfli sənəd hesab olunur. TRIPS Sazişinin III hissəsinin 4-cü bölməsi (Maddə 51-60) gömrük orqanlarının əqli mülkiyyət hüquqlarının (ƏMH) sərhəddə təmin edilməsi ilə bağlı xüsusi tələbləri və beynəlxalq standartları müəyyən edir. Bu standartlar, həm hüquq sahiblərinin maraqlarını qorumaq, həm də gömrük prosedurlarının qanuni ticarət üçün maneəyə çevrilməməsini təmin etmək məqsədi daşıyır.
TRIPS Sazişinin 51-ci maddəsinə əsasən, Üzv dövlətlər hüquq sahibinə əmtəə nişanlarının kontrafakt məhsulları və ya müəlliflik hüquqlarının pirat məhsullarının idxalının dayandırılması üçün gömrük orqanlarına yazılı müraciət etmək imkanı yaradan prosedurlar müəyyən etməlidirlər. Hüquq sahibi müraciət edərkən idxalçı dövlətin qanunvericiliyinə uyğun olaraq əqli mülkiyyət hüquqlarının pozulduğuna dair kifayət qədər sübutlar (*prima facie*) və malların gömrük orqanları tərəfindən asanlıqla tanınması üçün ətraflı təsvir təqdim etməlidir.
Azərbaycan Respublikasının qanunvericiliyi bu standartlara tam uyğunlaşdırılmışdır. Belə ki, Gömrük Məcəlləsinin 49-cu fəsli tərkibində əqli mülkiyyət hüquqlarının obyektləri olan mallar üzərində gömrük nəzarətini tənzimləyir. Nazirlər Kabinetinin 323 nömrəli qərarı ilə təsdiq edilmiş qaydalara əsasən, hüquq sahibi ərizə ilə müraciət edərək malların gömrük reyestrinə daxil edilməsini tələb edə bilər. Reyestrin aparılması gömrük nəzarətinin səmərəliliyini artırır və kontrafakt malların buraxılışının dayandırılması üçün hüquqi əsas yaradır.
Girov və Təminat Mexanizmləri
Sərhəd tədbirlərinin sui-istifadəsinin qarşısını almaq və cavabdehin maraqlarını qorumaq üçün səlahiyyətli orqanlar ərizəçidən girov və ya bərabər qiymətli təminat tələb etmək səlahiyyətinə malikdirlər. TRIPS-in 53-cü maddəsinə görə, bu təminat hüquq sahibini qorumaq üçün yetərli olmalı, lakin gömrük prosedurlarına müraciəti əsassız çəkindirməməlidir.

Azərbaycan qanunvericiliyinə görə, ərizəçi malların kontrafakt olmadığı müəyyən edildiyi halda bəyannaməçiyə və ya mal sahibinə vurulan zərərin ödənilməsi üçün gömrük orqanlarına təminat təqdim etməlidir. Təminatın məbləği müvafiq icra hakimiyyəti orqanı tərəfindən müəyyən edilmiş hədlər çərçivəsində təyin olunur. Təcrübədə bəzi ölkələr bu maliyyə yükünü azaltmaq üçün sığorta və ya zəmanət məktublarından istifadə edirlər.

Buraxılışın Dayandırılması və Bildiriş

Gömrük orqanları malların buraxılışını dayandırdıqda, dərhal bəyannaməçini və iddiaçını (hüquq sahibini) məlumatlandırmalıdırlar. TRIPS Sazişinin 55-ci maddəsinə görə, əgər 10 iş günü müddətində gömrük orqanı işin mahiyyəti üzrə məhkəmə icraatının başlandığı barədə məlumatlandırılmazsa, mallar buraxılmalıdır. Müəyyən hallarda bu müddət daha 10 iş günü uzadıla bilər. Azərbaycan Gömrük Məcəlləsi də eyni müddətləri (10+10 iş günü) nəzərdə tutur.

Sadələşdirilmiş Prosedurlar və Ex Officio Hərəkətlər

Beynəlxalq təcrübədə "sadələşdirilmiş prosedur" tətbiqi genişlənir. Bu prosedur məhkəməyə müraciət etmədən, tərəflərin razılığı və ya idxalçının etiraz etməməsi əsasında kontrafakt malların məhv edilməsinə imkan verir. Tədqiqatlar göstərir ki, sadələşdirilmiş prosedurları tətbiq edən ölkələrdə gömrük orqanlarının ƏMH pozuntularını aşkar etmə və emal etmə gücü əhəmiyyətli dərəcədə artır. Məsələn, Avropa İttifaqında bu prosedur artıq icbari xarakter daşıyır.

TRIPS-in 58-ci maddəsi gömrük orqanlarına *ex officio* (öz təşəbbüsü ilə) hərəkət etmək hüququ verir. Bu halda gömrük əməkdaşları əllərində kifayət qədər ilkin sübut olduqda, hüquq sahibinin müraciətini gözləmədən malları saxlaya bilərlər. Azərbaycan gömrük orqanları da reyestrə daxil edilməmiş, lakin kontrafaktlıq əlamətləri daşıyan malların buraxılışını dayandırmaq səlahiyyətinə malikdir.

Məhv Etmə və Müdafiə Vasitələri

TRIPS Sazişinin 59-cu maddəsinə əsasən, səlahiyyətli orqanlar hüquq sahibinin digər iddia hüquqlarına xələl gətirmədən kontrafakt məhsulların məhv edilməsi və ya dövriyyədən çıxarılması barədə qərar qəbul edə bilərlər. Saxta əmtəə nişanlı mallarda sadəcə nişanın çıxarılması, istisna hallar xaric, malların ticarət şəbəkəsinə buraxılması üçün kifayət deyil.

Müasir dövrdə məhv etmə prosesində ekoloji amillər və təkrar emal (*recycling*) imkanları ön plana çıxır. Hüquq sahibləri kontrafakt malların yandırılması əvəzinə, onların xammal kimi təkrar emal edilməsini daha ekoloji və səmərəli metod hesab edirlər. Məsələn, geyim əşyaları liflərə ayrıla, plastik oyuncaqlar isə xırdalanaraq yenidən istehsalda istifadə edilə bilər.

2. GÖMRÜK QANUNVERİCİLİYİNDƏ TƏMİNAT MEXANİZMLƏRİNİN PROSESSUAL VƏ İNSTİTUSİONAL ANALİZİ

Gömrük qanunvericiliyində əqli mülkiyyət hüquqlarının (ƏMH) qorunması mexanizmlərinin prosessual və institusional təhlili həm beynəlxalq standartlara (TRIPS Sazişi), həm də milli qanunvericiliyin (Gömrük Məcəlləsi və müvafiq qaydalar) tətbiqi təcrübəsinə əsaslanır. Bu mexanizmlərin effektivliyi hüquq sahibləri ilə gömrük orqanları arasındakı informasiya mübadiləsinin sürətindən və inzibati prosedurların optimallaşdırılmasından asılıdır.

Gömrük Reyestri Sisteminin Effektivliyi

Azərbaycan Respublikasının Gömrük Məcəlləsinin 279-cu maddəsinə əsasən, Dövlət Gömrük Komitəsi tərkibində əqli mülkiyyət hüquqlarının obyektləri olan malların reyestrini həm kağız, həm də elektron daşıyıcılarda aparır. Reyestr sistemi institusional olaraq gömrük nəzarətinin səmərəliliyini artırmaq və kontrafakt malların aşkar edilməsini sürətləndirmək məqsədi daşıyır.

1. **Müraciət və Qeydiyyat Proseduru:** Hüquq sahibi və ya onun nümayəndəsi hüquqlarının pozulduğu barədə kifayət qədər əsası olduqda, malların reyestrə daxil edilməsi üçün ərizə ilə müraciət edə bilər. Ərizədə hüquq sahibi, obyektin təsviri və kontrafaktlığı aşkar etməyə imkan verən məlumatlar əks olunmalıdır.
2. **Müddətlər və Qərarlar:** Gömrük orqanları ərizəyə 1 ay müddətində baxır və müvafiq qərar qəbul edir. Reyestrə daxil edilmiş məlumatlar 1 iş günü ərzində bütün gömrük orqanlarına çatdırılır ki, bu da operativliyi təmin edir.
3. **Qorunma Müddəti:** Hüquqların qorunma müddəti 5 ilədək müəyyən olunur və müraciət əsasında uzadıla bilər. Lakin bu müddət obyektin özünün hüquqi qüvvədə olma müddətindən artıq ola bilməz.

Reyestrin effektivliyi onun zənginliyindən və gömrük əməkdaşlarının bu məlumatlara çıxışından asılıdır. Təcrübə göstərir ki, reyestrə daxil edilmiş mallar üzərində nəzarət daha sistemli həyata keçirilir, çünki risk profilləri birbaşa bu məlumatlar əsasında formalaşdırılır.

Malların Buraxılışının Dayandırılması Proseduru

Buraxılışın dayandırılması ƏMH pozuntularına qarşı ən kəsərli sərhəd tədbiridir. TRIPS Sazişinin 51-ci maddəsi bu prosedur üçün beynəlxalq çərçivəni müəyyən edir.

- **Hüquqi Əsas və Müddət:** Reyestrə daxil edilmiş mallarda kontrafaktlıq əlamətləri aşkar edildikdə, gömrük orqanının rəhbərinin qərarı ilə buraxılış 10 iş günü müddətinə dayandırılır. Ərizəçinin əsaslandırılmış müraciəti ilə bu müddət daha 10 iş günü uzadıla bilər.
- **Bildiriş Mexanizmi:** Gömrük orqanı buraxılışın dayandırılması barədə həm bəyannaməçini (idxalatçını), həm də hüquq sahibini dərhal məlumatlandırmalıdır.
- **Məhkəmə İcraatının Başlanması:** Əgər bildirişdən sonra müəyyən edilmiş müddət ərzində (10+10 gün) gömrük orqanına işin mahiyyəti üzrə məhkəmə icraatının başlandığı və ya müvəqqəti tədbirlərin görüldüyü barədə məlumat daxil olmazsa, mallar buraxılmalıdır.

Ex-Officio (Vəzifə üzrə) Müdaxilə Mexanizmləri

Gömrük Məcəlləsinin 287-ci maddəsi gömrük orqanlarına reyestrə daxil edilməmiş mallara münasibətdə də müdaxilə etmək səlahiyyəti verir. Bu, TRIPS Sazişinin 58-ci maddəsi ilə dəstəklənən könüllü, lakin mühüm bir mexanizmdir.

1. **İlkin Sübutlar:** Gömrük əməkdaşlarının əlində malların kontrafakt olmasına dair ilkin sübutlar (*prima facie*) olduqda, onlar hüquq sahibinin müraciətini gözləmədən buraxılışı dayandıra bilərlər.
2. **Məlumatlandırma:** Bu halda gömrük orqanları hüquq sahibini dərhal məlumatlandırır və ondan malların statusunu dəqiqləşdirmək üçün zəruri məlumatları tələb edirlər.
3. **Məsuliyyətdən Azad Olma:** Gömrük əməkdaşları vicdanla hərəkət etdikləri təqdirdə, gördükləri müdafiə tədbirlərinə görə məsuliyyətdən azaddırlar.

Hüquq Sahibləri ilə Qarşılıqlı Əlaqə və İnzibati Baryerlər

Beynəlxalq tədqiqatlar və yerli təcrübə göstərir ki, ƏMH-nin təminat sistemində hüquq sahiblərinin aktivliyi mühüm rol oynayır, lakin bəzi inzibati və praktiki baryerlər bu prosesi çətinləşdirir.

- **Təminat və Girov Yükü:** ƏMH obyektlərinin reyestrə daxil edilməsi və ya buraxılışın dayandırılması zamanı hüquq sahibindən girov və ya bərabər qiymətli təminat tələb olunur. Bu, bəyannaməçiyə vurula biləcək zərərin ödənilməsi məqsədi daşısa da, bəzən hüquq sahibləri üçün maliyyə baryeri yaradır. Təcrübədə sığorta müqavilələri və ya zəmanət məktublarının istifadəsi bu yükü azalda bilər.
- **Sənədləşmə və Formallıqlar:** Bəzi hallarda orijinal əmtəə nişanı şəhadətnamələrinin və ya notarial qaydada təsdiq olunmuş etibarnamələrin tələbi vaxt itkisinə səbəb olur. Elektron müraciət sistemlərinin tam tətbiqi bu baryerləri aradan qaldıra bilər.
- **Malların Eyniləşdirilməsi:** Gömrük əməkdaşlarının kontrafakt malları orijinaldan fərqləndirmək üçün texniki biliyi və ya xüsusi avadanlıqları həmişə kifayət etmir. Hüquq sahibləri tərəfindən rəqəmsal təsvirlərin və məlumat bazalarının (məsələn, Ümumdünya Gömrük Təşkilatının IPM aləti) təqdim edilməsi bu sahədə qarşılıqlı əlaqəni effektiv edir.
- **Sadələşdirilmiş Prosedurların Eksikliyi:** Bir çox inkişaf etmiş ölkələrdə məhkəməyə müraciət etmədən, tərəflərin razılığı ilə malların məhv edilməsi mexanizmi (sadələşdirilmiş prosedur) mövcuddur. Bu prosedurun olmaması və ya məhdud tətbiqi məhkəmə xərclərinin artmasına və malların anbarlarda uzun müddət qalmasına səbəb olur.

Nəticə etibarilə, Gömrük Reyestri sistemi ƏMH qorunması üçün güclü hüquqi baza yaratsa da, inzibati formallıqların azaldılması, elektron xidmətlərin genişləndirilməsi və hüquq sahibləri ilə daha sıx əməkdaşlıq mexanizmlərinin (məsələn, təlimlər və birgə əməliyyatlar) qurulması sistemin praktiki effektivliyini daha da artıra bilər.

3. GÖMRÜK NƏZARƏTİ ZAMANI İMH MÜHAFİZƏSİNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ: TRANZİT YÜK VƏ PARALLEL İDXAL PROBLEMLƏRİ

Müasir beynəlxalq ticarət sistemində gömrük nəzarəti yalnız fiskal məqsədlər daşımır, həm də əqli mülkiyyət hüquqlarının (ƏMH) qorunması vasitəsilə bazar təhlükəsizliyini təmin edir. Xüsusilə tranzit yüklərin hüquqi statusu, parallel idxal və sürətlə böyüyən elektron ticarət (e-commerce) şəraitində kiçik bağlamaların nəzarəti gömrük orqanları üçün yeni prosessual çağırışlar formalaşdırır.

Tranzit Mallar üzrə Gömrük Nəzarəti və Yurisdiksiya Problemi

TRIPS Sazişinin 51-ci maddəsinə əsasən, sərhəd tədbirlərinin tətbiqi əsasən idxal prosedurları üçün məcburidir, tranzit keçən mallar üzərində ƏMH nəzarəti isə Üzv dövlətlərin diskresion səlahiyyətinə (istəyinə) buraxılıb. Bu hüquqi boşluq beynəlxalq ticarətdə "yurisdiksiya qeyri-müəyyənliyi" yaradır.

1. **Hüquqi yanaşma:** Bir çox hallarda tranzit mallar "hüquqi fiksiya" prinsipi ilə gömrük ərazisinə daxil olmamış hesab edilir. Lakin Avropa İttifaqı (Aİ) təcrübəsi və Məhkəmə instansiyalarının (məsələn,

Nokia/Philips işləri) qərarları göstərir ki, tranzit yükün daxili bazara yönəlmə ehtimalı olduqda və ya onun ƏMH pozuntusu daşıdığına dair əsaslı şübhələr olduqda, gömrük orqanları müdaxilə etməlidir.

2. **Optimallaşdırma təklifi:** Qanunvericilikdə "diversiya riski" (malların tranzitdən yayındırılaraq yerli dövriyyəyə buraxılması) anlayışı genişləndirilməlidir. Gömrük orqanları tranzit yüklərdə kontrafaktlıq əlaməti aşkar etdikdə, hüquq sahibinə məlumat verməli və malların son təyinat ölkəsindəki statusunu yoxlamaq üçün IPM (Interface Public-Members) kimi rəqəmsal alətlərdən istifadə etməlidir.

"Hüquqların Tükənməsi" və Parallel İdxal

TRIPS Sazişinin 6-cı maddəsi "hüquqların tükənməsi" məsələsini Üzv dövlətlərin milli qanunvericiliyinə həvalə edir. Parallel idxal — orijinal malların hüquq sahibinin icazəsi olmadan, lakin qanuni istehsalçı tərəfindən istehsal edildiyi halda ölkəyə gətirilməsidir.

- **Kontrafaktdan fərqləndirmə:** Gömrük orqanları üçün ən böyük çətinlik parallel idxal olunan orijinal malı kontrafakt (saxta) maldan fərqləndirməkdir. Aİ-nin 608/2013 saylı Reqlamenti parallel ticarəti və "overruns" (icazə verilmiş miqdardan artıq istehsal olunmuş orijinal mallar) malları gömrük nəzarəti tədbirlərinin dairəsindən istisna edir.
- **Təcrübə:** Azərbaycan Gömrük Məcəlləsi və digər normativ aktlar əsasən kontrafakt və pirat məhsullara qarşı mübarizəyə fokuslanır. Parallel idxal məsələsi daha çox rəqabət hüququnun predmeti olsa da, gömrük reyestri bu prosesdə süzgəc rolunu oynaya bilər. Əgər dövlət "beynəlxalq tükənmə" prinsipini qəbul edirsə, gömrük parallel idxalın qarşısını almamalıdır. Lakin "milli tükənmə" prinsipi tətbiq edilərsə, reyestr vasitəsilə yalnız rəsmi distribütorların idxalına icazə verilə bilər.

Elektron Ticarət və Kiçik Bağlamalar: Yeni Nəzarət Mexanizmləri

Rəqəmsal ticarətin artması poçt və ekspress-çatdırılma vasitəsilə gələn kiçik bağlamaların (small consignments) sayını kəskin artırıb. Ümumdünya Gömrük Təşkilatının (WCO) hesabatları göstərir ki, ƏMH pozuntularının böyük hissəsi artıq böyük konteynerlərdə deyil, məhz internet-alış-veriş nəticəsində yaranan kiçik bağlamalardadır.

1. **İnzibati yükün azaldılması:** Kiçik həcmli yüklər üçün hüquq sahibləri hər dəfə məhkəməyə müraciət etməkdə maraqlı deyillər, çünki xərclər malın dəyərini üstələyir. Buna cavab olaraq, beynəlxalq standartlarda (Aİ 608/2013) "kiçik bağlamalar üçün xüsusi prosedur" müəyyən edilib. Bu prosedura görə, çəkisi 2 kq-dan az və vahid sayı 3-dən çox olmayan bağlamalarda kontrafaktlıq şübhəsi yaranarsa, gömrük orqanı hüquq sahibinin hər dəfə razılığını almadan, lakin onun ümumi ərizəsinə əsaslanaraq malları məhv edə bilər.
2. **Rəqəmsal transformasiya:** Bağlamaların effektiv nəzarəti üçün elektron bəyannamə sistemləri (məsələn, ASYCUDA və ya DGK-nın mövcud proqram təminatı) risk profilləri ilə inteqrasiya olunmalıdır. "Ehtimal olunan razılıq" (implied consent) prinsipi tətbiq edilməlidir: əgər malın sahibi 10 iş günü ərzində məhv etməyə etiraz etmirsə, mallar avtomatik olaraq dövriyyədən çıxarılmalıdır

4. NƏTİCƏ VƏ TƏKLİFLƏR

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, qlobal ticarət zəncirinin təhlükəsizliyi və əqli mülkiyyət hüquqlarının (ƏMH) effektiv müdafiəsi üçün mövcud gömrük nəzarəti mexanizmlərinin beynəlxalq standartlar səviyyəsində optimallaşdırılması zəruridir. TRIPS Sazişi tərəfindən müəyyən edilmiş baza standartları və Avropa İttifaqının qabaqcıl təcrübəsi (xüsusilə 608/2013 saylı Reqlament) gömrük orqanlarının fəaliyyətinin səmərəliliyini artırmaq üçün strateji istiqamətləri müəyyən edir. Aparılan araşdırma əsasında aşağıdakı təkliflərin tətbiqi məqsədəuyğun hesab edilir:

- **Tranzit yüklər üçün "diversiya riski" əsaslı yoxlama metodologiyasının tətbiqi:** Beynəlxalq hüquqi yanaşmaya görə, tranzit mallar gömrük ərazisinə daxil olmamış hesab edilsə də, praktika göstərir ki, tranzit marşrutları kontrafakt malların əsl mənşəyini gizlətmək üçün istifadə olunur. TRIPS Sazişi tranzit mallar üzərində sərhəd tədbirlərini mütləq öhdəlik kimi qoymasa da, malların daxili bazara yönəlmə ehtimalı olduqda müdaxilə imkanlarını istisna etmir. Təklif olunur ki, gömrük nəzarəti sistemində "diversiya riski" (likelihood of diversion) anlayışı qanunvericilikdə təsbit edilsin və hüquq sahibləri ilə məlumat mübadiləsi vasitəsilə malların son təyinat ölkəsindəki statusu yoxlanılsın.
- **Kiçik bağlamalar üçün sadələşdirilmiş məhv etmə prosedurunun tətbiqi:** Elektron ticarətin (e-commerce) inkişafı nəticəsində kiçik həcmli kontrafakt bağlamaların sayı kəskin artmışdır ki, bu da hər dəfə məhkəmə icraatına başlamağı iqtisadi baxımdan səmərəsiz edir. Aİ təcrübəsinə uyğun olaraq, çəkisi 2 kq-dan az və ya sayı 3 vahiddən çox olmayan bağlamalar üçün xüsusi prosedur müəyyən edilməlidir. Burada "ehtimal olunan razılıq" (implied consent) prinsipi tətbiq olunmalıdır: əgər bəyannaməçi 10 iş günü ərzində məhv etməyə etiraz etmirsə, mallar avtomatik dövriyyədən çıxarılmalıdır.

- **Parallel idxal və kontrafakt malların fərqləndirilməsi üçün informasiya mübadiləsinin (IPM platforması) gücləndirilməsi:** Gömrük orqanları üçün ən böyük çətinlik parallel idxal olunan orijinal malı saxta məhsuldan fərqləndirməkdir. Ümumdünya Gömrük Təşkilatının (WCO) IPM (Interface Public-Members) platforması kimi rəqəmsal alətlərdən istifadə genişləndirilməlidir. Bu, həm "ex officio" müdaxilələrin doğruluğunu artıracaq, həm də orijinal malların parallel idxalı zamanı yaranan əsassız yubanmaların qarşısını alacaqdır.

Yekun olaraq, bu təkliflərin həyata keçirilməsi Azərbaycanın gömrük nəzarəti sistemini TRIPS standartlarına tam uyğunlaşdıracaq, kontrafakt mallara qarşı mübarizənin maliyyə yükünü azaldacaq və ölkəmizin beynəlxalq ticarətdə etibarlı tranzit mərkəzi statusunu möhkəmləndirəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT:

1. Azərbaycan Respublikasının Gömrük Məcəlləsi
2. Azərbaycan Respublikasının gömrük sərhədindən tərkibində intellektual mülkiyyət (əqli mülkiyyət) obyektləri olan malların keçirilməsi zamanı gömrük nəzarətinin aparılması qaydaları
3. "Tərkibində əqli mülkiyyət hüquqlarının obyektləri olan malların reyestrinin aparılması Qaydaları"nın təsdiq edilməsi haqqında" Azərbaycan Respublikası Nazirlər Kabinetinin Qərarı
4. Tərkibində əqli mülkiyyət hüquqlarının obyektləri olan malların buraxılışının dayandırılması, buraxılışın dayandırılma müddətinin uzadılması, qəbul edilən qərarlar barədə ərizəçiyə və bəyannaməçiyə məlumat verilməsi Qaydaları
5. Əqli mülkiyyət hüquqlarının ticarətlə əlaqəli aspektləri üzrə Saziş (TRİPS)
6. Keçid dövründə olan ölkələrdə Əqli Mülkiyyət hüquqlarının tətbiqi – Dünya Əqli Mülkiyyət Təşkilatı, birinci versiya
7. Avropa Parlamentinin və Şurasının 12 iyun 2013-cü il tarixli 608/2013 saylı Əqli mülkiyyət hüquqlarının gömrük nəzarəti və Şuranın 1383/2003 saylı Əsasnaməsinin ləğvi ilə bağlı QAYDALARI
8. DTT-nin yaradılması haqqında saziş – 1994
9. Simplified procedures for customs intellectual property rights enforcement - Alan Towersey, World Customs Journal

AZƏRBAYCANIN ÜTT ÇƏRÇİVƏSİNDƏ İQTİSADİ İNKİŞAF STATUSU

Qədirova Firuzə Zaur qızı
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
Bakı, Azərbaycan
qadirovafira@gmail.com

Xülasə: Bu məqalədə Azərbaycanın Ümumdünya Ticarət Təşkilatı (ÜTT) çərçivəsində iqtisadi inkişaf statusu və onun hüquqi-iqtisadi nəticələri təhlil olunur. Azərbaycanın beynəlxalq təşkilatlar tərəfindən inkişaf etməkdə olan, eyni zamanda keçid iqtisyyatına malik dövlət kimi qiymətləndirilməsi qeyd edilir. Məqalədə ÜTT çərçivəsində bu statusun verdiyi güzəştlər – keçid müddətləri, preferensial ticarət rejimləri, subsidiyalar və texniki yardımlar – araşdırılır. Eyni zamanda Azərbaycanın üzvlük prosesində tələb etdiyi güzəştlərin bir qisminin qəbul edilməməsi və bunun bərabər rəftar prinsipi baxımından yaratdığı mübahisələr təhlil edilir.

Açar sözlər: beynəlxalq iqtisadi hüquq, Dünya ticarət təşkilatı, inkişaf etməkdə olan ölkə, iqtisadi inkişaf səviyyəsi.

I GİRİŞ

İnkişaf dedikdə ölkələrin torpaqlarından, əməyindən, kapitalından və infrastrukturundan necə istifadə etmələri ilə idarə olunan davamlı texnoloji innovasiya, sənayenin təkmilləşdirilməsi və struktur dəyişiklikləri prosesi nəzərdə tutulur. Fransua Perru iqtisadi inkişafı əhalinin həyat səviyyəsini artıran və

davamlı böyüməni təmin edən zehni, sosial və struktur dəyişikliklərinin kombinasiyası kimi müəyyən etmişdir. Buna əsasən iqtisadi inkişaf - təhlükəsizlik və rifahın əsas şərti kimi - qəti şəkildə millətin rəqabət qabiliyyətinin dərəcəsindən asılıdır demək olar [1].

Lakin hüquqi baxımdan "inkişaf etməkdə olan" və "inkişaf etmiş" ölkə terminlərinin konkret tərifi və müəyyən etmək kriteriyaları yoxdur. Sadecə müxtəlif təşkilatlar tərəfindən dövlətlərin təsnifatı həyata keçirilir. Bugün Beynəlxalq Valyuta Fondu və Dünya Bankı, Birləşmiş Millətlər Təşkilatı (bundan sonra – BMT) tərəfindən iqtisadi cəhətdən inkişafına görə dövlətlər qruplaşdırılır. Məsələn Dünya Bankı dövlətləri aşağı, aşağı-orta, yuxarı-orta və yüksəl gəlirli olaraq qruplaşdırır. BMT çərçivəsində isə inkişaf səviyyəsinə görə təsnifat aşağıdakı kimi aparılır:

- inkişaf etmiş ölkələr (Yüksək gəlirli və yüksək həyat standartlarına sahib olan ölkələrdir. Bu ölkələrdə Ümumi Daxili Məhsul istehsalı göstəriciləri yüksəkdir. Sənayə sahəsində və xidmət sahəsində inkişaf müşahidə edilir (məsələn, ABŞ, Almaniya));
- inkişaf etməkdə olan ölkələr (Bu ölkələr aşağı və ya orta gəlirli hesab edilir. Sənayeləşmə prosesinin davam etdiyi lakin ölkə əhalisinin gəlirinin aşağı və ya orta səviyyədə olduğu dövlətlərdir (məsələn, Çin, Braziliya));
- az inkişaf etmiş ölkələr (iqtisadi baxımdan zəif inkişaf etmiş dövlətlərdir. Daha çox yoxsul dövlətlər buraya aid edilir (məsələn, Burundi, Mərkəzi Afrika Respublikası)).

II "İNKİŞAF ETMİŞ" VƏ "İNKİŞAF ETMƏKDƏ OLAN" ÖLKƏ ANLAYIŞLARI

Əslində 2021-ci ildə BMT "inkişaf etmiş" və "inkişaf etməkdə olan" ifadələrindən istifadə dayandırıldı. Lakin "inkişaf etmiş" və ya "inkişaf etməkdə olan" ifadələri hazırda 1992-ci ildə qəbul edilmiş qayda çərçivəsində və yalnız statistik məlumatları dəqiqliklə təsvir etmək üçün istifadə edilir. BMT bir ölkənin iqtisadi cəhətdən inkişaf etmiş olub olmadığını onun iqtisadi göstəricilərinə, həmçinin Ümumi daxili məhsul həcminə və adambaşına düşən gəlirə görə müəyyən edir. Bu göstəricilərdən sonra isə təhsil səviyyəsinə, həyat standartlarına baxılır.

Bugün beynəlxalq müstəvidə Azərbaycan Respublikası inkişaf etməkdə olan dövlət hesab edilir. Hətta bir sıra mənbələrdə keçid iqtisadiyyatına malik inkişaf etməkdə olan ölkə kimi qeyd edirlər [2]. Bu inkişaf etmiş dövlətlər arasında biraz daha yüksək bir pillə hesab edilir. Məsələn qonşu dövlətlərə
nəzər salsaq Rusiya, Gürcüstan, Ermənistan da keçid iqtisadiyyatına malik inkişaf etməkdə olan ölkələr kimi səciyyələndirilir. Lakin İran sadecə inkişaf etməkdə olan ölkə sayılır. Belə ki, İranda təhsil, yaşayış səviyyəsi, uzunömürlülüyü digər ölkələrlə müqayisədə daha aşağıdır.

ÜTT hüququ "inkişaf etmiş" və "inkişaf etməkdə olan" ölkələrin tərifləri təklif etmir. Çünki onların statusu öz seçimi əsasında müəyyən edilir və bu da çətinlik yaradır. Belə ki, ÜTT rəsmi olaraq heç bir inkişaf etməkdə olan dövlətlərin siyahısını da elan etmir. Bunun əvəzinə dövlətlər ÜTT çərçivəsində özlərini "inkişaf etmiş ölkələr", "inkişaf etməkdə olan ölkələr" və BMT-nin təklif etdiyi obyektiv ölçmələrə əsaslanaraq "az inkişaf etmiş ölkələr" olaraq qruplaşdırır [3].

Məhz bu özünüseçim hüququna görə ÜTT-də müxtəlif iqtisadi inkişaf səviyyəsində olan ölkələr "inkişaf etməkdə olan" hesab edilir [4]. Məsələn, Sinqapur və Gürcüstan özlərini "inkişaf etməkdə olan" dövlət elan ediblər. Nəzərə almaq lazımdır ki, 2024-cü ildə Gürcüstanda adambaşına düşən ümumi daxili məhsul 9 241,5 ABŞ dolları olarkən, bu rəqəm Sinqapur üçün 90 674,1 ABŞ dolları idi. Aradaki bu fərqə baxmayaraq bu iki dövlətdə "inkişaf etməkdə olan" statusu altında ÜTT çərçivəsində müəyyən müavinətlərdən istifadə etmək hüququna sahibdirlər.

III ÜTT HÜQUQUNDA "İNKİŞAF ETMİŞ" VƏ "İNKİŞAF ETMƏKDƏ OLAN" ÖLKƏ ANLAYIŞLARI

ÜTT çərçivəsində "inkişaf etməkdə olan" dövlətlərə "inkişaf etmiş" dövlətlər tərəfindən müəyyən güzəştlərin verilməsini nəzərdə tutan normalar yer alır. Bunlara aşağıdakıları aid etmək olar:

- Keçid (adaptasiya) üçün daha uzun müddət təklif edilir. Daxili qanunvericiliyin ÜTT hüququna uyğunlaşdırılması və ÜTT çərçivəsindəki öhdəliklərin icrasına əlavə vaxt ayrılmasını özündə ehtiva edir. Müvafiq normalar GATT 1994-də, Əqli Mülkiyyət Hüquqlarının Ticarətlə Əlaqəli Aspektləri haqqında Sazişdə (bundan sonra – TRIPS) yer almışdır;
- İnkişaf etmiş ölkələr inkişaf etməkdə olan ölkələrə münasibətdə daha aşağı tariflər tətbiq edə bilir [5]. İnkişaf etməkdə olan dövlətlərə preferensial rejimlər təklif edilir. Məsələn, Ümumiləşdirilmiş Üstünlüklər Sistemi (GSP – Generalized System of Preferences) ticarət proqramı ilə ABŞ və Aİ kimi inkişaf etmiş ölkələr inkişaf etməkdə olan ölkələrin müvafiq mallarının rüsumsuz və ya azaldılmış rüsumlarla öz bazarlarına çıxışını təmin edir;

- Subsidiyalar və kənd təsərrüfatı sahəsində təklif edilən güzəştlər. Məsələn, kənd təsərrüfatı sahəsində daha yüksək faizlə subsidiyaların verilməsi hüququ [6] , bəzi hallarda ixrac subsidiyalarına daha yumşaq yanaşma [7] və s.;
- Mübahisələrin həlli prosesində inkişaf etməkdə olan ölkələrə hüquqi məsləhətlərin və texniki yardımların göstərilməsi [8];
- Xüsusi və Diferensial Müalicə (S&D və ya S&D müalicəsi) mexanizminin tətbiqi. Bu mexanizm inkişaf etmiş ölkələrin ticarətin liberallaşdırılması üçün daxili öhdəlik məsələlərini həll etməkdə daha kasıb ölkələrə kömək etməsini nəzərdə tutur [9]. Bu yardımın göstərilməsindəki əsas səbəb inkişaf etməkdə olan dövlətlərdə ticarətdəki maneələri aradan qaldırmaq üçün nə institusional inkişaf, nə də müvafiq resurslar olmadığı üçün onların beynəlxalq ticarətdə əlverişsiz mövqe tutmasıdır [10].

Yuxarıda sadalanan güzəştlərin tətbiq edilməsi inkişaf etmiş ölkələr, xüsusən də ABŞ-ın narazılığına səbəb olur. ABŞ müvafiq müddəaların özünü "inkişaf etmiş ölkə" elan etmiş bütün üzv dövlətlərə şamil edilməsini istəmir. Bu səbəbdən inkişaf etməkdə olan ÜTT üzvləri arasında əlavə təsnifatlara görə bölünmə təklif edirlir. Joost Pauwelyn-un qeyd etdiyi kimi, bu günlərdə "inkişaf etməkdə olan ölkələr arasında çoxlu fərqlər mövcuddur ki, onların hamısına eyni münasibət göstərilsin" [11].

Bu növ yeniliklərin tətbiq edilməsi üçün isə bütün ölkələrin razılığı vacibdir. Lakin bu təklifə inkişaf etməkdə olan dövlətlərin yüksək təbəqələri (məsələn, Çin, Hindistan) etiraz edirlər. Əslində dövlətlərin öz seçdikləri statuslarını Mübahisələrin həlli orqanında etiraz etmək olar. Lakin faktiki olaraq Apelyasiya orqanının öz fəaliyyətini dayandırmış olması bu proseduru hal-hazırda mümkünsüz edir. Həmçinin məhkəmə proseduru müvafiq xərclərə gətirib çıxarır ki, bir çox ölkə bu xərcləri qarşılaya bilmir. Bu səbəblə ÜTT çərçivəsində dövlətlərin öz status seçimi mübahisəli mövzu olmağa davam edir.

IV AZƏRBAYCANI ÜTT ÇƏRÇİVƏSİNDƏ İQTİSADİ İNKİŞAF STATUSU

Yuxarıda qeyd edilən məqamları nəzərə aldıqda Azərbaycanın ÜTT yə üzvlüyü zamanı özünü "inkişaf etməkdə olan" ölkə kimi seçə bilər. Lakin bu statusun seçilməsi bütün güzəştlərin Azərbaycana verilməsi demək deyil. Belə ki Azərbaycan ÜTT-yə üzvlük zamanı bütün inkişaf etməkdə olan ölkələrə verilən güzəştləri tələb edir, o cümlədən:

- Kənd təsərrüfatının subsidiyalaşdırılması üzrə limitin (de minimis) 10% həddində müəyyənləşdirilməsi;
- Kənd təsərrüfatı haqqında sazişin 6.2-ci maddəsindən istifadə hüququ: "inkişaf etməkdə olan ölkələrə müəyyən şərtlər daxilində bəzi investisiya və giriş subsidiyalarından istifadə etməyə icazə verilir" [6].
- Kənd təsərrüfatı istehsalçılarının qorunması üçün 1 milyard dollar məbləğində ümumi dəstək verilməsi;
- ÜTT Sazişləri üzrə inkişaf etməkdə olan dövlətlərə təklif edilən texniki yardımlardan istifadə hüququnun verilməsi.

ABŞ, Aİ, Braziliya, Avstraliya kimi ölkələr bu tələbləri rədd etmişdir. Əsaslandırma olaraq isə yaxın zamanda ÜTT-yə üzv olmuş Azərbaycana bənzər iqtisadiyyata sahib olan heç bir dövlətə 10% de minimis verilmədiyini qeyd etmişdilər. Müqayisəvi aspektdə baxsaq Ermənistana 2003-2008-ci illərdə 10% de minimis tətbiq etməyə icazə verilmiş, yalnız 2009-cü ildən 5% de minimis ilə əvəz edilmişdir. Həmçinin, adambaşına düşən ümumi daxili məhsul üzrə statistik göstəriciləri 2010-cü ildən bəri Azərbaycandan yüksək olan Qazaxıstan üçün də de minimis ümumi kənd təsərrüfatı istehsalının 8,5%-i olaraq müəyyən edilir. Regionda olan digər dövlətlərlə müqayisə etdikdə də görünür ki, Azərbaycana qarşı müvafiq güzəştlər tətbiq edilməlidir.

NƏTİCƏ

Lakin sonda ÜTT Azərbaycana kənd təsərrüfatı ilə bağlı sazişin 6.2-ci maddəsindən istifadə etmək hüququnu verməkdən imtina etdi və 2015-ci ildə Nayrobidə keçirilən 10-cu Nazirlər Konfransından sonra ÜTT üzvlərinin artıq ixrac subsidiyalarını tətbiq etməyəcəklərini və ÜTT-yə qoşulduqdan sonra ixrac subsidiyalarını ləğv etməyi öhdələrinə götürəcəklərini elan etdi [12].

Sual yaranır, niyə bəzi ölkələr edə bilər, Azərbaycan isə edə bilməz? Bugün ÜTT inkişaf etməkdə olan ölkələrə, xüsusən də Azərbaycana qarşı ayrı-seçkilik yanaşmaları ÜTT hüququnun başlıca prinsiplərindən olan bərabər rəftar prinsipinin effektivliyini sual altında qoyur.

İSTIFADƏ EDİLMİŞ MƏNBƏLƏR:

[1] Măndescu, I. (2012). *The concept of economic development – A pillar of national security*. International Journal of Advances in Management and Economics, 1(4), 130–132.

[2] BBC News Azərbaycanca. (2024). Məqalənin adı. BBC. https://www.bbc.com/azeri/articles/cvgxyr38gyno

[3] United Nations. (n.d.). *Least developed countries category*. https://www.un.org/ohrlls/content/ldc-category
[4] Nachkebia, L. (2021). Country classification reform and stalled negotiations in the World Trade Organization – How to break the stalemate? Journal of International Law and Trade Policy, 22(2), 82-95.
[5] World Trade Organization. (1947). General Agreement on Tariffs and Trade (GATT).
[6] World Trade Organization. (1995). Agreement on Agriculture (AoA). Retrieved from https://www.wto.org/
[7] World Trade Organization. (1995). *Agreement on Subsidies and Countervailing Measures (SCM Agreement)*. Retrieved from https://www.wto.org/
[8] World Trade Organization. (1995). Understanding on Rules and Procedures Governing the Settlement of Disputes (DSU). Retrieved from https://www.wto.org/
[9] Conconi, P., & Perroni, C. (2015). Special and differential treatment of developing countries in the WTO. World Trade Review, 14(1), 67–83.
[10] Michalopoulos, C. (2000). The role of special and differential treatment for developing countries in GATT and the World Trade Organization (World Bank Policy Research Working Paper No. 2388, pp. 1–15). Washington, DC: World Bank.
[11] Pauwelyn, J. (2013). The end of differential treatment for developing countries? Lessons from the trade and climate change regimes. Review of European Community and International Environmental Law, 22(1), 29–30.
[12] Azərbaycan Respublikasının İqtisadiyyat Nazirliyi. (n.d.). Geneva negotiations: 14th meeting of WTO Working Group on Azerbaijan. Retrieved from https://www.wto.az/en/article/geneva-negotiations-14th-meeting-of-wto-working-groupon-azerbaijan/47

RƏQƏMSALLAŞMA VƏ ELEKTRON MƏNŞƏ SERTİFİKATLARININ TƏTBİQİ İMKANLARI

Nurlan Əliyev
Magistrant
Azərbaycan Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
Bakı, Azərbaycan
aliyevnurlan746@gmail.com

Ə.Ə.Dadaşov
i.ü.f.d.
İqtisadi İslahatların Təhlili və Kommunikasiya Mərkəzi
Bakı, Azərbaycan
abdulrahim.dadashov@ereforms.gov.az

Xülasə: Tədqiqatda qloballaşma və beynəlxalq ticarətin genişlənməsi fonunda malların mənşə ölkəsinin düzgün müəyyən edilməsinin iqtisadi təhlükəsizlik, şəffaflıq və ədalətli rəqabət baxımından əhəmiyyəti araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, müasir rəqəmsallaşma tendensiyaları gömrük prosedurlarının sadələşdirilməsinə və sənəd dövriyyəsinin avtomatlaşdırılmasına şərait yaradır. Elektron mənşə sertifikatlarının (e-CO) tətbiqi ticarət əməliyyatlarında vaxt itkisini azaldır, xərcləri optimallaşdırır və saxtalaşdırma risklərini minimuma endirir. Sinqapur, Cənubi Koreya və Estoniya təcrübəsi göstərir ki, blokçeyn və süni intellekt texnologiyaları sistemin təhlükəsizliyini artırır və sənədlərin real vaxtda təsdiqlənməsinə imkan verir. Azərbaycanda bu mexanizmin tətbiqi "Rəqəmsal hökumət" strategiyasını gücləndirir, "vahid pəncərə" prinsipini təkmilləşdirir və beynəlxalq inteqrasiyanı sürətləndirir.
Açar sözlər: rəqəmsallaşma, elektron mənşə sertifikatı, beynəlxalq ticarət, gömrük sistemləri, rəqəmsal iqtisadiyyat

I. GİRİŞ

Qloballaşma və beynəlxalq ticarətin sürətli inkişafı şəraitində malların mənşə ölkəsinin düzgün müəyyən edilməsi və təsdiqlənməsi beynəlxalq iqtisadi münasibətlər sistemində mühüm strateji əhəmiyyət kəsb edir. Malların mənşə ölkəsi barədə məlumatın dəqiq müəyyən edilməsi, həm idxal və ixrac əməliyyatlarında tarif və qeyri-tarif tənzimləmə tədbirlərinin düzgün tətbiqinə, həm də ticarət mübahisələrinin qarşısının alınmasına xidmət edir. Bu səbəbdən mənşə sertifikatlarının düzgün tərtib olunması və təsdiqlənməsi ticarət münasibətlərində şəffaflığın, ədalətli rəqabətin və iqtisadi təhlükəsizliyin təmin olunmasının əsas şərtlərindən biri kimi qiymətləndirilir.

Müasir dövrdə rəqəmsallaşma tendensiyalarının genişlənməsi beynəlxalq ticarət və gömrük sistemlərində sənəd dövriyyəsinin avtomatlaşdırılmasına, eyni zamanda inzibati prosedurların sadələşdirilməsinə yeni imkanlar yaratmışdır. Bu kontekstdə elektron mənşə sertifikatlarının (e-CO, Electronic Certificate of Origin) tətbiqi beynəlxalq ticarət əməliyyatlarında innovativ yanaşma kimi ön plana çıxır. Elektron sertifikat sistemləri sənəd dövriyyəsinin sürətlənməsini, saxtalaşdırma risklərinin azaldılmasını, xərclərin optimallaşdırılmasını və ölkələr arasında qarşılıqlı tanınma mexanizmlərinin güclənməsini təmin etməklə ticarət mühitində etibarlılığı artırır [1].

Azərbaycan Respublikasında da "Rəqəmsal hökumət" konsepsiyası və rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişaf strategiyası çərçivəsində gömrük idarəçiliyinin modernləşdirilməsi istiqamətində mühüm tədbirlər həyata keçirilir. Bu istiqamətdə əsas məqsəd beynəlxalq standartlara uyğun rəqəmsal platformaların qurulması, "vahid pəncərə" prinsipi əsasında sənəd dövriyyəsinin avtomatlaşdırılması və ticarət iştirakçıları arasında informasiya mübadiləsinin effektivliyinin artırılmasıdır. Elektron mənşə sertifikatlarının tətbiqi Azərbaycanın Ümumdünya Ticarət Təşkilatı (ÜTT), İqtisadi Əməkdaşlıq Təşkilatı (ECO) və Avrasiya İqtisadi İttifaqı (Aİİ) kimi beynəlxalq qurumlarla əməkdaşlığında da yeni perspektivlər formalaşdırır.

II. ELEKTRON MƏNŞƏ SERTİFİKATLARININ MAHİYYƏTİ VƏ ÜSTÜNLÜKLƏRİ

Rəqəmsallaşmanın sürətli inkişafı və iqtisadi fəaliyyətlərin elektron platformalar üzərindən idarə olunması beynəlxalq ticarət sistemində ciddi transformasiya proseslərini sürətləndirmişdir. Bu transformasiyanın mühüm elementlərindən biri mənşə sertifikatlarının elektron formaya keçirilməsi ilə bağlıdır. Ənənəvi kağız əsaslı sertifikat sistemi həm vaxt itkisinə, həm də əlavə maliyyə və inzibati resurs sərfiyyatına səbəb olduğundan, elektron mənşə sertifikatları beynəlxalq ticarət proseslərində daha çevik və səmərəli mexanizm kimi qiymətləndirilir.

Elektron mənşə sertifikatlarının tətbiqi ticarət əməliyyatlarının daha şəffaf, izlənilə bilən və təhlükəsiz şəkildə həyata keçirilməsinə şərait yaradır. Bu sistem çərçivəsində sənədlərin mərkəzləşdirilmiş məlumat bazasında saxlanılması, real vaxt rejimində təsdiqlənməsi və dövlət qurumları arasında avtomatlaşdırılmış inteqrasiyanın təmin olunması gömrük nəzarətinin effektivliyini artırır. Nəticədə, gömrük orqanlarının iş yükü azalır, sahibkarlar üçün prosedurlar sadələşir və ixrac-idxal əməliyyatlarının icrası daha sürətli şəkildə həyata keçirilir [2].

Elektron sertifikatların digər mühüm üstünlüyü ondan ibarətdir ki, bu mexanizm insan müdaxiləsini minimuma endirməklə korrupsiya risklərini azaldır, qərarların qəbulunda obyektivliyi artırır və ticarət iştirakçıları arasında bərabər şəraitin formalaşmasına töhfə verir [4]. Bununla yanaşı, elektron mənşə sertifikatları sistemində məlumatların elektron şəkildə emalı gömrük nəzarətində analitik və proqnostik modellərin tətbiqinə imkan yaradır.

CƏDVƏL 1. Elektron mənşə sertifikatlarinin tətbiqi və rəqəmsallaşma səviyyəsi ölkələr üzrə müqayisə

Ölkə	**Elektron sertifikat sistemi**	**Sənədin işlənmə müddəti**	**Blokçeyn inteqrasiyası**	**Süni intellekt nəzarəti**	**Mənbə**
Sinqapur	Tam rəqəmsallaşdırılmış	1-2 gün	Bəli	Bəli	Coulie, 2019
Cənubi Koreya	Tam rəqəmsallaşdırılmış	1-3 gün	Bəli	Bəli	Coulie, 2019
Estoniya	Tam rəqəmsallaşdırılmış	2-4 gün	Bəli	Bəli	Giegling, 2022
Azərbaycan	Qismən rəqəmsallaşdırılmış	3-5 gün	Hissə-hissə	Hissə-hissə	Əhmədov, 2023; Məmmədov, 2024

Cədvəl ölkələrin elektron mənşə sertifikatlarının tətbiq səviyyəsini, sənəd işləmə müddətini və texnologiyaların inteqrasiyasını göstərir. Mənbələrdə göstərilən məlumatlar elektron sertifikat sistemlərinin tətbiqi ilə bağlı statistik və tədqiqat nəticələrini əks etdirir.

III. BEYNƏLXALQ TƏCRÜBƏ VƏ TEXNOLOJİ İNNOVASİYALAR

Beynəlxalq praktikada elektron mənşə sertifikatlarının tətbiqi ilə bağlı uğurlu nümunələr mövcuddur. Sinqapur, Cənubi Koreya və Estoniya kimi ölkələrdə rəqəmsal sertifikat sistemlərinin tətbiqi nəticəsində sənədlərin işlənməsi müddəti bir neçə gündən bir neçə saata qədər azaldılmış, saxtalaşdırma halları isə minimum səviyyəyə endirilmişdir. Bu ölkələrdə elektron sertifikatların təhlükəsizliyini təmin etmək üçün blokçeyn texnologiyası və süni intellekt əsaslı nəzarət mexanizmlərindən istifadə olunur.

Blokçeyn texnologiyası sənədlərin dəyişdirilməsinin və saxtalaşdırılmasının qarşısını almaq üçün məlumatların şifrələnmiş və ardıcıl bloklar şəklində saxlanılmasını təmin edir. Süni intellekt və "big data" analitikası isə sənəd dövriyyəsində anomaliyaların aşkarlanmasına, riskli əməliyyatların müəyyənləşdirilməsinə və avtomatlaşdırılmış yoxlama mexanizmlərinin tətbiqinə şərait yaradır [1]. Bu texnologiyalar vasitəsilə mənşə sənədlərinin doğruluğu daha yüksək səviyyədə təmin olunur və gömrük nəzarətində risk əsaslı idarəetmə mexanizmləri gücləndirilir.

Belə beynəlxalq təcrübə göstərir ki, elektron mənşə sertifikatlarının tətbiqi yalnız texnoloji yenilik deyil, eyni zamanda gömrük və ticarət idarəçiliyində institusional səmərəliliyi artıran strateji alətdir. Bu sistemlər beynəlxalq ticarət axınlarının sürətləndirilməsi ilə yanaşı, ölkələr arasında qarşılıqlı tanınma və etimad mexanizmlərinin formalaşmasına da mühüm töhfə verir.

IV. AZƏRBAYCANDA TƏTBİQ PERSPEKTİVLƏRİ VƏ İMKANLAR

Azərbaycan üçün elektron mənşə sertifikatlarının tətbiqi həm "Rəqəmsal Azərbaycan" strategiyasının tərkib hissəsi, həm də gömrük sisteminin modernləşdirilməsi istiqamətində vacib addım kimi qiymətləndirilə bilər. Dövlət Gömrük Komitəsi və İqtisadiyyat Nazirliyinin mövcud elektron xidmət platformaları bu mexanizmin tətbiqi üçün mühüm texnoloji baza formalaşdırır və gələcəkdə regional və beynəlxalq sistemlərlə inteqrasiya imkanlarını genişləndirir.

Elektron mənşə sertifikatlarının tətbiqi ixracatçıların beynəlxalq bazarlara çıxışını asanlaşdırmaqla yanaşı, ticarət əməliyyatlarının şəffaflığını artırır və prosedur xərclərinin azaldılmasına imkan yaradır [3]. Bununla yanaşı, rəqəmsallaşmış sistemin tətbiqi gömrük nəzarətinin operativliyini yüksəldir, sənəd dövriyyəsinin sürətlənməsinə şərait yaradır və dövlət qurumları arasında məlumat mübadiləsini gücləndirir.

Lakin bu prosesin effektiv həyata keçirilməsi üçün hüquqi və institusional mühitin yenilənməsi də zəruri hesab olunur. Elektron mənşə sertifikatlarının beynəlxalq səviyyədə tanınması məqsədilə Ümumdünya Gömrük Təşkilatı, Ümumdünya Ticarət Təşkilatı və digər beynəlxalq qurumların tövsiyələri əsasında standartların tətbiqi və qarşılıqlı etimad mexanizmlərinin formalaşdırılması mühüm əhəmiyyət daşıyır.

IV. NƏTİCƏ

Elektron mənşə sertifikatlarının tətbiqi beynəlxalq ticarət sistemində rəqəmsallaşmanın mühüm istiqamətlərindən biri olmaqla, ticarət dövriyyəsinin operativliyinin artırılmasına, sənəd dövriyyəsində şəffaflığın təmin olunmasına və saxtalaşdırma risklərinin minimuma endirilməsinə xidmət edir. Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, blokçeyn və süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi elektron sertifikat sisteminin etibarlılığını daha da artırır və gömrük prosedurlarını optimallaşdırır.

Azərbaycanın "Elektron Hökumət" və "Rəqəmsal Ticarət Platforması" kimi təşəbbüsləri elektron mənşə sertifikatlarının tətbiqini dəstəkləyən mühüm infrastruktur yaradır. Bu sistemlərin inteqrasiyası vasitəsilə ixracatçılar, idxalçılar və gömrük orqanları vahid məlumat bazasında qarşılıqlı şəkildə fəaliyyət göstərə biləcək, sənədlərin təqdim olunması, təsdiqlənməsi və verifikasiyası prosesi daha sürətli və şəffaf formada həyata keçiriləcəkdir. Bu yanaşma daxili bazarda rəqabət mühitini gücləndirəcək, qeyri-leqal əməliyyatların qarşısını alacaq və dövlət nəzarətinin hesabatlılıq səviyyəsini artıracaq. Nəticə etibarilə elektron mənşə sertifikatlarının tətbiqi Azərbaycanın beynəlxalq ticarət sisteminə inteqrasiyasını sürətləndirən və qlobal rəqabət mühitində mövqeyini gücləndirən strateji yenilik kimi qiymətləndirilə bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

[1] Əhmədov, E. Q. (2023). Azərbaycan Respublikasında rəqəmsal iqtisadiyyatın formalaşması və inkişaf istiqamətləri. UNEC İqtisadi Araşdırmalar Jurnalı, 10(3), 78–90. https://unec.edu.az/application/uploads/2023/11/ehmedov-reqemsal-iqtisadiyyat.pdf

[2] Məmmədov, M. R. (2024). Elektron ticarətin inkişafı: Y və Z nəslinin istehlakçı davranışlarında rolu. TİM Jurnal, 5(2), 45–56. https://timjurnal.az/uploads/2024/02/memmedov-murad.pdf
[3] Coulie, C. (2019). The digitalization of the issuing process of certificates of origin in the Netherlands and Belgium: Is a 100% digitalization rate possible and how? Global Trade and Customs Journal, 14(10), 478–487
https://kluwerlawonline.com/journalarticle/Global%2BTrade%2Band%2BCustoms%2BJournal/14.10/GTCJ2019055
[4] Giegling, J. (2022). In blockchain we trust? Certificates of origin as a case for distributed ledger technologies. Journal of Law, Market & Innovation, 1(1), 66–96. https://doi.org/10.13135/2785-7867/6684
[5] International Chamber of Commerce. (2020). ICC rules for certificates of origin (Publication No. 821E). International Chamber of Commerce (ICC).
[6] World Trade Organization. (2017). Trade Facilitation Agreement. World Trade Organization (WTO). https://www.wto.org/english/tratop_e/tradfa_e/tradfa_e.htm
[7] World Customs Organization. (2020). WCO data model (Version 3.11). World Customs Organization (WCO). https://www.wcoomd.org/en/topics/facilitation/instrument-and-tools/tools/wco-data-model.aspx

SƏRHƏDDƏ TİCARƏTİN SƏMƏRƏLİLİYİNİ MÜƏYYƏN EDƏN ƏSAS İQTİSADİ GÖSTƏRİCİLƏR

Əjdər
Magistrant
Azərbaycan Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
Bakı, Azərbaycan
aliyevnurlan746@gmail.com

Ə.Ə.Dadaşov
i.ü.f.d.
İqtisadi İslahatların Təhlili və Kommunikasiya Mərkəzi
Bakı, Azərbaycan
abdulrahim.dadashov@ereforms.gov.az

Xülasə: Sərhəddə ticarət regionların iqtisadi inkişafında, xarici ticarət axınlarının səmərəli təşkili və institusional mexanizmlərin təkmilləşdirilməsində mühüm rol oynayır. Tədqiqatda sərhəd ticarətinin effektivliyini müəyyən edən əsas indikatorlar sistemli şəkildə təhlil edilir. Mal dövriyyəsinin həcmi və dinamikası, logistika və tranzit effektivliyi, gömrük nəzarətinin funksionallığı, əməliyyatların rentabelliyi və sosial-iqtisadi təsirlər əsas qiymətləndirmə meyarları kimi çıxış edir. Eyni zamanda məhsul çeşidinin genişliyi, qiymət rəqabətliliyi, ixrac yönümlü istehsalın payı və risklərin idarə olunması ticarətin struktur dayanıqlığını əks etdirir. Araşdırma göstərir ki, sərhəd ticarətinin səmərəliliyi yalnız ticarət həcmləri ilə deyil, həm də logistika xərclərinin azaldılması, rəqəmsal gömrük texnologiyalarının tətbiqi və təhlükəsizlik mexanizmlərinin effektivliyi ilə sıx bağlıdır. Kompleks yanaşma sərhəd regionlarının iqtisadi potensialının reallaşdırılmasına elmi əsas yaradır.
Açar sözlər: sərhəd ticarəti, iqtisadi səmərəlilik, logistika effektivliyi, gömrük nəzarəti, ticarət göstəriciləri

I. GİRİŞ

Müasir qlobal iqtisadi şəraitdə sərhəddə ticarət ölkələrin xarici ticarət sisteminin ayrılmaz tərkib hissəsi kimi çıxış edir və regional iqtisadi inkişafın mühüm hərəkətverici qüvvələrindən biri hesab olunur. Sərhəd zonalarında həyata keçirilən ticarət fəaliyyəti yalnız malların fiziki hərəkəti ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda logistika infrastrukturu, gömrük inzibatçılığı, təhlükəsizlik mexanizmləri və institusional

idarəetmə sistemlərinin effektivliyini özündə birləşdirir. Bu səbəbdən sərhəddə ticarətin səmərəliliyinin elmi əsaslarla qiymətləndirilməsi xüsusi aktuallıq kəsb edir. Səmərəliliyin ölçülməsi sərhəd regionlarında ticarət axınlarının intensivliyini, əməliyyat xərclərinin səviyyəsini, rentabelliyi və sosial-iqtisadi təsirləri müəyyən etməyə imkan verir.

Eyni zamanda, bu qiymətləndirmə gömrük prosedurlarının təkmilləşdirilməsi, logistika xərclərinin azaldılması və ticarət mühitinin şəffaflığının artırılması üçün əsaslı qərarların qəbuluna şərait yaradır. Tədqiqatın əsas məqsədi sərhəddə ticarətin səmərəliliyini müəyyən edən iqtisadi göstəriciləri sistemləşdirmək və onların analitik qiymətləndirilməsini aparmaqdır. Bu yanaşma sərhəd ticarətinin iqtisadiyyatda tutduğu mövqenin daha dəqiq müəyyən edilməsinə imkan verir.

II. SƏRHƏD TİCARƏTİNDƏ SƏMƏRƏLİLİK GÖSTƏRİCİLƏRİ

Sərhəddə ticarətin səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi sərhəd regionlarında ticarət axınlarının intensivliyini, əməliyyatların rentabelliyini və gömrük nəzarətinin institusional funksionallığını əks etdirən kompleks iqtisadi göstəricilər sistemi əsasında həyata keçirilir. Bu göstəricilər sərhəd zonalarında ticarət fəaliyyətinin iqtisadi məzmununu müəyyənləşdirir, sərhəd keçid məntəqələrinin buraxıcılıq gücünü və logistika infrastrukturunun effektivliyini əks etdirir. Səmərəliliyin ölçülməsi həm mikro səviyyədə əməliyyat performansının qiymətləndirilməsinə, həm də makro səviyyədə iqtisadi təsirlərin müəyyən olunmasına xidmət edir [3].

Sərhəd ticarətinin miqyasını və real əməliyyat həcmini xarakterizə edən əsas göstəricilərdən biri mal dövriyyəsinin ümumi dəyəridir. Sərhəd keçid məntəqələrindən daxil olan və çıxan malların ümumi yük dəyəri ticarət axınlarının coğrafi və iqtisadi miqyasını göstərir və sərhəd regionlarında iqtisadi fəallığın səviyyəsini müəyyən edir. Bu göstəricinin yüksək olması logistika əməliyyatlarının fasiləsizliyini, infrastrukturdan səmərəli istifadəni və ticarət subyektlərinin sərhəd ticarətinə aktiv cəlb olunmasını nümayiş etdirir. Eyni zamanda sərhəd ticarətinin ölkənin ümumi idxal və ixrac strukturunda tutduğu pay onun strateji əhəmiyyətini xarakterizə edir və sərhəd bölgələrinin xarici ticarət proseslərində mühüm rol oynadığını göstərir.

Ticarət dövriyyəsinin artım tempi də səmərəliliyin əsas göstəricilərindən biri kimi çıxış edir. İllik və rüblük dəyişikliklərin təhlili sərhəddə ticarətin inkişaf dinamikasını müəyyən etməyə və institusional, eləcə də infrastruktur islahatlarının təsir gücünü qiymətləndirməyə imkan verir. Ticarət axınlarının davamlı artımı regional iqtisadi fəallığın yüksəldiyini və bazar imkanlarının genişləndiyini göstərir.

Sərhəddə ticarətin iqtisadi səmərəliliyinin formalaşmasında logistika və tranzit effektivliyi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Sərhəddən keçid müddəti ticarət xərclərinə və tədarük zəncirinin çevikliyinə birbaşa təsir etdiyindən əsas səmərəlilik göstəricisi hesab olunur [2]. Keçid müddətinin qısa olması gömrük prosedurlarının təkmilləşdirildiyini, rəqəmsal texnologiyaların tətbiq olunduğunu və logistika axınlarının koordinasiyalı şəkildə idarə edildiyini göstərir. Keçid vaxtının optimallaşdırılması əməliyyat xərclərini azaldır və sərhəd ticarətinin rəqabət qabiliyyətini artırır.

Logistika xərclərinin səviyyəsi də səmərəliliyin qiymətləndirilməsində mühüm rol oynayır. Nəqliyyat, anbarlama və sənədləşmə xərclərinin azalması əməliyyatların rentabelliyini yüksəldir və ticarət subyektlərinin fəaliyyət imkanlarını genişləndirir. Yükaşırma qabiliyyəti və tranzit sürəti logistika effektivliyinin əsas göstəricilərindən olub, ticarət axınlarının fasiləsizliyini təmin edir.

Gömrük nəzarət sisteminin effektivliyi sərhəddə ticarətin institusional səmərəliliyini müəyyən edən əsas meyarlardandır. Gömrük rüsumları və vergi daxilolmaları dövlət büdcəsinə töhfənin həcmini əks etdirir və gömrük inzibatçılığının keyfiyyətini göstərir [5]. Rəqəmsal gömrük xidmətlərinin tətbiqi, elektron bəyannamə sistemləri və avtomatlaşdırılmış risk idarəetmə mexanizmləri əməliyyatların şəffaflığını və sürətini artırır. Compliance səviyyəsinin yüksək olması qaçaqmalçılıq risklərini azaldır və rəsmi ticarətin payını yüksəldir.

Sərhəd regionlarının sosial-iqtisadi inkişaf göstəriciləri də ticarətin ümumi səmərəliliyinin qiymətləndirilməsində mühüm yer tutur. Yeni iş yerlərinin yaradılması, yerli sahibkarlığın genişlənməsi və infrastruktur investisiyalarının artması sərhəd ticarətinin sosial və iqtisadi təsir gücünü nümayiş etdirir. Bu amillər regionların iqtisadi dayanıqlığını gücləndirir və sərhəd ticarətinin strateji rolunu artırır.

Ticarətin struktur xüsusiyyətləri səmərəlilik ölçmə sisteminin mühüm komponentidir. Məhsul çeşidinin genişliyi ticarətin iqtisadi məzmununun dərinləşdiyini göstərir və istehsalın diversifikasiyasına şərait yaradır. Qiymət rəqabətliliyinin yüksəlməsi sərhəd regionlarında qiymət fərqlərinin azalmasına və istehlakçılar üçün daha əlverişli mühitin formalaşmasına səbəb olur. İxrac yönümlü məhsulların payının artması isə sərhəd zonalarının təkcə tranzit deyil, eyni zamanda istehsal mərkəzi kimi fəaliyyət göstərdiyini təsdiqləyir.

Risklərin idarə olunması və təhlükəsizlik mexanizmləri ticarətin dayanıqlığını təmin edən əsas amillərdəndir [1]. Müasir skaner texnologiyalarının və avtomatlaşdırılmış nəzarət vasitələrinin tətbiqi yüklərin operativ emalını təmin edir və tədarük zəncirində gecikmələrin qarşısını alır. Rentabellik göstəriciləri isə sərhəd ticarətinin real iqtisadi dəyər yaratma qabiliyyətini ölçür və əməliyyatların səmərəlilik səviyyəsini əks etdirir.

Sərhəddə ticarətin səmərəliliyi ticarət həcmləri, logistika xərcləri, institusional mexanizmlər və sosial-iqtisadi təsirlərin kompleks qarşılıqlı təsiri nəticəsində formalaşır [4]. Bu göstəricilərin sistemli təhlili sərhəd regionlarının iqtisadi inkişafında sərhəd ticarətinin strateji rolunun elmi əsaslarla qiymətləndirilməsinə imkan verir.

III. NƏTİCƏ

Aparılmış təhlil göstərir ki, sərhəddə ticarətin səmərəliliyi çoxşaxəli iqtisadi göstəricilər sistemi əsasında formalaşır və bu göstəricilər bir-biri ilə sıx qarşılıqlı əlaqədədir. Ticarət dövriyyəsinin həcmi və artım tempi sərhəd ticarətinin miqyasını və inkişaf dinamikasını əks etdirərkən, logistika və tranzit göstəriciləri əməliyyatların operativliyini və xərclərin səviyyəsini müəyyən edir. Gömrük nəzarət mexanizmlərinin effektivliyi, rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi və compliance səviyyəsi ticarətin institusional dayanıqlığını və şəffaflığını gücləndirən əsas amillər kimi çıxış edir. Struktur göstəricilər – məhsul çeşidinin genişliyi, qiymət rəqabətliliyi və ixrac yönümlü istehsalın payı – sərhəd ticarətinin iqtisadi məzmununun dərinləşdiyini göstərir.

Eyni zamanda risklərin idarə olunması və təhlükəsizlik mexanizmlərinin effektivliyi ticarətin davamlılığını və qanuniliyini təmin edir. Nəticə etibarilə, sərhəddə ticarətin səmərəliliyinin artırılması yalnız ticarət həcmlərinin böyüdülməsi ilə deyil, həm də logistika xərclərinin azaldılması, institusional mexanizmlərin gücləndirilməsi və rəqəmsal həllərin geniş tətbiqi ilə mümkündür. Bu yanaşma sərhəd regionlarının iqtisadi potensialının reallaşdırılmasına və milli iqtisadiyyatın rəqabət qabiliyyətinin yüksəldilməsinə mühüm töhfə verir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

[1] Jain R.K. “R.K. Jain's Customs Law Manual [2024-25]”, New Delhi, “Centax Publications”, 2024, 1800 p.

[2] Pérez Azcárraga A.A. “Developing a Risk-Based Compliance Improvement Plan for Customs Administrations”, Washington, “International Monetary Fund”, 2025, 60 p.

[3] Sokol J.B. “Customs Modernization Initiatives: Case Studies”, Washington, “World Bank”, 2011, 300 p.

[4] World Customs Organization “Harmonized System Explanatory Notes”, Brussels, “World Customs Organization”, 2022, 5000 p.

[5] World Customs Organization “WCO Trade Tools: Valuation Compendium”, Brussels, “World Customs Organization”, 2023, 200 p.

BEU
BAKU ENGINEERING UNIVERSITY

Academy of the
State Customs Committee
Republic of Azerbaijan



HÜQUQ

AZƏRBAYCAN-ÇİN ƏMƏKDAŞLIĞININ ƏHƏMİYYƏTİ VƏ HÜQUQİ BAZASI

Vaqif Dadaşzadə
Milli Müdafiə Universitetinin Hərbi Elmi-Tədqiqat İnstitutu
Bakı, Azərbaycan
vagdad@outlook.com

Xülasə: Çin Xalq Respublikası ilə münasibətlər Azərbaycanın xarici siyasət prioritetlərində xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. İkitərəfli münasibətlərin başlanğıcı qədim İpək Yolu dövrünə gedib çıxır. Müasir dövrdə Azərbaycan və Çinin əməkdaşlığı geosiyasi və geoiqtisadi kontekstdə genişlənir. Ölkəmizin geosiyasi mövqeyi bu əməkdaşlığı daha da vacib edir. Bu baxımdan, 2015-ci ildə Çinin "Bir kəmər, bir yol" təşəbbüsünə qoşulması Azərbaycan üçün yeni perspektivlər açdı. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2025-ci ilin aprel ayında Çinə dövlət səfəri iki ölkə arasında mövcud münasibətlərin tamamilə yeni strateji mərhələyə qədəm qoyduğunu sübut etdi. Bu səfərin nəticəsi olaraq qəbul edilən çoxsaylı sənədlərin əhatə dairəsi və məzmunu ikitərəfli münasibətlərin müxtəlif sahələrdə gələcək inkişaf istiqamətlərini müəyyən etdi.
Açar sözlər: Çin, iqtisadi əməkdaşlıq, strateji tərəfdaşlıq, "Kəmər və yol" təşəbbüsü, Orta Dəhliz, birgə bəyanat.

THE IMPORTANCE AND LEGAL BASIS OF AZERBAIJAN-CHINA COOPERATION

Abstract: Relations with the People's Republic of China are of particular importance in Azerbaijan's foreign policy priorities. The beginning of bilateral relations dates back to the ancient Silk Road era. In modern times, cooperation of Azerbaijan and China are expanding in a geopolitical and geoeconomic context. The geopolitical position of our country makes this cooperation even more important. In this regard, joining China's "Belt and Road" initiative in 2015 opened up new prospects for Azerbaijan. The state visit of the President of the Republic of Azerbaijan to China in April 2025 proved that the existing relations between the two countries have entered a completely new strategic stage. The scope and content of the numerous documents adopted as a result of this visit determined the directions of the future development of bilateral relations in various areas.
Keywords: China, economic cooperation, strategic partnership, "Belt and Road" initiative, Middle Corridor, joint statement.

1. Giriş

Azərbaycanın xarici siyasət prioritetlərinə milli maraqların qorunması, regional sabitliyin təmin edilməsi və beynəlxalq əməkdaşlığın artırılması daxildir. Bu siyasət çərçivəsində ölkəmizin Çin Xalq Respublikası ilə əlaqələri xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. BMT-nin Təhlükəsizlik Şurasının daimi üzvü, iqtisadiyyatın həcminə görə dünyada ikinci dövlət olan Çin ilə müxtəlif sahələrdə inkişaf edən əməkdaşlıq Azərbaycanın xarici siyasətində mühüm yer tutur.

Azərbaycan və Çin arasındakı münasibətlərin başlanğıcı qədim İpək Yolu dövrünə təsadüf edir. Ölkəmiz həmin dövrdə regional ticarət mərkəzlərindən biri olaraq İpək Yolu şəbəkəsində mühüm rol oynamışdır. Bu tarixi ticarət yolu iki ölkəni iqtisadi baxımdan birləşdirmiş, ikitərəfli əməkdaşlığı əsrlər boyu ticarət, mədəniyyət və diplomatiya sahələrində qarşılıqlı faydalar ilə zənginləşdirmişdir.

Müasir dövrdə Azərbaycan ilə Çin arasında diplomatik münasibətlər 1992-ci ildə qurulmuşdur. Azərbaycan Çin Xalq Respublikasının "Vahid Çin prinsipi"ni dəstəkləmiş, Çin isə Azərbaycanın ərazi bütövlüyünü tanımışdır. Sonrakı illərdə tərəflər arasında siyasi, iqtisadi və humanitar sahələrdə əlaqələr sürətlə inkişaf etmişdir ("İkitərəfli münasibətlər", 2023). 21-ci əsrin ikinci onilliyindən başlayaraq Azərbaycan ilə Çin arasında ikitərəfli münasibətlər geosiyasi və geoiqtisadi kontekstdə genişlənməkdədir.

2. Əməkdaşlığın əhəmiyyəti

Bu gün Azərbaycan öz geosiyasi və iqtisadi potensialından istifadə edərək, Asiya və Avropa arasında bir körpü rolunu oymaqdadır. Ölkəmizin geosiyasi mövqeyi onun Çinlə əməkdaşlığını daha da vacib edir. Mərkəzi Asiya və Yaxın Şərqə yaxın olan Azərbaycan regional təhlükəsizlik və əməkdaşlıq məsələlərində Çinin maraqları ilə üst-üstə düşən mövqeləri bölüşür. Ölkəmizin coğrafi mövqeyində isə Çini Avropa ilə birləşdirən əsas tranzit xətlərindən biri kimi Orta Dəhliz hazırda xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu baxımdan 2015-ci ildə Çinin "Kəmər və yol" təşəbbüsünə Azərbaycanın qoşulması ölkəmiz üçün yeni perspektivlər

açmışdır (“Bir kəmər bir yol”, 2019). Bu təşəbbüs çərçivəsində Çin ilə əlaqələr strateji əməkdaşlıq səviyyəsinə çataraq müxtəlif sahələrdə, xüsusilə ticarət, enerji və nəqliyyat sahələrində dərinləşmişdir.

“Kəmər və yol” təşəbbüsü Çinin 2013-cü ildə irəli sürdüyü qlobal miqyaslı infrastruktur və iqtisadi layihədir. Bu təşəbbüs qədim İpək Yolu marşrutlarının bərpasını və yeni ticarət əlaqələrinin qurulmasını hədəfləyir, qlobal iqtisadi inteqrasiyanı təşviq edərək Asiya, Avropa və Afrika ölkələri arasında əməkdaşlıq üçün unikal platforma təqdim edir. Azərbaycan bu təşəbbüsdə xüsusi əhəmiyyətə malikdir, çünki ölkəmiz Avropa ilə Asiya arasında beynəlxalq nəqliyyat və logistika qovşağı kimi çıxış edir (“Kəmər və yol”, 2025).

Azərbaycan və Çin arasında iqtisadi əlaqələrin inkişafında son illər ərzində mühüm addımlar atılmışdır. İkitərəfli ticarət dövriyyəsi hər il artmaqdadır. Çin Azərbaycan üçün əsas ticarət tərəfdaşlarından biri olmaqla yanaşı müxtəlif məhsulların təchizatçısıdır. Çindən Azərbaycana sərmayə axını ölkəmizin iqtisadi dayanıqlığını artırır.

3. Əməkdaşlığın hüquqi bazası

Bütün bunlar hər iki ölkənin strateji əməkdaşlığının yeni mərhələyə keçməsinə şərait yaratmışdır. 2024-cü ildə Astanada keçirilən Şanxay Əməkdaşlıq Təşkilatının Zirvə toplantısında Azərbaycan Respublikası ilə Çin Xalq Respublikası arasında “Strateji tərəfdaşlığın qurulması haqqında Birgə Bəyannamə” imzalanmışdır. Bu saziş iki ölkə arasında müxtəlif sahələrdə əldə edilmiş nəticələri vurğuladı, gələcək əməkdaşlığın inkişafı üçün yeni istiqamətlər müəyyən etdi, mövcud olan dostluq və əməkdaşlıq münasibətlərini strateji tərəfdaşlıq səviyyəsinə yüksəltdi, əməkdaşlığın yeni mərhələyə qədəm qoyduğunu göstərdi (“Birgə Bəyannamə”, 2024).

2025-ci ilin aprelində Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Çinə etdiyi dövlət səfəri iki ölkə arasında mövcud olan münasibətlərin tam yeni strateji mərhələyə keçməsini sübut etdi. Bu səfərin nəticəsi olaraq qəbul edilmiş çoxsaylı sənədlərin əhatə dairəsi və məzmunu ikitərəfli münasibətlərin gələcək inkişafının müxtəlif sahələrdə istiqamətlərini müəyyən etdi.

Həmin səfər çərçivəsində Prezident İlham Əliyevin və Çin Xalq Respublikasının Sədri Si Cinpinin iştirakı ilə Pekində Azərbaycan-Çin əməkdaşlığını əhatə edən 21 sənəd imzalanmışdır. Bu sənədlər sırasında “Azərbaycan Respublikası ilə Çin Xalq Respublikası arasında hərtərəfli strateji tərəfdaşlıq əlaqələrinin qurulması haqqında Birgə Bəyanat” xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu Bəyanat iki ölkə arasında münasibətlərin əsas istiqamətlərini müəyyənləşdirən strateji sənəd olmaqla, 2024-cü ildə qəbul edilmiş “Azərbaycan Respublikası ilə Çin Xalq Respublikası arasında strateji tərəfdaşlığın qurulması haqqında Birgə Bəyannamə”ni daha da gücləndirmişdir. Əgər 2024-cü ilin bəyannaməsində münasibətlərin strateji tərəfdaşlıq səviyyəsinə keçidindən bəhs edilirdisə, 2025-ci ilin bəyanatında hərtərəfli strateji tərəfdaşlıqdan danışılır ki, bu da konkret praktik məzmun daşıyır və mövcud tərəfdaşlığı daha da dərinləşdirir (“Birgə Bəyanat”, 2025).

Bəyanatda iqtisadi əlaqələrə xüsusi yer verilir. İqtisadi əməkdaşlıq və ticarətin inkişaf dinamikası ikitərəfli münasibətlərin əsas dayaqlarındandır. Azərbaycan və Çin arasında iqtisadi münasibətlərin əsasını qarşılıqlı investisiyalar, ticarət dövriyyəsi və infrastruktur layihələrində iştirak təşkil edir. 2024-cü ilin yekunlarına əsasən, iki ölkə arasında ticarət dövriyyəsi 3,7 milyard ABŞ dollarına çatmış və bu göstərici əvvəlki illə müqayisədə 21% artım təşkil etmişdir (“Azərbaycan-Çin iqtisadi əlaqələrinin inkişafı”, 2025). Çin, Azərbaycanın dördüncü ən böyük ticarət tərəfdaşı olmaqla yanaşı, həm də idxalda lider mövqeyə malikdir (17,7%). Azərbaycan Çin bazarına neft və neft məhsulları, kimya sənayesi məhsulları və kənd təsərrüfatı malları ixrac edir. Çin isə Azərbaycana əsasən texnoloji avadanlıq, avtomobillər və istehlak məhsulları ixrac edir.

Enerji sektoru Azərbaycan-Çin münasibətlərində strateji istiqamətlərdən biridir, yaşıl enerji sahəsində əməkdaşlıq xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Hələ 2024-cü ilin noyabrında COP29 çərçivəsində Azərbaycanın Energetika Nazirliyi Çin şirkətləri ilə bir neçə Anlaşma Memorandumu imzalamışdır. 2025-ci ilin aprelində prezident İlham Əliyevin Çinə səfəri zamanı Qobustan günəş elektrik stansiyası layihəsinə dair sərmayə sazişi və bərpa olunan enerji sahəsində bir sıra sənədlər imzalanmışdır. Çin şirkətləri, o cümlədən “China Energy Engineering Corporation” Azərbaycanda külək və günəş enerjisi layihələri həyata keçirir, xüsusən Xəzər dənizində və Füzuli rayonunda strateji layihələrə sərmayə yatırır (“Enerji sahəsində strateji tərəfdaşlıq Sazişi”, 2025).

Birgə Bəyanatda müasir çağırışlara qarşı BMT çərçivəsində əməkdaşlığın gücləndirilməsinin zəruriliyi də qeyd edilir. Tərəflər qarşılıqlı olaraq bir-birilərinin liderlik rolunu və maraqlarını tanıyır, ərazi bütövlüyünü dəstəkləyir, münaqişələrin sülh yolu ilə həllinə, o cümlədən regional iqtisadi və ticarət əlaqələrinə ciddi önəm verir.

4. Nəticə

Beləliklə, 2025-ci ildə Azərbaycan və Çin arasında imzalanmış hər bir sənəd real tətbiq imkanlarına malikdir. Yaranmış genişhəcmli normativ-hüquqi baza uzunmüddətli və konkret nəticələr doğuran praktik tərəfdaşlığın əsasını təşkil edir.

Azərbaycanın tranzit və logistika potensialı, o cümlədən regional iqtisadi mərkəz kimi mövqeyi Çin üçün strateji əhəmiyyət kəsb edir. Orta Dəhlizin vacib hissələri olan Bakı-Tbilisi-Qars dəmir yolu, Transxəzər marşrutu və Bakı Beynəlxalq Dəniz Limanı Çinin "Kəmər və Yol" layihəsi ilə uyğunlaşdırılır. Çin Azərbaycanın bu imkanlarını Avropa ilə Şərq arasında alternativ marşrut olaraq inkişaf etdirir. Əlavə olaraq, Türkiyə, Mərkəzi Asiya və Avropa İttifaqı da bu dəhlizin inkişafında maraqlıdır ("Prezident İlham Əliyevin Çinə səfəri", 2025).

Hazırda beynəlxalq münasibətlər sistemində müşahidə edilən qeyri-sabitlik, təhlükəsizlik institutlarının zəifləməsi, ticarət müharibələri və tədarük zəncirlərinin pozulması Azərbaycan-Çin əməkdaşlığının aktuallığını xeyli artırır. Bu münasibətlər artıq təkcə ikitərəfli əlaqələr deyil, regional və qlobal güc balansında yeni strateji modelin hissəsinə çevrilmişdir. Yaxın gələcəkdə Azərbaycan, Çinlə geoiqtisadi layihələr nəticəsində, Türkiyə, Mərkəzi Asiya və Avropa İttifaqı ilə üçtərəfli və çoxtərəfli iqtisadi əlaqələr formatlarında yeni əməkdaşlıq imkanları qazanacaq.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Azərbaycan Respublikası və Çin Xalq Respublikası arasında ikitərəfli münasibətlər. (2023). Xarici İşlər Nazirliyi.
www.mfa.gov.az/az/category/asiya-ve-okeaniya/cin
2. Teymur Zahidoğlu. (2019). "Bir kəmər, bir yol", "Vahid Çin" və Yeni İpək Yolunun üstündəki Azərbaycanla hərbi əməkdaşlıq. Ordu.az.
ordu.az/az/news/157291/bir-kemer,-bir-yol,-vahid-cin-ve-yeni-ipek-yolunun-ustundeki-azerbaycanla-herbi-emekdasliq-%E2%80%93-ekspert-analiz
3. Sevinc Azadi. (2025). "Kəmər və yol" layihəsi region üçün qlobal əhəmiyyət daşıyır. İkisahil.az.
ikisahil.az/post/585004-kemer-ve-yol-layihesi-region-uchun-qlobal-ehemiyyet-dashiyir
4. Astanada "Azərbaycan Respublikası ilə Çin Xalq Respublikası arasında strateji tərəfdaşlığın qurulması haqqında Birgə Bəyannamə" qəbul olunub. (2024). President.az.
president.az/az/articles/view/66389
5. Azərbaycan Respublikası ilə Çin Xalq Respublikası arasında hərtərəfli strateji tərəfdaşlıq əlaqələrinin qurulması haqqında Birgə Bəyanat imzalanıb. (2025). President.az.
president.az/az/articles/view/68634
6. Azərbaycan-Çin iqtisadi əlaqələrinin inkişafı ixrac bazarlarına müsbət təsir göstərəcək. (2025). İqtisadi İslahatların Təhlili və Kommunikasiya Mərkəzi.
ereforms.gov.az/az/1320
7. Çin şirkəti ilə enerji sahəsində strateji tərəfdaşlıq Sazişi imzalanıb. (2025). Azərbaycan Respublikasının Energetika Nazirliyi.
minenergy.gov.az/az/xeberler-arxivi/00543
8. Prezident İlham Əliyevin Çinə səfəri Azərbaycan-Çin strateji tərəfdaşlığını yeni səviyyəyə qaldırır. (2025). Azertag.az.
azertag.az/xeber/prezident_ilham_aliyevin_chine_seferi_azerbaycan_chin_strateji_terefdasligini_yeni_seviyyeye_qaldirir_rey-3725667

AZƏRBAYCAN VƏ TÜRK HÜQUQUNDA ANTİİNHİSAR SİYASƏTİNİN SAHİBKARLIĞA TƏSİRİ: MÜQAYİSƏLİ HÜQUQİ TƏHLİL

Hakim AZİZ
Karabük Üniversitesi İşletme Fakültesi
İşletme Bölümü Ticaret Hukuku ABD.
Karabük, Türkiye
hakimbey77@hotmail.com
hakimaziz@karabuk.edu.tr
ORCID: 0000-0002-2566-5784

Xülasə: Bu məqalədə Azərbaycan və Türkiyə qanunvericiliyində antiinhisar siyasətinin sahibkarlıq fəaliyyətinə təsiri müqayisəli hüquqi baxımdan araşdırılır. Tədqiqatın məqsədi rəqabət hüququnun bazara daxilolma, kiçik və orta sahibkarlığın qorunması, dominant vəziyyətdən sui-istifadənin qarşısının alınması, kartel razılaşmalarının məhdudlaşdırılması və rəqəmsal bazarlarda ədalətli rəqabətin təmin edilməsi baxımından oynadığı rolu müəyyənləşdirməkdir. Məqalədə Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası, Rəqabət Məcəlləsi, əvvəlki antiinhisar qanunvericiliyi və institusional islahatlar, habelə Türkiyə Cümhuriyyəti Anayasası, 4054 sayılı Rekabetin Korunması Hakkında Kanun, Rekabet Kurumu təcrübəsi və əlaqəli doktrinal mənbələr birlikdə təhlil edilir. Araşdırma göstərir ki, antiinhisar siyasəti sahibkarlığı yalnız məhdudlaşdıran nəzarət mexanizmi deyil, əksinə bazarda giriş maneələrini azaltmaq, dominant şirkətlərin rəqibləri sıxışdırmasının qarşısını almaq, istehlakçı rifahını qorumaq və investisiya mühitini proqnozlaşdırılan etmək vasitəsidir. Bununla yanaşı, antiinhisar müdaxilələrinin ölçülülük, hüquqi müəyyənlik və innovasiyanı boğmamaq prinsipləri əsasında aparılması zəruridir. Müqayisəli təhlil nəticəsində belə qənaətə gəlinir ki, Türkiyə modelində tətbiq və qərar praktikası daha inkişaf etmiş olsa da, Azərbaycanın yeni Rəqabət Məcəlləsi sahibkarlığın qorunması baxımından mühüm institusional imkanlar açır.
Açar sözlər: antiinhisar siyasəti, rəqabət hüququ, sahibkarlıq azadlığı, dominant vəziyyət, haqsız rəqabət, Azərbaycan, Türkiyə.
Abstract: This article examines, from a comparative legal perspective, the impact of antitrust policy on entrepreneurship under Azerbaijani and Turkish law. The study aims to identify the role of competition law in market entry, the protection of small and medium-sized enterprises, the prevention of abuse of dominance, the restriction of cartel agreements, and the preservation of fair competition in digital markets. The analysis combines the Constitution of the Republic of Azerbaijan, the Competition Code, earlier antimonopoly legislation and institutional reforms, as well as the Constitution of the Republic of Türkiye, Law No. 4054 on the Protection of Competition, the practice of the Turkish Competition Authority, and leading doctrinal sources. The article argues that antitrust policy should not be viewed merely as a restrictive supervisory mechanism; rather, it functions as an instrument to reduce entry barriers, prevent dominant firms from foreclosing rivals, protect consumer welfare, and make the investment environment more predictable. At the same time, antitrust intervention must respect proportionality, legal certainty, and the need not to suppress innovation. The comparative findings suggest that although the Turkish model has a more mature enforcement practice, Azerbaijan's new Competition Code opens important institutional opportunities for the protection of entrepreneurship.
Keywords: antitrust policy, competition law, freedom of enterprise, dominance, unfair competition, Azerbaijan, Türkiye.

Giriş

Rəqabət hüququ bazar iqtisadiyyatının hüquqi infrastrukturunun ayrılmaz tərkib hissəsidir. Sahibkarlıq azadlığının mövcudluğu təkcə formal olaraq bazara daxil olmaq imkanı ilə ölçülmür; eyni zamanda həmin bazarda dominant təsərrüfat subyektlərinin qeyri-ədalətli təzyiqindən, kartel razılaşmalarından, süni giriş maneələrindən və dövlət və ya özəl aktorlar tərəfindən yaradılan inhisarçı strukturdan qorunmaq da zəruridir [1][2]. Buna görə antiinhisar siyasəti sahibkarlığın əleyhinə deyil, əksinə onun institusional təminatlarından biri kimi qəbul edilməlidir.

Azərbaycan Respublikası Konstitusiyasının 15-ci maddəsi bazar münasibətləri əsasında iqtisadiyyatın inkişafına şərait yaradılmasını, azad sahibkarlığa təminat verilməsini və inhisarçılığa, habelə haqsız rəqabətə yol verilməməsini təsbit edir [1]. Konstitusiyanın 59-cu maddəsi isə hər kəsin qanunla nəzərdə

tutulmuş qaydada azad sahibkarlıq fəaliyyəti ilə məşğul olmaq hüququnu tanıyır [1]. Bu iki norma birlikdə göstərir ki, Azərbaycan hüququnda sahibkarlıq azadlığı və antiinhisar siyasəti bir-birinə zidd yox, qarşılıqlı tamamlayıcı konstitusion prinsiplərdir.

Türkiyə hüququnda da bənzər yanaşma mövcuddur. Türkiye Cumhuriyeti Anayasasının 48-ci maddəsi hər kəsin istədiyi sahədə çalışma və sözləşme hürriyetinə malik olduğunu, özel teşebbüsler kurmanın sərbəst olduğunu bəyan edir; 167-ci maddə isə dövlətə mal və xidmət bazarlarının sağlam və nizamlı işləməsini təmin etmək, faktiki və ya razılaşmaya əsaslanan inhisarlaşma və kartelləşmənin qarşısını almaq vəzifəsi verir [3]. Beləliklə, Türk hüququnda da rəqabətin qorunması sahibkarlıq azadlığının təbii məhdudiyyəti deyil, onun effektiv istifadə şərtidir.

Mövzunun aktuallığı xüsusilə rəqəmsal bazarlarda, elektron ticarətdə, alıcı gücünün artdığı pərakəndə bazarlarda və təbii inhisar elementləri daşıyan sektorlarda daha qabarıqdır. Son illər həm Azərbaycanda yeni Rəqabət Məcəlləsinin qəbul edilməsi, həm də Türkiyədə 4054 sayılı Kanun ətrafında formalaşan zəngin qərar praktikası antiinhisar siyasətinin sahibkarlıq üçün nə dərəcədə vacib olduğunu yenidən gündəmə gətirmişdir [2][4][5]. Bu məqalədə məqsəd Azərbaycan və Türk hüququnda antiinhisar siyasətinin sahibkarlığa təsirini müqayisəli şəkildə araşdırmaq, normativ əsasları, institusional mexanizmləri və praktik nəticələri ortaya qoymaqdır.

1. Antiinhisar siyasətinin nəzəri və hüquqi mahiyyəti

Antiinhisar siyasəti ümumi şəkildə bazarda rəqabəti məhdudlaşdıran və ya aradan qaldıran davranışların qarşısının alınmasına yönəlmiş dövlət fəaliyyətidir. Bu fəaliyyət kartel razılaşmalarının qadağan edilməsi, dominant vəziyyətdən sui-istifadənin məhdudlaşdırılması, birləşmə və satınalmaların nəzarəti, diskriminasiyaedici satış şərtlərinin aradan qaldırılması və bəzi hallarda dövlət dəstəyi mexanizmlərinin rəqabətə təsirinin qiymətləndirilməsi kimi alətləri əhatə edir [6][7].

Sahibkarlıq baxımından antiinhisar siyasətinin əhəmiyyəti ilk növbədə bazara giriş imkanlarının qorunması ilə izah edilir. Kiçik və orta sahibkarların inkişafı üçün təkcə kredit, vergi güzəşti və qeydiyyat sadəliyi kifayət etmir; rəqiblərin bazara girişini faktiki olaraq mümkünsüz edən qiymət sıxışdırması, eksklüziv müqavilələr, bağlama praktikaları və ya alıcı gücündən sui-istifadə halları da məhdudlaşdırılmalıdır [8][9]. Əks halda formal sahibkarlıq azadlığı real iqtisadi məzmununu itirə bilər.

Türk hüquq ədəbiyyatında xüsusi təşəbbüs azadlığının ölçülülük, hüquqi müəyyənlik və iqtisadi kamu düzeni prizmasından dəyərləndirilməsi göstərir ki, dövlətin antiinhisar müdaxiləsi azad bazar prinsiplərini zəiflətmək deyil, onları qorumaq məqsədi daşımalıdır [10][11]. Azərbaycan ədəbiyyatında da rəqabət mühitinin qorunması sahibkarlığın formalaşması üçün zəruri şərt kimi təqdim olunur; xüsusilə keçid iqtisadiyyatı şəraitində antiinhisar siyasətinin kiçik sahibkarlığın inkişafı üçün mərkəzi rol oynadığı vurğulanır [12][13].

2. Azərbaycan qanunvericiliyində antiinhisar siyasəti və sahibkarlığın qorunması

Azərbaycan qanunvericiliyində antiinhisar siyasətinin normativ bazası tarixi olaraq "Antiinhisar fəaliyyəti haqqında" Qanun üzərində qurulmuşdur. Həmin qanun inhisarçılıq fəaliyyətinin qarşısının alınmasının, məhdudlaşdırılmasının və aradan qaldırılmasının təşkilati-hüquqi əsaslarını müəyyən edirdi [2]. Sonrakı mərhələdə rəqabət hüququnun daha sistemli tənzimi məqsədilə Azərbaycan Respublikasının Rəqabət Məcəlləsi qəbul edilmişdir [4]. Rəqabət Məcəlləsi kartel davranışları, dominant vəziyyət, iqtisadi təmərküzləşmə və rəqabətə zidd hərəkətlər üzrə daha kompleks mexanizmlər təqdim etməklə sahibkarlıq mühitinə təsir göstərən hüquqi çərçivəni yeniləmişdir.

Konstitusion səviyyədə 15-ci maddədə inhisarçılığa və haqsız rəqabətə yol verilməməsinin təsbit olunması vacibdir [1]. Bu müddəa göstərir ki, antiinhisar siyasəti sahibkarlıq azadlığının məhdudlaşdırılması vasitəsi kimi deyil, ədalətli iqtisadi nizamın elementi kimi nəzərdə tutulur. Aslanovun qeyd etdiyi kimi, azad sahibkarlıq hüququ iqtisadi suverenliyin təminatları içində xüsusi yer tutur; lakin bu hüququn effektiv istifadəsi üçün bazar münasibətlərində inhisarçı təhriflərin qarşısı alınmalıdır [13].

Azərbaycan təcrübəsində antiinhisar siyasətinin sahibkarlığa təsiri xüsusən iki istiqamətdə görünür. Birincisi, dominant mövqedə olan subyektlərin bazara yeni daxil olan rəqibləri sıxışdırmasının qarşısının alınmasıdır. İkincisi isə haqsız rəqabət, ayrıseçkilik yaradan stimullaşdırıcı tədbirlər və qeyri-şəffaf dəstək mexanizmləri vasitəsilə bazar iştirakçıları arasında süni üstünlüklərin yaranmasının qarşısının alınmasıdır [14][15]. Bu baxımdan antiinhisar siyasəti yalnız iri şirkətlərə qarşı sanksiya sistemi deyil, həm də sahibkarlıq fəaliyyətinin bərabər şərtlərlə aparılmasının təminatıdır.

Azərbaycan ədəbiyyatında kiçik sahibkarlığın inkişafı ilə rəqabət mühitinin möhkəmləndirilməsi arasında sıx əlaqə xüsusi vurğulanır. Nazarov hesab edir ki, keçid iqtisadiyyatı şəraitində dövlətin iqtisadi strategiyasının mərkəzində azad rəqabətə əsaslanan bazar mühitinin yaradılması dayanmalıdır; əks halda

kiçik sahibkarlığın inkişafı sistemli xarakter ala bilməz [12]. Hüseynzadənin işi də göstərir ki, kiçik və orta sahibkarlığın gücləndirilməsi rəqabət qabiliyyətinin artırılması ilə birbaşa bağlıdır [16].

Eyni zamanda, Azərbaycan modelində müəyyən problemlər də qalır. Bunlara tətbiq mexanizmlərinin yeni olması, institusional təcrübənin tam formalaşmaması, bazarın bəzi seqmentlərində yüksək təmərküzləşmə, təbii inhisarlarla rəqabət siyasəti arasındakı sərhədlərin həssaslığı və dövlətin iqtisadiyyatda aktiv iştirakının bəzi hallarda bazar neytrallığı baxımından suallar yaratması daxildir [17][18]. Buna baxmayaraq, yeni Məcəllənin qəbul edilməsi sahibkarların hüquqi müdafiəsi və rəqabət nəzarətinin şəffaflaşdırılması baxımından müsbət addım kimi qiymətləndirilə bilər.

Azərbaycan korporativ hüququ kontekstində də rəqabət qaydalarının əhəmiyyəti artır. Kərimovun vurğuladığı kimi, şirkətlərin hüquqi təşkilatlanması və korporativ idarəetmə mexanizmləri bazar davranışlarından ayrılıqda düşünülə bilməz [19]. Şirkətlərin birləşməsi, nəzarətin əldə edilməsi və əlaqəli şəxslər vasitəsilə bazar gücünün cəmlənməsi hallarında antiinhisar nəzarəti sahibkarlığın rəqabətə açıq şəkildə davam etməsi üçün vacibdir.

3. Türk hüququnda antiinhisar siyasəti və təşəbbüs azadlığı

Türkiyədə rəqabət hüququnun əsas normativ dayağı 4054 sayılı Rekabetin Korunması Hakkında Kanundur [5]. Qanunun məqsədi mal və xidmət bazarlarında rəqabətin əngəllənməsi, pozulması və ya məhdudlaşdırılmasına yönəlmiş anlaşma, qərar və tətbiqlərin, eləcə də bazara hakim olan teşebbüslərin bu hakimiyyətdən sui-istifadəsinin qarşısını almaqdır [20]. Bu model sahibkarlığa ikili təsir göstərir: bir tərəfdən iri sahibkarlıq subyektlərinin davranış azadlığını rəqabət hüququ meyarları ilə çərçivələyir, digər tərəfdən isə yeni və zəif bazar iştirakçılarının fəaliyyət imkanlarını qoruyur.

Türkiyə Cümhuriyyəti Anayasasının 48-ci maddəsində təsbit olunan xüsusi təşəbbüs azadlığı, 167-ci maddədəki rəqabətin qorunması və bazarların nizamlı işləməsi öhdəliyi ilə birlikdə oxunmalıdır [3]. Bu sistemin ən mühüm üstünlüyü normativ qaydalarla yanaşı, geniş inzibati tətbiq və zəngin qərar praktikasının mövcudluğudur. Rekabet Kurumu və Rekabet Kurulu illər ərzində kartel, hâkim durumun kötüye kullanılması, muafiyet, taahhüt, uzlaşma və birləşmə nəzarəti sahəsində əhəmiyyətli doktrina formalaşdırmışdır [21][22][23].

Türkiyə doktrinasında xüsusi təşəbbüs azadlığı ilə antiinhisar müdaxiləsi arasındakı münasibət xüsusilə ölçülülük prinsipi əsasında izah edilir. Çakmakın araşdırması göstərir ki, iqtisadi azadlıqlara yönələn müdaxilələr sadəcə qanuni əsasla kifayətlənməməli, həm də ölçülü və məqsədə uyğun olmalıdır [10]. Bu yanaşma sahibkarlar üçün vacibdir; çünki antiinhisar siyasəti bazardakı haqsız üstünlükləri aradan qaldırsa da, həddindən artıq sərt və qeyri-müəyyən tətbiq investisiya riskini artıra bilər.

Türk hüququnda dominant vəziyyətdən sui-istifadə halları sahibkarlığa birbaşa təsir göstərən əsas sahələrdən biridir. Karamanın AB və Türkiyə hüququnda bağlama anlaşmaları üzrə təhlili göstərir ki, bazara hakim durumda olan təşəbbüslərin əlaqəli məhsul və ya xidmətlər üzərində rəqibləri kənarlaşdıran siyasətləri bazar girişini ciddi şəkildə məhdudlaşdıra bilər [8]. Eyni şəkildə qiymət sıxışdırması, münhasır müqavilələr və ayrıseçkilik doğuran tətbiqlər də yeni sahibkarlar üçün əhəmiyyətli manea yaradır.

Türkiyədə alıcı gücü və pərakəndə bazarların strukturuna dair müzakirələr də sahibkarlıq baxımından diqqətəlayiqdir. Alma göstərir ki, ənənəvi rəqabət hüququ yanaşmaları bəzi hallarda alıcı gücündən qaynaqlanan problemləri tam həll etmir; halbuki xüsusilə təchizat zəncirlərində iri alıcıların davranışı kiçik istehsalçı və təchizatçı sahibkarların bazardakı davamlılığını təhdid edə bilər [7]. Bu isə antiinhisar siyasətinin yalnız satıcı bazar gücü ilə deyil, alıcı bazar gücü ilə də maraqlanmalı olduğunu göstərir.

Rəqəmsal bazarlar və elektron ticarət sahəsində də Türk hüququ son illərdə xüsusi diqqət çəkir. Kart və Sanlının əsərlərində 6563 sayılı Kanunda edilmiş dəyişikliklərin, platforma bazarlarında tekelleşme riski və veri üstünlüyü problemləri baxımından dəyərləndirilməsi aparılır [9]. Elektron ticarət platformalarının sahibkarlığa təsiri ikitərəflidir: bir tərəfdən onlar bazara çıxışı asanlaşdırır, digər tərəfdən isə platforma operatorlarının öz üstün mövqelərindən istifadə etməsi rəqib satıcıların və kiçik sahibkarların fəaliyyətini zəiflədə bilər. Bu səbəbdən rəqəmsal antiinhisar siyasəti müasir sahibkarlığın qorunması baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

Türkiyədə Rekabet Kurumu tarixən Avropa Birliyi təsiri altında formalaşmışdır. Özbilgin və Durmaz və başqalarının araşdırmaları göstərir ki, Türkiyənin AB ilə gömrük birliyi və uyğunlaşdırma prosesi rəqabət hüququnun institutlaşmasına ciddi təkan vermişdir [25][21]. Bu da sahibkarlar üçün daha proqnozlaşdırılan və qaydalara əsaslanan bazar mühiti yaratmışdır.

4. Müqayisəli hüquqi təhlil: antiinhisar siyasətinin sahibkarlığa konkret təsirləri

Azərbaycan və Türkiyə modelləri arasında ən əsas fərq tətbiq intensivliyində və institusional yetkinlikdədir. Türkiyədə 4054 sayılı Kanun əsasında formalaşmış uzunmüddətli qərar praktikası, uzlaşma və taahhüt kimi

prosedur alətləri, sektorial təhlillər və rəhbər sənədlər sahibkarlar üçün daha inkişaf etmiş hüquqi proqnozlaşdırıla bilmə mühiti yaradır [21][22]. Azərbaycanda isə yeni Rəqabət Məcəlləsi bu istiqamətdə sistemli çərçivə yaratsa da, tətbiq praktikasının dərinləşməsi zaman tələb edir [4].

Bununla belə, hər iki sistemdə antiinhisar siyasətinin sahibkarlıq üçün üç ortaq müsbət nəticəsi görünür. Birincisi, bazara giriş maneələrinin azaldılmasıdır. Kartel razılaşmaları və bazarın bölüşdürülməsi kimi davranışlar yeni sahibkarların bazara daxil olmasını çətinləşdirir; onların qadağan edilməsi bazar imkanlarını genişləndirir [20][24]. İkincisi, dominant mövqedən sui-istifadənin qarşısının alınmasıdır. Bu, xüsusilə startaplar, texnoloji təşəbbüslər və regional bazarlarda fəaliyyət göstərən kiçik sahibkarlar üçün vacibdir. Üçüncüsü, hüquqi müəyyənliyin artırılmasıdır; bazar qaydalarının aydın olması investisiya qərarlarını asanlaşdırır.

Eyni zamanda, antiinhisar siyasətinin sahibkarlığa mənfi təsir riski də nəzəri olaraq mövcuddur. Həddindən artıq sərt nəzarət, iqtisadi reallıqları nəzərə almayan müdaxilə, cərimə və prosedurların qeyri-müəyyənliyi, yaxud innovativ biznes modellərinin ənənəvi meyarlarla qiymətləndirilməsi bəzi hallarda sahibkarlıq təşəbbüsünü zəiflədə bilər [10][11]. Buna görə antiinhisar siyasəti rəqabəti qorumaqla yanaşı, bazar dinamizmini də nəzərə almalıdır.

Azərbaycan üçün Türkiyə təcrübəsindən çıxarıla biləcək mühüm nəticələrdən biri ixtisaslaşmış tətbiq praktikasının, rəhbər sənədlərin və ictimai əsaslandırılmış qərarların sahibkarlıq mühiti üçün əhəmiyyətidir. Türkiyədə Rekabet Kurumu qərarları bazar iştirakçılarına nəyin yolverilməz olduğu barədə daha aydın siqnal verir [21][27]. Azərbaycanda bu cür praktikanın formalaşması sahibkarların hüquqi uyğunluq mədəniyyətini gücləndirə bilər.

Türkiyə üçün isə Azərbaycanın yeni kodifikasiya təcrübəsi maraqlıdır. Rəqabət hüququnun sistemləşdirilməsi, əvvəlki parçalı tənzimləmələrin bir mərkəzləşdirilmiş məcəllə çərçivəsinə keçirilməsi hüquqi müəyyənlik baxımından üstünlük yarada bilər [4]. Əgər bu kodifikasiya səmərəli tətbiq və müstəqil institusional icra ilə müşayiət olunsa, sahibkarlığın müdafiəsi baxımından ciddi nəticələr verə bilər.

Müqayisəli baxımdan daha bir vacib məsələ dövlətin bazardakı roludur. Azərbaycan iqtisadiyyatında dövlətin iştirak payı və strateji sektorlardakı təsiri daha yüksək olduğundan antiinhisar siyasəti yalnız özəl şirkətlər arasındakı davranışlara deyil, bazar neytrallığı və stimulların ayrı-seçkilik yaratmaması məsələsinə də həssas yanaşmalıdır [14][17]. Türkiyədə isə əsas diqqət daha çox özəl bazar davranışlarına və sektorial bazar gücünə yönəlmişdir [11][27].

5. Nəticə

Aparılan təhlil göstərir ki, antiinhisar siyasəti sahibkarlığın məhdudlaşdırılması deyil, onun davamlı və ədalətli inkişafının hüquqi təminatıdır. Rəqabət hüququ bazarda güc cəmləşməsinin qarşısını almaqla, yeni təşəbbüslərin bazara girişini asanlaşdırmaqla və istehlakçı rifahını qorumaqla sahibkarlığın real məzmununu gücləndirir. Buna görə sahibkarlıq azadlığı ilə antiinhisar müdaxiləsi arasında formal ziddiyyət yox, funksional tamamlayıcılıq mövcuddur [1][3][20].

Azərbaycan hüququnda Konstitusiyanın 15 və 59-cu maddələri, əvvəlki antiinhisar qanunvericiliyi və yeni Rəqabət Məcəlləsi bu tamamlayıcılığı normativ səviyyədə ifadə edir [1][2][4]. Türkiyə hüququnda isə Anayasanın 48 və 167-ci maddələri, 4054 sayılı Kanun və Rekabet Kurumu təcrübəsi sayəsində daha inkişaf etmiş tətbiq modeli formalaşmışdır [3][5][21]. Müqayisəli baxımdan Türkiyə təcrübəsi tətbiq və qərar praktikası, Azərbaycan isə yeni kodifikasiya və sistemli yenilənmə baxımından diqqət çəkir.

Gələcək üçün hər iki ölkədə antiinhisar siyasətinin sahibkarlığa müsbət təsirini artırmaq üçün bir neçə istiqamət vacib görünür: kiçik və orta sahibkarların bazara giriş maneələrinin daha dərindən monitorinqi, rəqəmsal platformalarda dominasiya və verilərə çıxış problemlərinin ayrıca nəzərə alınması, sanksiya və müdaxilə mexanizmlərində ölçülülük prinsipinin qorunması, habelə qərarların şəffaf və proqnozlaşdırılan şəkildə əsaslandırılması. Nəticə etibarilə, sağlam rəqabət mühiti yaradılmadan azad sahibkarlığın real təminatından danışmaq mümkün deyil.

References

[1] Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası. https://e-qanun.az/framework/897
[2] Azərbaycan Respublikası, "Antiinhisar fəaliyyəti haqqında" Qanun. https://e-qanun.az/framework/8249
[3] Türkiye Cumhuriyeti Anayasası.
[4] Azərbaycan Respublikasının Rəqabət Məcəlləsi. https://e-qanun.az/framework/56187
[5] 4054 sayılı Rekabetin Korunması Hakkında Kanun. Rekabet Kurumu / Mevzuat.
[6] Hatice Dilaver, "Rekabet Hukuku ve Türk Dünyası," Uluslararası Türk Dünyası Araştırmaları Dergisi 7, no. 4 (2024): 295-304.

[7] Dilan Alma, Avrupa Birliği ve Türkiye rekabet hukukunda alıcı gücü ve alıcı gücüne yönelik rekabet politikası tasarımı (2021).
[8] Dilek Karaman, "Avrupa Birliğinin İşleyişine Dair Anlaşmanın 102 ve Türkiye'nin 4054 Sayılı Rekabetin Korunması Hakkında Kanununun 6. Maddeleri Açısından Bağlama Anlaşmaları," Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 34 (2015): 63-73.
[9] Aslıhan Kart, "Elektronik Ticarettte Rekabet Hukuku Üzerinden Cezalandırma Politikaları ve Avrupa Birliği Dijital Piyasalar Yasası Örneği," Kırıkkale Hukuk Mecmuası 4, no. 2 (2024): 433-457; Kerem Cem Sanlı, "Elektronik Ticaretin Düzenlenmesi Hakkında Kanun'da 7214 Sayılı Kanun ile Yapılan Değişikliklerin Rekabet Politikası Açısından Değerlendirilmesi II," Legal Hukuk Dergisi 21, no. 247 (2024).
[10] Esra Keskin Çakmak, "Anayasa Mahkemesi'nin 5015 Sayılı Kanuna İlişkin İptal Kararı Bağlamında: Vergi Hukukunda Özel Teşebbüs Kurma Özgürlüğü," İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi 16, no. 1: 248-261.
[11] Yüksel Metin, "Temel Hakların Sınırlandırılması ve Ölçülülük: Ölçülülük İlkesi Evrensel Bir Anayasal İlke midir?," Süleyman Demirel Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi 7, no. 1 (2017): 1-74; Gürsel Orer, "Ekonomik Kamu Düzeni ve Devletin Ekonomiye Müdahalesi," Uyuşmazlık Mahkemesi Dergisi 6 (2015): 363-393.
[12] Vüqar Mehralı Nəzərov, "Kiçik Sahibkarlıq Sahəsində Rəqabətin İnkişafı və Antiinhisar Siyasətinin Aktual Problemləri," TURAN-SAM 2, no. 6 (2010): 85-90; Vugar Nazarov, "Problems of Competition in the Sector of Small Business Development and Antimonopoly Policy," TURAN 2, no. 6 (2010).
[13] Zamiq Aslanov, "Constitutional Legal Basis of Economic Sovereignty," Features and Problems of Implementing Economic Reforms in Azerbaijan 2, no. 2 (2025): 9-22.
[14] "Heydər Əliyevin Çoxşaxəli İqtisadi Siyasəti və Azərbaycanda Sahibkarlığın İnkişafı," Audit 1, no. 39 (2023): 64-74.
[15] İntiqam Bəşirov, Şirkətlərarası rəqabət (2010).
[16] Məhəmməd Hüseynzadə, Azərbaycanda kiçik və orta sahibkarlığın gücləndirilməsi və rəqabət qabiliyyətinin artırılması (Khazar University, 2023).
[17] İbrahimli Zülfüqar və Fərzəliyev Z. E. Elşən, "Azərbaycanda rəqabət münasibətlərinin səmərəli tənzimlənməsi: iqtisadi mexanizmin inkişafı və tətbiqi," Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions 48, no. 01 (2025): 59-68.
[18] Ələfsər Ələfsərli, Nihat Mehdixanlı, İsfəndiyar Nəcəfov və Əliyar Xanlarov, Dövlət investisiya proqramlarının səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi (2024); Gülbəniz Əliyeva, "Azərbaycan sənayesinin rəqabət qabiliyyətinin yüksəldilməsi məsələləri."
[19] Emin Kərimov, Azərbaycan korporativ (şirkətlər) hüququ (Bakı: Qanun Nəşriyyatı, 2014).
[20] Rekabet Kurumu, Genel Bilgiler ve 4054 sayılı Kanun açıklamaları.
[21] Ahmet Fatih Durmaz et al., "Türkiye'de Rekabet Hukuku ve Rekabet Kurumunun Tarihi," Ankara Barosu Dergisi 80, no. 3 (2022): 439-467.
[22] Rekabet Kurumu, Uzlaşma Yönetmeliği (2021) ve Taahhüt Tebliği (2021).
[23] Güldeniz Doğan Alkan, "Rekabet Kurulu Kararları," Fikri Mülkiyet ve Rekabet Hukuku Dergisi.
[24] Doğan Eser, Türk ve Avrupa Birliği rekabet hukukunda internet satış kısıtlamaları (2025).
[25] Şenay Özbilgin, AB Ortak Rekabet Politikasının Türk Rekabet Politikasına Etkileri (1998).
[26] H. Gökçe Zabunoğlu, "Ticari Hükümler ve Yeni Anayasada Yer Alması Gereken Ticari Hükümlere İlişkin Bazı Öneriler," Ankara Barosu Dergisi 1 (2013): 73-112.
[27] Sevda Yaşar Coşkun, "Neoliberal Dönüşüme Rekabet Otoritelerinin Katkısı: Türk Rekabet Kurumu Örneği," Kesit Akademi Dergisi 7 (2017): 224-239.

AZƏRBAYCAN VƏ TÜRKİYƏDƏ SAHİBKARLIQ AZADLIĞININ KONSTİTUSİON ƏSASLARININ MÜQAYİSƏSİ

Hakim AZİZ
Karabük Üniversitesi İşletme Fakültesi
İşletme Bölümü Ticaret Hukuku ABD.
Karabük, Türkiye
hakimbey77@hotmail.com
hakimaziz@karabuk.edu.tr
ORCID: 0000-0002-2566-5784

Xülasə: Bu məqalədə Azərbaycan Respublikası Konstitusiyası və Türkiyə Cümhuriyyəti Anayasası əsasında sahibkarlıq azadlığının konstitusion əsasları müqayisəli şəkildə təhlil edilir. Tədqiqatda sahibkarlıq azadlığının mülkiyyət hüququ, müqavilə azadlığı, sosial dövlət prinsipi, rəqabət mühiti və ölçülülük ilkəsi ilə qarşılıqlı əlaqəsi araşdırılır. Nəticə etibarilə göstərilir ki, Azərbaycan modelində azad sahibkarlıq hüququ birbaşa konstitusion norma ilə təsbit olunduğu halda, Türkiyə modelində bu hüquq bir neçə anayasal müddəanın sistematik şərhi, xüsusilə xüsusi təşəbbüs azadlığı, iqtisadi kamu düzeni və mülkiyyətin qorunması çərçivəsində formalaşır.
Açar sözlər: sahibkarlıq azadlığı; konstitusiya hüququ; Azərbaycan Respublikası Konstitusiyası; Türkiye Cumhuriyeti Anayasası; xüsusi təşəbbüs azadlığı; mülkiyyət hüququ; ölçülülük; iqtisadi kamu düzeni
Abstract: This article comparatively examines the constitutional foundations of the freedom of entrepreneurship in Azerbaijan and Türkiye. It analyzes the relationship of entrepreneurial freedom with property rights, freedom of contract, the social state principle, competition, and proportionality. The study concludes that the Azerbaijani model secures entrepreneurial freedom through an explicit constitutional clause, whereas the Turkish model derives it from the systematic interpretation of several constitutional norms, especially freedom of private enterprise, economic public order, and constitutional protection of property.
Keywords: freedom of entrepreneurship; constitutional law; Constitution of the Republic of Azerbaijan; Constitution of the Republic of Türkiye; freedom of private enterprise; property rights; proportionality; economic public order

Giriş

Sahibkarlıq azadlığı müasir konstitusiya hüququnda iqtisadi azadlıqlar sisteminin əsas komponentlərindən biri hesab olunur. Bu azadlıq fərdin öz qabiliyyətindən, əməyindən və əmlakından istifadə edərək gəlir əldə etməsinə, iqtisadi təşəbbüs göstərməsinə və bazar münasibətlərində sərbəst iştirak etməsinə hüquqi zəmin yaradır.[1] Konstitusion baxımdan sahibkarlıq azadlığı yalnız iqtisadi fəaliyyətin sərbəstliyi kimi deyil, eyni zamanda hüquqi dövlət, mülkiyyət hüququ, müqavilə azadlığı və sosial dövlət prinsipləri ilə qarşılıqlı əlaqədə təhlil olunmalıdır.[2]

Azərbaycan Respublikası Konstitusiyasında sahibkarlıq azadlığı ayrıca maddə ilə birbaşa təsbit olunmuşdur. Türkiyə Cümhuriyyəti Anayasasında isə bu hüquq daha çox çalışma və müqavilə azadlığı, xüsusi təşəbbüs sərbəstliyi və bazarın sağlam işləməsinə dair müddəaların sistematik təhlili əsasında formalaşır.[3] Bu baxımdan hər iki ölkə bazar iqtisadiyyatına əsaslanan konstitusion modelə malik olsa da, sahibkarlıq azadlığının normativ ifadəsi, dövlətin iqtisadiyyata müdaxiləsinin sərhədləri və hüququn təminat mexanizmləri baxımından müəyyən fərqlər mövcuddur.

Mövzunun aktuallığı ondadır ki, Azərbaycan və Türkiyə kimi yaxın hüquqi ənənəyə malik iki ölkənin müqayisəsi sahibkarlıq azadlığının konstitusion mahiyyətini daha aydın ortaya qoymağa imkan verir. Müasir hüquq ədəbiyyatında bu hüquq yalnız klassik bazar münasibətləri kontekstində deyil, həm də rəqəmsal iqtisadiyyat, bərabər çıxış imkanları, korporativ idarəetmə, ticari nitelikli mülkiyyət və iqtisadi suverenlik aspektlərindən araşdırılır.[4]

1. Sahibkarlıq azadlığının konstitusiya-hüquqi mahiyyəti

Doktrinal yanaşmada sahibkarlıq azadlığı şəxsin dövlətin əsassız müdaxiləsi olmadan təsərrüfat fəaliyyəti ilə məşğul olmaq, müəssisə yaratmaq, sərmayə qoymaq, müqavilə bağlamaq və qanuni mənfəət əldə etmək imkanını ehtiva edir. Bu mənada sahibkarlıq azadlığı həm mənfi status hüququ kimi, yəni dövlətin əsassız müdaxilədən çəkinməsini tələb edən hüquq kimi, həm də dövlətin müsbət öhdəliklərini doğuran hüquq kimi çıxış edir.[5]

Dövlət təkcə müdaxilə etməməli deyil, həm də rəqabət mühitini, hüquqi sabitliyi və mülkiyyətin effektiv müdafiəsini təmin etməlidir. Davudovun qeyd etdiyi kimi, keçid iqtisadiyyatlı ölkələrin konstitusiyalarında mülkiyyət hüququ və sahibkarlıq azadlığı paralel təminat mexanizmləri kimi nəzərdə tutulur.[6] Bu, sahibkarlıq azadlığının təkbaşına deyil, iqtisadi konstitusiyanın bütöv strukturu daxilində başa düşülməsini zəruri edir.

Eyni zamanda sahibkarlıq azadlığı mütləq xarakter daşımır. Sosial dövlət və hüquqi dövlət prinsipləri iqtisadi azadlıqların ictimai maraq, milli təhlükəsizlik, sağlamlıq, ətraf mühitin qorunması və rəqabətin saxlanılması kimi əsaslarla məhdudlaşdırılmasını mümkün edir.[7] Türk hüquq doktrinasında ölçülülük ilkəsinin bu məhdudiyyətlərin konstitusion legitimliyinin əsas meyarlarından biri olduğu xüsusi vurğulanır.[8]

2. Azərbaycan Respublikasında sahibkarlıq azadlığının konstitusion əsasları

Azərbaycan Respublikasında sahibkarlıq azadlığının əsas normativ dayağı Konstitusiyanın 59-cu maddəsidir. Həmin maddəyə əsasən, hər kəs qanunla nəzərdə tutulmuş qaydada öz imkanlarından, qabiliyyətindən və əmlakından sərbəst istifadə edərək təkbaşına və ya başqaları ilə birlikdə azad sahibkarlıq fəaliyyəti və ya qanunla qadağan edilməmiş digər iqtisadi fəaliyyət növü ilə məşğul ola bilər.[9] Bu norma sahibkarlıq azadlığını birbaşa əsas hüquq kimi tanıyır və onun subyekt dairəsini geniş müəyyən edir.

Konstitusiyanın 15-ci maddəsi bazar münasibətləri əsasında iqtisadiyyatın inkişafına şərait yaradıldığını və azad sahibkarlığa təminat verildiyini bəyan edir. Beləliklə, Azərbaycan Konstitusiyasında sahibkarlıq azadlığı yalnız fərdin subyektiv hüququ kimi deyil, həm də ölkənin iqtisadi konstitusiyasının struktur elementi kimi çıxış edir.[10] Aslanov haqlı olaraq qeyd edir ki, sahibkarlıq hüququnun inkişafı məhz Konstitusiyanın 15 və 59-cu maddələrinin hüquqi məzmununun konkretləşdirilməsi ilə bağlıdır.[11]

Konstitusiyanın 29-cu maddəsində təsbit olunmuş mülkiyyət hüququ sahibkarlıq azadlığının maddi-hüquqi bazasını təşkil edir. Mülkiyyətin müdafiəsi olmadan iqtisadi təşəbbüsün davamlı həyata keçirilməsi mümkün deyil.[12] Bu baxımdan mülkiyyət hüququ və sahibkarlıq azadlığı arasında funksional və normativ bağlılıq mövcuddur.

"Sahibkarlıq fəaliyyəti haqqında" Qanun, eləcə də Konstitusiya Məhkəməsinin iqtisadi fəaliyyətlə bağlı hüquqi mövqeləri göstərir ki, Azərbaycanda azad sahibkarlıq hüququ yalnız proqram xarakterli prinsip deyil, birbaşa tətbiq olunan və məhkəmə müdafiəsi ilə qorunan hüquqdur.[13] Bu yanaşma inzibati və fiskal müdaxilələrin konstitusion nəzarətə tabe olmasını tələb edir.

Azərbaycan hüquq doktrinasında sahibkarlıq azadlığının əlavə aspektləri də önə çəkilir. Hüseynova iqtisadi resurslara və sahibkarlıq imkanlarına bərabər çıxış məsələsini, İbrahimov rəqəmsal iqtisadiyyatın yeni hüquqi çağırışlarını, Kərimov isə korporativ strukturlaşmanın və özünütənzimləmə elementlərinin əhəmiyyətini vurğulayır.[14] Mingəçevir Dövlət Universitetinin materiallarında hüquqi faktorların, vergi və kredit siyasətinin sahibkarlığın formalaşmasına təsiri ayrıca qeyd olunur.[15]

3. Türkiyə Cümhuriyyətində sahibkarlıq azadlığının konstitusion əsasları

Türkiyə Cümhuriyyəti Anayasasında sahibkarlıq azadlığının əsas normativ bazası 48-ci maddədə əks olunur. Həmin maddəyə görə, hər kəs istədiyi sahədə çalışma və sözləşme hürriyetlərinə malikdir; özəl təşəbbüs yaratmaq sərbəstdir.[16] Bu müddəa Azərbaycan Konstitusiyasındakı kimi "azad sahibkarlıq hüququ" terminindən istifadə etməsə də, mahiyyət etibarilə həmin hüququn əsas elementlərini özündə birləşdirir.

Türkiyə modelində də mülkiyyət hüququ sahibkarlıq azadlığının təməl dayaqlarındandır. Anayasanın 35-ci maddəsi mülkiyyət və miras hüququnu təmin edir. Ticari nitelikli mülkiyyətə dair yanaşma göstərir ki, şirkət payları, alacaq hüquqları və digər iqtisadi dəyərlər də geniş mənada anayasal qoruma altındadır.[17]

Türkiyə modelinin mühüm xüsusiyyəti onun sosial dövlət prinsipi ilə sıx əlaqədə qurulmasıdır. Anayasanın 2-ci maddəsinə görə, Türkiyə Respublikası demokratik, laik və sosyal bir hukuk devletidir.[18] Bu prinsip iqtisadi azadlıqların bazar sərbəstliyi ilə yanaşı sosial ədalət, ictimai rifah və hüquqi təhlükəsizlik meyarları əsasında şərh edilməsini şərtləndirir.

Anayasanın 167-ci maddəsi dövlətə bazarların sağlam və nizamlı işləməsini təmin etmək, inhisarlaşma və kartelləşmənin qarşısını almaq vəzifəsi verir.[19] Orerin iqtisadi kamu düzeni ilə bağlı təhlili də göstərir ki, dövlət bəzi hallarda bazara xaricdən müdaxilə edən deyil, bazarın struktur şərtlərini qoruyan konstitusion aktordur.[20]

4. Türk hüququnda xüsusi təşəbbüs azadlığının sərhədləri: ölçülülük və anayasal denetim

Türk hüquq ədəbiyyatında xüsusi təşəbbüs azadlığının məhdudlaşdırılması məsələsi xüsusilə ölçülülük ilkəsi ilə əlaqədə araşdırılır. Esra Keskin Çakmak, Anayasa Mahkemesi'nin 5015 sayılı Kanun'a ilişkin iptal kararı bağlamında vergi və inzibati müdaxilələrin yalnız qanuni dayanağa malik olmasının kifayət

etmədiyini, eyni zamanda həmin müdaxilələrin zərurət, əlverişlilik və ölçülülük testindən keçməli olduğunu göstərir.[21]

Yüksel Metin də qeyd edir ki, ölçülülük ilkəsi müasir anayasa hüququnda ümumi və əsas prinsipə çevrilmişdir; buna görə də ticarət və sahibkarlıq azadlığına yönələn məhdudiyyətlər hüququn özünü mənasızlaşdıracaq səviyyəyə çatmamalıdır.[22] Bu yanaşma sahibkarlıq azadlığının sadəcə tanınmasını deyil, onun maddi məzmununun qorunmasını da təmin edir.

H. Gökçe Zabunoğlu ticari həyatı birbaşa maraqlandıran konstitusion müddəaların yeni anayasa düşüncəsində ayrıca diqqətə alınmalı olduğunu vurğulayır. Bu fikir, ticari həyatın konstitusionlaşması prosesinə və sahibkarlıq azadlığının ümumi əsas hüquqlar sistemi içindəki çəkisinə işarə edir.[23] Altındağ və Çamurcu isə kamu tüzel kişilərinin bazara girişinin xüsusi təşəbbüs hürriyyətinə təsir edə biləcəyini, xüsusilə tekel doğuran modellərin anayasal baxımdan problem yarada biləcəyini qeyd edirlər.[24]

5. Müqayisəli təhlil

Azərbaycan və Türkiyə arasında ilk əsas fərq sahibkarlıq azadlığının normativ ifadə üsulundadır. Azərbaycan Konstitusiyası bu hüququ birbaşa və ayrıca maddə ilə təsbit edir. Türkiyə Anayasasında isə eyni hüquq bir neçə maddənin, xüsusən 48, 35, 2 və 167-ci maddələrin qarşılıqlı əlaqəsi əsasında formalaşır.[25] Bu baxımdan Azərbaycan modeli daha açıq və ekspressiv, Türkiyə modeli isə daha sistematik xarakter daşıyır.

İkinci fərq dövlətin iqtisadiyyatda rolunun vurğulanma dərəcəsi ilə bağlıdır. Azərbaycan Respublikasında Konstitusiya bazar münasibətlərini və azad sahibkarlığı tanısa da, dövlətin iqtisadi inkişafı yönləndirən və dəstəkləyən funksiyası daha qabarıq görünür.[26] Əhmədov, Alivardiyeva və Ağasəlimqızı sahibkarlığın normativ bazasının inkişafı, özəlləşdirmə, korporativ idarəetmə və investor maraqlarının qorunması kimi mövzular vasitəsilə bu xətti gücləndirirlər.[27]

Türk hüquq ədəbiyyatında isə ekonomik özgürlüklerin anayasal rejimi, ticari hükümler, ticari nitelikli mülkiyet və ölçülülük ilkəsi kimi başlıqlar altında sahibkarlıq azadlığının daha geniş anayasal bağlamda işlənməsi müşahidə olunur. Tiryaki göstərir ki, iqtisadi azadlıqlar dövlət-birey münasibətlərinin tarixi transformasiyası ilə birlikdə anlaşılmalıdır.[28]

Bununla belə, hər iki ölkədə ortaq xüsusiyyətlər də olduqca güclüdür. Hər iki sistemdə sahibkarlıq azadlığı mülkiyyət hüququ ilə sıx bağlıdır; hər iki sistemdə dövlət iqtisadi fəaliyyəti hüquqi əsaslarla məhdudlaşdıra bilir; hər iki ölkədə rəqabətin qorunması, haqsız müdaxilənin qarşısının alınması və iqtisadi hüquqların məhkəmə müdafiəsi mümkün sayılır.[29] Buna görə də həm Azərbaycan, həm də Türkiyə sahibkarlıq azadlığını qorunan, lakin tənzimlənən iqtisadi azadlıq kimi qəbul edir.

Nəticə

Aparılan təhlil göstərir ki, Azərbaycan və Türkiyədə sahibkarlıq azadlığı konstitusion səviyyədə tanınan əsas iqtisadi hüquqlardandır. Azərbaycan Respublikasında bu hüquq birbaşa 59-cu maddə ilə, eləcə də 15 və 29-cu maddələrlə birlikdə aydın hüquqi baza yaradır. Türkiyə Cümhuriyyətində isə eyni hüquq 48-ci maddə başda olmaqla 2, 35 və 167-ci maddələrin sistematik təhlili nəticəsində formalaşır.[30]

Türkiyə hüququnda xüsusi təşəbbüs azadlığı daha çox ölçülülük, anayasal denetim, ekonomik kamu düzeni və ticari mülkiyyətin qorunması kimi institutlarla birlikdə təhlil olunur. Azərbaycan hüququnda isə sahibkarlıq azadlığı daha birbaşa konstitusion formula ilə təsbit edilir və onun hüquqi təminatı dövlətin bazar münasibətlərinə şərait yaratmaq, azad sahibkarlığı dəstəkləmək və iqtisadi inkişafı təşviq etmək funksiyası ilə birlikdə başa düşülür.[31]

Bu səbəbdən müqayisəli planda Türkiyə modeli daha çox "sınırlandırılmış özgürlük və anayasal denetim", Azərbaycan modeli isə "birbaşa təminat və inkişafyönlü konstitusion qoruma" modeli kimi xarakterizə edilə bilər. Gələcək tədqiqatlarda bu müqayisənin konstitusiya məhkəmələrinin presedentləri, investisiya hüququ, fövqəladə hallarda iqtisadi azadlıqların məhdudlaşdırılması və rəqəmsal sahibkarlığın hüquqi problemləri kontekstində daha da genişləndirilməsi məqsədəuyğundur.

Qeydlər

1. Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası, maddə 59.

2. Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, md. 2, 35, 48, 167.

3. Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası, maddələr 15, 29, 59; Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, md. 48.

4. Zamiq Aslanov, "Constitutional Legal Basis of Economic Sovereignty," Features and Problems of Implementing Economic Reforms in Azerbaijan 2, no. 2 (2025): 9-22; Oktay Ibrahimov, Qlobal İnternet İqtisadiyyatı: müasir çağırışlar, imkanlar və Azərbaycan üçün açılan perspektivlər (2022); Altan Fahri

Gülerci, "Anayasa ve Özel Hukuk İlişkileri Bağlamında Ticari Nitelikli Mülkiyet Hakkının Korunması," Akdeniz Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi 12, no. I (2022): 239-289.
5. Kemal Gözler, Türk anayasa hukuku üzrə seçmə materiallar.
6. D. R. Davudov, "Features of Fixing and Ensuring the Right to Property in the Constitutions of the CIS Countries in a Comparative Context."
7. Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, md. 2; Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası, maddə 15.
8. Yüksel Metin, "Temel Hakların Sınırlandırılması ve Ölçülülük: Ölçülülük İlkesi Evrensel Bir Anayasal İlke midir?," Süleyman Demirel Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi 7, no. 1 (2017): 1-74.
9. Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası, maddə 59.
10. Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası, maddə 15.
11. Aslanov, "Constitutional Legal Basis of Economic Sovereignty," 9-22.
12. Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası, maddə 29.
13. Azərbaycan Respublikası, "Sahibkarlıq fəaliyyəti haqqında" Qanun; Azərbaycan Respublikası Konstitusiya Məhkəməsinin sahibkarlıq fəaliyyəti ilə bağlı hüquqi mövqeləri.
14. E. Yə. Hüseynova, Sahibkarliğin gender problemi (2021); Emin Kərimov, Azərbaycan korporativ (şirkətlər) hüququ (Bakı: Qanun Nəşriyyatı, 2014); Ibrahimov, Qlobal İnternet İqtisadiyyatı.
15. Mingəçevir Dövlət Universiteti, "Sahibkarlığın formalaşmasına təsir edən amillər" (2023).
16. Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, md. 48.
17. Gülerci, "Anayasa ve Özel Hukuk İlişkileri Bağlamında Ticari Nitelikli Mülkiyet Hakkının Korunması," 239-289.
18. Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, md. 2.
19. Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, md. 167.
20. Gürsel Orer, "Ekonomik Kamu Düzeni ve Devletin Ekonomiye Müdahalesi," Uyuşmazlık Mahkemesi Dergisi 6 (2015): 363-393.
21. Esra Keskin Çakmak, "Anayasa Mahkemesi'nin 5015 Sayılı Kanuna İlişkin İptal Kararı Bağlamında: Vergi Hukukunda Özel Teşebbüs Kurma Özgürlüğü," İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi 16, no. 1: 248-261.
22. Metin, "Temel Hakların Sınırlandırılması ve Ölçülülük," 1-74.
23. H. Gökçe Zabunoğlu, "Ticari Hükümler ve Yeni Anayasada Yer Alması Gereken Ticari Hükümlere İlişkin Bazı Öneriler," Ankara Barosu Dergisi 1 (2013): 73-112.
24. Halil Altındağ and Emin Çamurcu, "Kamu Tüzel Kişilerinin Sermaye Şirketi Kurabilme ve Sermaye Şirketine Ortak Olabilme Yetkisinin Dayanağı ve Sınırları," Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi 73, no. 4 (2025): 2233-2280.
25. Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası, maddə 59; Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, md. 48.
26. Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası, maddə 15.
27. N. H. Əhmədov, sahibkarlığın hüquqi-normativ bazası və inkişaf problemlərinə dair material (2016); Tarana Alivardiyeva, "Heydər Əliyevin Siyasi Kursunun Əsas Prioritetləri," Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi 12, no. 1 (2025): 943-956; Aleskerova Aygül Ağasəlimqızı, "Administration of Modern Organization Paradigm," Eurasian Academy of Sciences Social Sciences Journal (2017): 48-58.
28. Refik Tiryaki, Ekonomik Özgürlüklerin Anayasal Rejimi (2007).
29. Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası, maddələr 15, 29, 59; Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, md. 35, 48, 167.
30. Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası, maddələr 15, 29, 59; Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, md. 2, 35, 48, 167.
31. Çakmak; Gülerci; Orer; Metin.
32. Aslanov; Hüseynova; Ibrahimov; Kərimov; Mingəçevir Dövlət Universiteti materialları.

Ədəbiyyat

Ağasəlimqızı, Aleskerova Aygül. "Administration of Modern Organization Paradigm." Eurasian Academy of Sciences Social Sciences Journal (2017): 48-58.
Alivardiyeva, Tarana. "Heydər Əliyevin Siyasi Kursunun Əsas Prioritetləri." Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi 12, no. 1 (2025): 943-956.
Altındağ, Halil, and Emin Çamurcu. "Kamu Tüzel Kişilerinin Sermaye Şirketi Kurabilme ve Sermaye Şirketine Ortak Olabilme Yetkisinin Dayanağı ve Sınırları." Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi 73, no. 4 (2025): 2233-2280.
Aslanov, Zamiq. "Constitutional Legal Basis of Economic Sovereignty." Features and Problems of Implementing Economic Reforms in Azerbaijan 2, no. 2 (2025): 9-22.

Azərbaycan Respublikası. "Sahibkarlıq fəaliyyəti haqqında" Qanun.
Azərbaycan Respublikası Konstitusiya Məhkəməsi. Sahibkarlıq fəaliyyəti ilə bağlı qərarlar və hüquqi mövqelər.
Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası.
Çakmak, Esra Keskin. "Anayasa Mahkemesi'nin 5015 Sayılı Kanuna İlişkin İptal Kararı Bağlamında: Vergi Hukukunda Özel Teşebbüs Kurma Özgürlüğü." İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi 16, no. 1: 248-261.
Davudov, D. R. "Features of Fixing and Ensuring the Right to Property in the Constitutions of the CIS Countries in a Comparative Context."
Əhmədov, N. H. sahibkarlığın hüquqi-normativ bazası və inkişaf problemlərinə dair material. 2016.
Gözler, Kemal. Türk anayasa hüququna dair seçmə materiallar.
Gülerci, Altan Fahri. "Anayasa ve Özel Hukuk İlişkileri Bağlamında Ticari Nitelikli Mülkiyet Hakkının Korunması." Akdeniz Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi 12, no. I (2022): 239-289.
Hüseynova, E. Yə. Sahibkarliğin gender problemi. 2021.
Ibrahimov, Oktay. Qlobal İnternet İqtisadiyyatı: müasir çağırışlar, imkanlar və Azərbaycan üçün açılan perspektivlər. 2022.
Kərimov, Emin. Azərbaycan korporativ (şirkətlər) hüququ. Bakı: Qanun Nəşriyyatı, 2014.
Metin, Yüksel. "Temel Hakların Sınırlandırılması ve Ölçülülük: Ölçülülük İlkesi Evrensel Bir Anayasal İlke midir?" Süleyman Demirel Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi 7, no. 1 (2017): 1-74.
Mingəçevir Dövlət Universiteti. "Sahibkarlığın formalaşmasına təsir edən amillər." 2023.
Orer, Gürsel. "Ekonomik Kamu Düzeni ve Devletin Ekonomiye Müdahalesi." Uyuşmazlık Mahkemesi Dergisi 6 (2015): 363-393.
Tiryaki, Refik. Ekonomik Özgürlüklerin Anayasal Rejimi. 2007.
Türkiye Anayasa Mahkemesi. Mülkiyet hakkına dair emsal kararlar.
Türkiye Cumhuriyeti Anayasası.
Zabunoğlu, H. Gökçe. "Ticari Hükümler ve Yeni Anayasada Yer Alması Gereken Ticari Hükümlere İlişkin Bazı Öneriler." Ankara Barosu Dergisi 1 (2013): 73-112.

İNSAN HÜQUQLARI VƏ FÖVQƏLADƏ VƏZİYYƏT ZAMANI ONUN MƏHDUDLAŞDIRILMASI HALLARI

Əvəz Həsənov Azər oğlu
Dövlət Gömrük Komitəsinin Akademiyası
"Hüquqşünaslıq" ixtisası üzrə 1-ci kurs bakalavr tələbəsi
E-mail : hesenovevez630@gmail.com
Azərbaycan, Bakı

Xülasə: Bu məqalədə insan hüquqlarının mahiyyəti və onların demokratik cəmiyyətlərdə rolu araşdırılır. İnsan hüquqlarının milli və beynəlxalq səviyyədə qorunması əsas prinsip kimi qəbul olunmasına baxmayaraq, bu hüquqların mütləq xarakter daşımadığını və hansı müəyyən hallarda məhdudlaşdırılmasının mümkün olacağı araşdırılır. Bu məhdudlaşdırılmanın sərhədləri və onun digər hüquqlara hansı təsirinin olacağından danışaraq bu mövzunun nə qədər əhəmiyyətli olduğunu bir daha hər kəsin diqqətinə çatdırmağa çalışacağıq. Həmçinin insan hüquqlarının beynəlxalq hüquqi aktlarda təsbiti və bu aktların insan hüquqlarına hansı təsirinin olduğu araşdırılır. Xüsusilə, "Əsas insan hüquq və azadlıqlarının müdafiəsi haqqında" 1950-ci il tarixli Avropa Konvensiyası çərçivəsində bu hüquqlara necə qiymət verildiyi və hansı hallarda məhdudlaşdırılmaya icazə verildiyi araşdırılacaq.
Açar sözlər: İnsan hüquqları, fövqəladə vəziyyət, ictimai asayiş, dövlət təhlükəsizliyi, hüquqi balans, 1950-ci il tarixli Avropa Konvensiyası, Ümumdünya İnsan Hüquqları Bəyannaməsi, Mülki və siyasi hüquqlar haqqında 1966-cı il tarixli Beynəlxalq Pakt

HUMAN RIGHTS AND THEIR LIMITATIONS DURING A STATE OF EMERGENCY

Avaz Hasanov

Abstract: This article examines the nature of human rights and their role in democratic societies. Although the protection of human rights is accepted as a fundamental principle at both national and international levels, the article argues that these rights are not absolute and may be subject to limitations under certain circumstances. It explores the boundaries of such limitations and their potential impact on other rights, emphasizing the overall significance of this issue. Furthermore, the article analyzes the enshrinement of human rights in international legal instruments and evaluates the influence of these instruments on the

protection of rights. In particular, it investigates how human rights are interpreted within the framework of the 1950 European Convention on the Protection of Fundamental Human Rights and Freedoms, as well as the conditions under which restrictions on these rights are permitted.
Keywords: Human rights, state of emergency, public order, national security, legal balance, 1950 European Convention on the Protection of Fundamental Human Rights and Freedoms, Universal Declaration of Human Rights, 1966 International Covenant on Civil and Political Rights

Giriş

İnsan hüquqları müasir beynəlxalq hüquq sisteminin və demokratik cəmiyyətlərin əsasını təşkil edən fundamental dəyərlərdən biri kimi çıxış edir və fərdin ləyaqətinin, azadlığının və bərabərliyinin təmin olunmasına xidmət edir. Lakin hüquqi praktikada bu hüquqlar mütləq xarakter daşımır və müəyyən hallarda qanunvericilik çərçivəsində məhdudlaşdırıla bilər. Belə məhdudiyyətlər, əsasən, ictimai təhlükəsizlik, milli maraqlar və fövqəladə vəziyyətin tələbləri ilə əsaslandırılır. Müasir dövr üçün bu mövzunun aktuallığı ondan ibarətdir ki, insan hüquqlarının qorunması ilə dövlətin qanuni maraqları arasında balansın təmin edilməsi hüquqi və praktiki baxımdan mürəkkəb olaraq qalır. Mövcud elmi tədqiqatlar bu sahəni qismən əhatə etsə də, xüsusilə, məhdudlaşdırma hallarında hüquqların tətbiqi və onların sərhədlərinin müəyyənləşdirilməsi məsələsi daha dərin təhlilə ehtiyac duyur. Bunun üçün də bu istiqamətdə kompleks elmi araşdırmaların aparılması zəruri hesab olunur.

Əsas hissə

İnsan hüquqlarının mahiyyətinin aydın başa düşülməsi üçün onun məzmununun və əsas xüsusiyyətlərinin izahı dəqiq şəkildə müəyyən edilməlidir. Adından da göründüyü kimi "insan" və "hüquqlar" sözü onların vahid şəkildə təcəlli etdiyini göstərir. Aydın məsələdir ki, müasir dövrdə bütün əsas münasibətlərin təməlində dayanan insan hüquqları olmadan cəmiyyəti təsəvvür etmək mümkün olmaz. İnsan hüquqları ilə bağlı danışarkən qeyd etmək lazımdır ki, o, irqindən, dilindən, dinindən, cinsindən, dərisinin rəngindən asılı olmayaraq hər bir insanın ayrılmaz hüququdur. Çünki "insan hüquqları" heç bir ayrı-seçkilik olmadan hər bir insana aid olmaqla, o cümlədən azadlıq, bərabərlik, ədalətlilik, humanizm və s. kimi mühüm həyati prinsiplərə əsaslanmaqla universal xarakter daşıyır.(Əliyev, 2019). İnsan hüquqlarına milli və beynəlxalq yanaşma onunla bağlı fərqli fikirlər formalaşdırmışdır. Beynəlxalq hüququn anlayışı ona müxtəlif aspektlərdən yanaşmanı tələb edir. Bu zaman meydana gələn yeni tendensiyalar, qloballaşma və insan hüquqlarının ön plana çıxması hər bir dövlətin əsas meyar kimi öz əllərində insan hüquqlarını meyar kimi tutmasına səbəb olmuşdur.

İnsan hüquqlarının məhdudlaşdırılması

İnsan hüquq və azadlıqlarının məhdudlaşdırılması və onun qüvvədə olma müddətinin dəqiq hüdudlarının müəyyən edilməsi hər bir dövlətin ən mühüm və aktual problemlərindən biridir. Hüquqlardan istifadə zamanı hər bir insan onu elə formada istifadə etməlidir ki, o digər insanların öz hüquq və azadlıqlarını həyata keçirməsinə mane olmamış olsun. Hüquqlardan istifadə olunma insanın məsuliyyəti, azadlığın ölçü və hüdudları müəyyənləşdirilmiş, hüquqla təyin edilmiş mümkün məhdudiyyətlərlə, humanizm, həmrəylik və əxlaq prinsipləri ilə əlaqələndirilmişdir. (Əliyev, 2019). Bu müddəa Ümumdünya İnsan Hüquqları haqqında 1948-ci il tarixli Bəyannamədə belə ifadə olunmuşdur: "Hər bir insan öz hüquq və azadlıqlarını həyata keçirərkən yalnız o məhdudiyyətlərə məruz qala bilər ki, onlar müstəsna olaraq, başqalarının hüquq və azadlıqlarının lazımı qaydada tanınması və onlara hörmət edilməsinin təmin edilməsi və demokratik cəmiyyətdə əxlaq qaydalarının, ictimai asayişin və ümumi rifahın ədalətli tələblərinin ödənilməsi naminə qanunla müəyyən edilmişdir." Həmçinin bu Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyasının 71-ci maddəsinin 2-ci bəndində belə ifadə olunmuşdur : İnsan və vətəndaş hüquqlarının və azadlıqlarının həyata keçirilməsini heç kəs məhdudlaşdıra bilməz. Hər kəsin hüquq və azadlıqları bu Konstitusiyada və qanunlarda müəyyən edilmiş əsaslarla, habelə digərlərinin hüquq və azadlıqları ilə məhdudlaşır." Bəs insan hüquq və azadlıqları hansı hallarda və nə üçün məhdudlaşdırılır ? Zaman-zaman hər bir ölkənin bütün və ya ayrı-ayrı ərazilərində qabaqcadan qarşısının alınması mümkün olmayan, sülh üçün təhlükə sayılan və ya ayrı-ayrı böhran vəziyyətləri yaradan müəyyən hallar baş verir. Bu zaman ,əlbəttə, istənilən dövlətin ən ümdə məqsədi həm insan hüquqlarının, həm də dövlətin təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün bu vəziyyəti aradan qaldıran, təxirəsalınmaz addımlar atmasıdır. Belə vəziyyətlərin aradan qaldırılması üçün isə dövlətlər öz ərazilərində müəyyən rejimlər tətbiq edirlər. Ölkəmizdədə bu cür hallarda tətbiq edilən rejimlər xüsusi inzibati hüquqi rejimlər adlanır və üç yerə bölünür: fövqəladə vəziyyət rejimi və hərbi vəziyyət rejimi və karantin rejimi.(Əzizli, 2022). Əvvəla, nəzərə almaq lazımdır ki, insan hüquq və azadlıqlarının məhdudlaşdırılmasının özü də insanları və onların digər hüquqlarını qorumaqdan ötrüdür. Yəni məhdudlaşdırmanı həyata keçirən dövlətin məqsədi elə məhdudlaşdırmadır ki, o insanın təməl hüquqlarını

qorumağa istiqamətlənib. Məhdudlaşdırma hallarından sui-istifadə halları mümkün ola biləcəyindən bu sadəcə qanunvericilikdə müəyyən edilmiş hallarda mümkün ola bilər. Bəs məhdudlaşdırmaya şərait yarada biləcək hallar hansılardır ? Bununla bağlı danışarkən ilk növbədə fövqəladə hallar nəzərə alınmalıdır. Fövqəlada vəziyyətdə insan hüquqlarının müdafiəsi insan hüquqlarının müdafiəsinin ayrılmaz tərkib hissəsidir. İlk növbədə bu halda insan hüquqlarının müdafiəsi məsələləri tənzimlənərkən nəzərə alınmalıdır ki, onların müvəqqəti xarakter daşımaları ilə bərabər həm də müəyyən beynəlxalq -hüquqi standartlara tabe edilmiş olmasıdır. Həmçinin fövqəladə vəziyyətin tətbiq edilməsinin özü də insan hüquqlarının real təminatı üçündür. Fövqəlada vəziyyət zamanı insan hüquq və azadlıqlarının müdafiəsinin əsas normaları Mülki və siyasi hüquqlar haqqında 1966-ci il tarixli Beynəlxalq Paktın 4-cü maddəsi və İnsan hüquq və əsas azadlıqlarının müdafiəsi haqqında 1950-ci il tarixli Avropa Konvensiyasının 15-ci maddəsi konteksində nəzərdən keçirilir. Avropa Konvensiyasında bu belə təsvir edilmişdir : "Müharibə və ya millətin həyatını təhdid edən digər fövqəladə hallar zamanı Razılığa gələn Yüksək Tərəflərdən hər hansı biri onun beynəlxalq hüquqa müvafiq digər öhdəliklərinə zidd olmamaq şərti ilə, yalnız vəziyyətin fövqəladəliyinin şərtləndirə biləcəyi səviyyədə bu Konvensiya üzrə öhdəliklərinə uyğun olmayan tədbirlər görə bilər." burada əsas olan bir neçə nüansa toxunulmuşdur. 1.Hər bir hal üçün fövqəladə vəziyyət elan edilə bilməz. Fövqəladə vəziyyətin elan edilməsi üçün müəyyən hallar mövcud olmalıdır. 2.Dövlət fövqəlada vəziyyətin olduğunu əsas gətirərək öz öhdəliklərinin icrasından imtina edə bilməz. Bununla bağlı milli qanunvericiliyimizdə də xüsusi qaydalar müəyyən edilmiş, qanunlar qəbul edilmişdir. "Fövqəladə vəziyyət və sosial xarakterli fövqəladə mühit haqqıqnda Azərbaycan Respublikasının Qanunu" bunun ən əsas nümunələrindən biridir. Buna uyğun olaraq, fövqəladə halın tətbiqi üçün aşağıdakılar əsas ola bilər :
a) təbii fəlakətlər, epidemiyalar, epizootiyalar, böyük ekoloji və başqa qəzalar;
b) Azərbaycan Respublikasının ərazi quruluşunun pozulmasına, onun quruluşunun zorla dəyişdirilməsinə yönəldilmiş hərəkətlər, zorakılıqla əlaqədar edilən iğtişaşlar, vətəndaşların həyatı və təhlükəsizliyi, və ya dövlət təsisatlarının normal fəaliyyəti üçün qorxudan millətlərarası münaqişələr.
Bu qanuna müvafiq olaraq biz bu qənaətlərə gələ bilərik :
1.Millətin həyatı üçün təhlükə yaradan fövqəladə vəziyyət şəraiti olmalıdır
2.Fövqəladə vəziyyət rəsmən elan edilməlidir
3.Geriçəkilmə tədbirləri haqqında məlumat verilməlidir
4.Həyata keçirilən tədbirlər yaranmış vəziyyətin kəskinliyinin tələb etdiyi dərəcədədir
5.Geri çəkilməsinə yol verilməyən hüquqlara toxunulmamalıdır
6.Heç bir ayrı-seçkilik olmadan həyata keçirilməlidir
Fövqəlada hallar zamanı insanın mütləq, yəni dövlətin toxuna bilmədiyi hüquqlar məhdudlaşdırıla bilməz, əks halda bu sui-istifadə hallarının artmasına səbəb olmaqla, məqsədindən kənar hallara istifadə oluna bilər. Dövlətlərin bir sıra insan hüquqlarının təminatından geri çəkilməsinə yol verilməməsi prinsipinə müvafiq olaraq, hətts millətin həyatına təhlükə yaradan fövqəlada vəziyyət zamanı bir sıra hüquqların həyata keçirilməsinə maneəçilik törədilə bilməz.(Əliyev, 2019). Bunlara nümunə kimi yaşamaq, köləliyə yol verilməməsi, işgəncəyə yol verilməməsi və s.

Nəticə.
Nəticə olaraq, insan hüquqlarının məhdudlaşdırılması hallarının azaldılması üçün tez-tez baş verən problemlər üçün effektiv tədbirlər görülməlidir. Xüsusilə, təbii fəlakətlər zamanı insan hüquqlarının məhdudlaşdırılmaması üçün bu halların baş verməsinə qarşı əvvəlcədən müdafiə mexanizmi olmalıdır. Bu mexanizm sayəsində həm insanların daha rahat yaşaya bilməsi üçün əlverişli şərait yaranar, həm də həmin problemlərin öz həllini tapana qədər onların əsas hüquqları məhdudlaşdırılmaz. Həmçinin dövlətlərin də bu vəziyyət də sui-istifadə etməsinin qarşısının alınması üçün hüquqi nəzarət mexanizmilərinin gücləndirilməsi, məhdudiyyətlərin müvəqqəti və proporsional xarakter daşıması, həmçinin dövlət fəaliyyətində şəffalığın təmin olunması zəruridir. Bütün bu halların hər birinin nəzərə alındığı bir halda inanırıq ki, məhdudlaşdırılma halları azalacaq və effektivlik artacaqdır.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı
1.Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası, https://e-qanun.az/framework/897
2.Fövqəladə vəziyyət haqqında Azərbaycan Respublikasının Qanunu, https://e-qanun.az/framework/7003
3. Əzizli, V. (2022). İnsan hüquqları Fövqəladə vəziyyət zamanı.
4.Əliyev, Ə. (2019). İnsan Hüquqları, Dərslik, Bakı, "Nurlar" nəşriyyatı, 130-135, 171-176.

5.Əsas insan hüquq və azadlıqlarının müdafiəsi haqqında Avropa Konvensiyası, https://www.echr.coe.int/documents/d/echr/convention_aze
6.Ümumdünya İnsan hüquqları Bəyannaməsi, https://www.coe.int/az/web/compass/the-universal-declaration-of-human-rights-full-version-
7.Mülki və siyasi hüquqlar haqqında Beynəlxalq Pakt, https://migration.gov.az/content/pdf/5acb034968016_M%C3%BClki%20v%C9%99%20siyasi%20h%C3%BCquqlar%20haqq%C4%B1nda%20Pakt.pdf

İNZİBATİ ORQANLARIN FƏALİYYƏTİNDƏN ŞİKAYƏT MEXANİZMLƏRİ

Röya Mirtalıbova
Bakı Dövlət Universiteti, Konstitusiya hüququ kafedrası, İnzibati hüquq, informasiya və maliyyə hüququ ixtisası, Bakı, Azərbaycan
royalmiriyeva@gmail.com

Xülasə: Bu məqalədə inzibati orqanların fəaliyyətindən şikayət mexanizmlərinin hüquqi əsasları sistemli şəkildə təhlil edilmişdir. Tədqiqat çərçivəsində vətəndaşların hüquqlarının qorunması, şikayət proseduru, inzibati fəaliyyətə nəzarət formaları və məhkəmə müdafiəsi mexanizmlərinin effektivliyi araşdırılmışdır. Təhlillər göstərir ki, əlçatan şikayət mexanizmləri dövlət idarəçiliyində qanunçuluğun artırılmasında mühüm rol oynayır. Eyni zamanda bürokratik maneələr, bəzi prosedurların mürəkkəbliyi və məlumatlandırmanın zəif olması vətəndaşların bu hüquqlardan tam istifadə etməsinə çətinlik yaradır. Məqalədə hüquqi mexanizmlərin təkmilləşdirilməsi, xarici qabaqcıl ölkələrin qanunvericiliklərinin araşdırılması vasitəsilə institusional islahatların gücləndirilməsi yolu ilə şikayət sisteminin effektivliyinin artırılması istiqamətləri əsaslandırılmışdır. Araşdırmanın nəticələri hüquqi dövlət prinsiplərinin möhkəmləndirilməsi baxımından elmi-praktik əhəmiyyət daşıyır.
Açar sözlər: inzibati, şikayət, hüquqlar, prosedur, hüquqi müdafiə, vətəndaş, qanunçuluq

GİRİŞ

Azərbaycan Respublikasında vətəndaşların inzibati orqanların fəaliyyətindən şikayət vermək hüququ ilk növbədə Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası ilə təmin edilir. Konstitusiyanın 60-cı maddəsinin 4-cü hissəsinə əsasən hər kəs dövlət orqanlarının, siyasi partiyaların, hüquqi şəxslərin, bələdiyyələrin və vəzifəli şəxslərin hərəkətlərindən və hərəkətsizliyindən inzibati qaydada və məhkəməyə şikayət edə bilər [1]. Bu hüquq daha konkret şəkildə "İnzibati icraat haqqında" Qanun çərçivəsində tənzimlənir; burada inzibati orqanlara şikayət verilməsi qaydaları, müddətləri və baxılma prosedurları müəyyən edilmişdir [2]. Eyni zamanda İnzibati Prosessual Məcəllə inzibati mübahisələrin məhkəmə qaydasında həlli və vətəndaşların hüquqlarının məhkəmə müdafiəsi mexanizmlərini təsbit edir [3]. Qeyd etdiyimiz normativ əsaslar vətəndaşların hüquqlarının qorunması, dövlət orqanlarının fəaliyyətində qanunçuluğun təmin olunması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir və effektiv şikayət mexanizmlərinin formalaşmasına hüquqi zəmin yaradır.

II. İNZİBATİ ŞİKAYƏT VƏ MEDİASİYA MƏRHƏLƏLƏRİNİN MƏCBURİLİYİ: HÜQUQİ VƏ PRAKTİKİ ƏSASLANDIRMA

Apardığımız tədqiqat nəticəsində ortaya çıxan problemlərdən biri ondan ibarətdir ki, vətəndaşlar mövcud qanunvericiliyə əsasən şikayəti öz seçimləri əsasında ya birbaşa yuxarı inzibati orqana, ya da məhkəməyə verə bilirlər. Qanunvericilik üzərində bu seçim azadlıq kimi görünür, amma praktikada bəzi çətinliklər yaradır. Çünki çox vaxt sadə və inzibati qaydada tez həll oluna biləcək məsələlər birbaşa məhkəməyə daşınır və bu da məhkəmələrdə iş yükünü xeyli artırır. Nəticədə həm proses uzanır, həm də daha ciddi və mürəkkəb işlərə vaxt çatdırmaq çətinləşir. Halbuki əvvəlcə yuxarı orqana müraciət məcburi olsa, bir çox problem məhkəməyə getmədən, daha qısa müddətdə həll oluna bilər. Bu həm vətəndaş üçün daha rahat

olar, çünki məhkəmə prosesi daha çox vaxt və bəzən əlavə xərc tələb edir, həm də dövlət üçün daha səmərəli mexanizm yaranar. Eyni zamanda inzibati orqanların öz daxilində səhvləri düzəltmək imkanı artar və ümumi idarəetmədə məsuliyyət hissi güclənər. Bu baxımdan ilkin mərhələdə yuxarı orqana müraciətin məcburi olması daha məqsədəuyğun görünür.

Bundan başqa, inzibati orqanın fəaliyyətindən və ya aktdan məhkəməyə şikayət etməzdən əvvəl mediasiyanın tətbiqinin məcburi olması da işıqlandırmağa dəyər məsələlərdəndir. İlk baxışda bu, sadəcə əlavə prosedur kimi görünə bilər, amma praktikada həm dövlət-vətəndaş münasibətlərini yumşaldır, həm də mübahisələrin daha tez və daha az formal şəkildə həllinə imkan yaradır. Bu yanaşmada əsas fikir odur ki, tərəflər, yəni vətəndaş və inzibati orqan birbaşa məhkəmə müstəvisinə keçmədən əvvəl dialoq vasitəsilə ortaq həll tapmağa çalışsınlar.

Bu modelin məcburi formada tətbiqi bir neçə cəhətdən əsaslandırıla bilər. Birincisi, bu mexanizm idarəetmədə açıq ünsiyyət və məsuliyyət mədəniyyətini gücləndirir, çünki tərəflər birbaşa üz-üzə gəlib məsələni aydınlaşdırmaq imkanı əldə edir. İkincisi, mübahisələrin əvvəlcədən daha aşağı səviyyədə həlli subsidiarlıq prinsipinə uyğun gəlir, yəni problem birinci olaraq ən yaxın və ən az formal mərhələdə həll olunmalıdır. Üçüncüsü, bu yanaşma məhkəmə sisteminin yüklənməsini azaldır və resursların daha ciddi işlərə yönəldilməsinə şərait yaradır. Bundan başqa, vətəndaş baxımından da proses daha rahat olur, çünki uzun məhkəmə çəkişmələrinə girmədən nəticə əldə etmək şansı yaranır. Ümumilikdə bu mexanizm həm hüquqi səmərəliliyi artırır, həm də inzibati qərarların keyfiyyətinə dolayı təsir göstərir.

Beynəlxalq təcrübədə də bu istiqamətdə müəyyən nümunələr mövcuddur. Məsələn, Misirdə inzibati mübahisələr üzrə məhkəməyə müraciətdən əvvəl məcburi mediasiya mərhələsinin tətbiqi ilə bağlı 2022-ci ildə irəli sürülən təşəbbüs bu yanaşmanın praktik model kimi nəzərdən keçirildiyini göstərir. Həmin layihəyə əsasən, ilkin mediasiya aparılmadan birbaşa məhkəməyə müraciət mümkün olmamalıdır və məqsəd həm mübahisələrin daha tez həlli, həm də məhkəmə sisteminin yükünün azaldılmasıdır. Bu kontekstdə Azərbaycan üçün də oxşar mexanizmin tətbiqi məqsədəuyğun görünə bilər [4].

III. İnzibati aktlarda şikayət mexanizmi ilə bağlı məlumatlandırma öhdəliyinin pozulması və onun aradan qaldırılması yolları

"İnzibati icraat haqqında" Qanunun 59.1.5-ci maddəsinə görə, inzibati orqan verdiyi yazılı aktda mütləq şəkildə həmin qərardan şikayət vermək qaydasını göstərməlidir [2]. Yəni vətəndaşa aydın olmalıdır ki, bu qərara qarşı hansı hüquqi müdafiə vasitələri var, hansı müddətdə istifadə oluna bilər və şikayət hansı orqana (və ya məhkəməyə) təqdim edilməlidir. Bu tələb əslində vətəndaşın hüquqlarını real şəkildə istifadə edə bilməsi üçün vacib təminatdır.

Amma praktikada bəzən inzibati orqanlar cavab məktublarında və ya aktlarda bu məlumatı ya ümumiyyətlə qeyd etmir, ya da natamam göstərir. Məsələn, vətəndaş sosial yardım və ya icazə ilə bağlı müraciət edir, ona imtina cavabı gəlir, amma məktubda "bu qərardan necə və hara şikayət edilə bilər" hissəsi yazılmır. Nəticədə vətəndaş ya ümumiyyətlə şikayət vermək imkanını bilmir, ya da səhv orqana müraciət edib vaxt itirir və müddəti ötürür. Bu isə praktik olaraq hüququn formal olaraq mövcud olub, amma real istifadəsinin çətinləşməsinə gətirib çıxarır.

Bu problemin həlli istiqamətində ilk növbədə inzibati nəzarət mexanizmlərinin daha sərt və işlək hala gətirilməsi vacibdir. Yəni inzibati orqan şikayət qaydasını göstərmədən akt qəbul edirsə, bu sadəcə formal nöqsan kimi yox, hüquqi nəticə doğuran ciddi pozuntu kimi qiymətləndirilməlidir. Praktik baxımdan bu yanaşma o deməkdir ki, vətəndaşın hüquqi müdafiə imkanını məhdudlaşdıran hər bir akt artıq etibarlı inzibati qərar kimi qəbul edilməməlidir. Məsələn, Avropa İttifaqı ölkələrinin bir çoxunda inzibati aktın bu tələbə uyğun verilməməsi onun icra müddətini və şikayət müddətinin başlamasını belə dayandırır. Bu, orqanları məcbur edir ki, qərarlarını tam və düzgün formada təqdim etsinlər.

Digər mühüm istiqamət elektron idarəetmə sistemlərinin standartlaşdırılmasıdır. Müasir inzibati hüquqda, xüsusilə Almaniya və Estoniya kimi ölkələrdə elektron sistemlərdə hər inzibati qərar avtomatik şablon üzərindən formalaşdırılır və şikayət qaydası sistem tərəfindən özü əlavə edilir. Bu yanaşma insan faktorundan yaranan səhvləri minimuma endirir. Praktik misal olaraq, vətəndaşa sosial yardım imtinası göndərilərkən sistem avtomatik olaraq "haraya və hansı müddətdə şikayət edilə bilər" hissəsini əlavə edir və bu məlumat olmadan qərarın göndərilməsi texniki olaraq mümkün olmur. Bu model Azərbaycanda da tətbiq olunsa, həm hüquqi boşluqlar azalar, həm də vətəndaşların məlumatlandırılması tam təmin edilər. Çünki real praktikada əsas problem təkcə hüququn olmaması deyil, onun istifadə qaydasının və mexanizminin vətəndaşa çatdırılmamasıdır. Buna görə də həm inzibati məsuliyyətin sərtləşdirilməsi, həm də rəqəmsal sistemlərdə məcburi standartların tətbiqi bu problemin ən effektiv həlli kimi çıxış edir.

IV. BÖYÜK BRİTANİYA TRİBUNALLAR SİSTEMİ NÜMUNƏSİNDƏ İNZİBATİ ŞİKAYƏTLƏRİN İXTİSASLAŞMIŞ ORQANLAR VASİTƏSİLƏ HƏLLİ VƏ ONUN MİLLİ HÜQUQ SİSTEMİNƏ ADAPTASİYA PERSPEKTİVLƏRİ

İnzibati şikayət mexanizmlərinin səmərəliliyi hüquqi dövlətin işləkliyini müəyyən edən əsas göstəricilərdən biridir. Bu mexanizmlərin düzgün qurulmaması və ya yalnız formal prosedur kimi işləməsi həm vətəndaşların hüquqlarının müdafiəsini zəiflədir, həm də məhkəmə sisteminin üzərində əlavə yük yaradır. Bu məqsədlə Azərbaycan dövləti daxili qanunvericidə bir neçə konstitusiya qanunu, xeyli sayda qanunlar, fərmanlar, qərarlar, sərəncamlar, insan hüquq və azadlıqlarının təmin edilməsi sahəsində milli fəaliyyət planları, şəffaflığın artırılması və korrupsiyaya qarşı mübarizə ilə bağlı proqramlar qəbul etmiş, bir çox təsisatlar, dövlət idarə və təşkilatları yaradılmış və onların fəaliyyəti təmin edilmişdir [5, s. 23]. Bu baxımdan bir çox inkişaf etmiş ölkələr inzibati mübahisələrin həlli üçün xüsusi ixtisaslaşmış ara mərhələ institutları formalaşdırmışdır. Bu kontekstdə Böyük Britaniyada tətbiq olunan "UK Tribunals system" modeli xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bu sistemə əsasən inzibati orqanların qərarları birbaşa ümumi məhkəməyə deyil, əvvəlcə ixtisaslaşmış tribunal qurumlarına yönləndirilir. Tribunallar sahə üzrə bilik və təcrübəyə malik üzvlərdən ibarət olduğuna görə mübahisəni həm hüquqi, həm də praktiki baxımdan daha çevik və dərin qiymətləndirə bilir. Burada əsas məqsəd formal məhkəmə prosedurunu artırmaq deyil, mübahisəni daha tez və daha effektiv həll etməkdir.

Bu modelin ümumi üstünlüyü ondan ibarətdir ki, inzibati mübahisələr daha aşağı səviyyədə, daha az formalizm və daha çox ixtisaslaşma ilə həll olunur. Bu isə həm vətəndaşın hüquqa çıxış imkanlarını genişləndirir, həm də məhkəmələrin üzərindəki yükü azaldır. Azərbaycan hüquq sistemində bu təcrübənin tətbiqi inzibati şikayət mexanizmlərinin daha sistemli qurulmasına töhfə verə bilər. Mövcud vəziyyətdə şikayətlər ya yuxarı inzibati orqana, ya da birbaşa məhkəməyə yönəlir və bu da bəzən həm paralel yük, həm də prosedur qeyri-effektivliyi yaradır. Bu səbəbdən inzibati şikayətlər üzrə ixtisaslaşmış ayrıca qurumun yaradılması və ya tribunal tipli ara mərhələnin formalaşdırılması daha məqsədəuyğun görünür. Belə bir model tətbiq olunduğu halda mübahisələr məhkəməyə çatmadan daha tez həll edilə bilər, inzibati orqanların məsuliyyəti artır, vətəndaşların isə hüquqi müdafiəyə çıxışı daha əlçatan olur. Bu modelin Azərbaycanda tətbiqi daha real və işlək olması üçün inzibati şikayətlər üzrə ayrıca ixtisaslaşmış qurumun yaradılması nəzərdə tutula bilər. Bu qurum, məsələn, İnzibati mübahisələrə baxılması Agentliyi kimi adlandırıla bilər və funksional olaraq məhkəmə ilə inzibati orqan arasında ara mərhələ kimi çıxış edərdi.

Praktiki baxımdan bu qurumun daxilində iş bölgüsü sahələr üzrə aparıla bilər. Məsələn, sosial təminat və müavinətlər üzrə şöbə, vergi və maliyyə inzibatçılığı üzrə bölmə, tikinti və şəhərsalma icazələri üzrə komissiya, həmçinin dövlət xidmətləri və lisenziyalar üzrə ayrıca qruplar formalaşdırıla bilər. Bu bölgü inzibati mübahisələrin daha ixtisaslaşmış şəkildə baxılmasına imkan verər, çünki hər sahənin öz hüquqi və texniki spesifikliyi var.

Bu modelin mühüm üstünlüyü ondan ibarətdir ki, hazırkı sistemdə yuxarı inzibati orqanlar çox vaxt tabeliyində olan qurumun qərarını obyektiv yox, daha çox onu müdafiə edən mövqedən qiymətləndirə bilir. Bu isə şikayət mexanizminin neytrallığını zəiflədir və vətəndaşda ədalətli baxışa inamı azaldır. İnzibati orqanların öz vəzifələrini bitərəf həyata keçirməsinə mane olan hər hansı hal olmamalıdır [6, s. 173]. Tribunal tipli ayrıca qurumlar isə inzibati strukturdan kənar olduğu üçün daha müstəqil və neytral qərar qəbul edə bilir. Nəticədə maraqlar toqquşması riski azalır, qərarların obyektivliyi artır və vətəndaşın hüquqlarının daha real müdafiəsi təmin olunur.

V. NƏTİCƏ

Nəticə olaraq aparılan təhlillər göstərir ki, inzibati orqanların fəaliyyətindən şikayət mexanizmləri hüquqi dövlətin işləməsində əsas təminat vasitələrindən biridir, lakin praktikada müəyyən boşluqlar qalmaqdadır. Vətəndaşlara verilən seçim imkanı bir tərəfdən hüquqi müdafiəni genişləndirsə də, digər tərəfdən məhkəmələrin yüklənməsini artırır və prosesləri uzadır. Buna görə də ilkin mərhələdə yuxarı inzibati orqana müraciətin məcburi xarakter alması daha səmərəli nəticə verə bilər. Eyni zamanda mediasiyanın tətbiqi mübahisələrin məhkəməyə getmədən həllinə imkan yaradaraq sistemin çevikliyini artırır. İnzibati aktlarda şikayət qaydasının göstərilməməsi kimi problemlər isə vətəndaşın hüquqlarının faktiki istifadəsini çətinləşdirir və bu sahədə nəzarətin gücləndirilməsini tələb edir. Elektron sistemlərdə standartlaşdırılmış yanaşmalar bu boşluqları aradan qaldıra bilər. Beynəlxalq təcrübə, xüsusilə tribunal modelləri, inzibati mübahisələrin daha ixtisaslaşmış və neytral qurumlar tərəfindən həllinin mümkün olduğunu göstərir. Beləliklə, bu sahədə institusional islahatlar həm hüquqi müdafiəni gücləndirə, həm də idarəetmənin səmərəliliyini artıra bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI
[1] Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası
https://e-qanun.az/framework/897
[2] "İnzibati icraat haqqında" Azərbaycan Respublikası Qanunu
https://e-qanun.az/framework/11254
[3] Azərbaycan Respublikasının İnzibati Prosessual Məcəlləsi
https://e-qanun.az/framework/46956
[4] Mahmoud Elsaman. "Introducing mandatory mediation to Egypt's Administrative Courts: two feasible approaches"
https://www.luc.edu/media/lucedu/prolaw/documents/volume-5/2019_prolaw_journal_mahmoud_elsaman.pdf
[5] Hüseynov Mübariz. İnsan və vətəndaş hüquq və azadlıqlarının təmin edilməsi baxımından "İnzibati icraat haqqında" Azərbaycan
Respublikası Qanununda nəzərdə tutulmuş ümumi prinsiplərin əhəmiyyəti. «Qanunçuluq» -2012.-№ 9.-S.23-27.
https://elibrary.az/docs/jurnal/jrn2012_664.pdf
[6] Kərimov S., Vəliyeva G. "İnzibati icraat haqqında" Azərbaycan Respublikası Qanununun Kommentasiyası. Bakı: Hüquq ədəbiyyatı nəşriyyatı, 2006, 464 s.
https://barassociation.az/web/uploads/files/Inzibati-komentaria.pdf

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASINDA ƏLILLIYI OLAN ŞƏXSLƏRIN HÜQUQLARININ MÜDAFIƏSINDƏ DÖVLƏT SIYASƏTININ EFFEKTIVLIYI

Ülkər İsmayılzadə
Bakı Biznes Universiteti
Humanitar elmlər/"Hüquq"
ulkerismayilzade1205@gmail.com
BAKI, AZƏRBAYCAN

Xülasə: Bu tədqiqat əlilliyi olan şəxslərin hüquqlarının təmin olunmasının hüquqi, sosial və institusional aspektlərini araşdırır və inklüziv cəmiyyətin formalaşmasında bu hüquqların rolunu qiymətləndirir. işin aktuallığı müasir dövrdə sosial ədalət və bərabər imkanların təmin edilməsinin dövlət siyasətinin əsas istiqamətlərindən biri olması ilə bağlıdır. tədqiqatın məqsədi əlilliyi olan şəxslərin hüquqlarının müdafiəsi sahəsində mövcud hüquqi mexanizmləri təhlil etmək, onların effektivliyini qiymətləndirmək və təkmilləşdirmə istiqamətlərini müəyyənləşdirməkdir. elmi yenilik inklüzivlik prinsipinin hüquqi təminatla qarşılıqlı əlaqəsinin sistemli şəkildə araşdırılmasındadır. tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti sosial siyasətin formalaşdırılmasında tətbiq edilə biləcək tövsiyələrin irəli sürülməsidir. nəticələr göstərir ki, hüquqi təminatın gücləndirilməsi sosial inteqrasiyanı sürətləndirir və bərabər imkanların reallaşmasına şərait yaradır.

Açar sözlər: əlillik, insan hüquqları, inklüziv cəmiyyət, sosial müdafiə, bərabər imkanlar

THE EFFECTIVENESS OF STATE POLICY IN PROTECTING THE RIGHTS OF PERSONS WITH DISABILITIES IN THE MODERN REPUBLIC OF AZERBAIJAN

ULKAR ISMAYILZADA

Abstract: this study examines the legal, social, and institutional aspects of ensuring the rights of persons with disabilities and evaluates their role in the formation of an inclusive society. the relevance of the research is linked to the growing importance of social justice and equal opportunities as key priorities of modern state policy. the aim of the study is to analyze existing legal mechanisms for the protection of the rights of persons with disabilities, assess their effectiveness, and identify directions for improvement. the

scientific novelty lies in the systematic analysis of the interaction between legal safeguards and the principle of inclusion. the practical significance of the research is reflected in policy recommendations applicable to social governance. the findings indicate that strengthening legal guarantees accelerates social integration and promotes equal opportunities.
keywords: disability, human rights, inclusive society, social protection, equal opportunities

Giriş

Əlilliyi olan şəxslərin hüquqlarının təmin edilməsi müasir hüquq sistemlərinin və sosial siyasətin əsas prioritet istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir. Qloballaşma və insan hüquqları konsepsiyasının inkişafı nəticəsində cəmiyyətin bütün üzvlərinin bərabər hüquqlara malik olması ideyası daha geniş qəbul edilmiş, sosial ədalət və inklüzivlik prinsipləri dövlət siyasətinin mühüm tərkib hissəsinə çevrilmişdir. Əlillik artıq yalnız tibbi məsələ kimi deyil, sosial mühitin, infrastrukturun və hüquqi mexanizmlərin qeyri-adekvatlığı nəticəsində yaranan çoxölçülü bir fenomen kimi qiymətləndirilir. Bu yanaşma əlilliyi olan şəxslərin hüquqlarının təmin edilməsini yalnız sosial yardım məsələsi deyil, fundamental insan hüquqları məsələsi kimi ön plana çıxarır.

Müasir dövrdə əlilliyi olan şəxslərin cəmiyyətə inteqrasiyası sahəsində müəyyən irəliləyişlər əldə olunsa da, mövcud problemlər hələ də aktual olaraq qalır. İnfrastrukturun əlçatan olmaması, əmək bazarında diskriminasiya, inklüziv təhsil imkanlarının məhdudluğu və sosial stereotiplər bu şəxslərin hüquqlarının tam reallaşdırılmasına mane olur. Beynəlxalq təşkilatların hesabatlarında göstərilir ki, əlilliyi olan şəxslər yoxsulluq, işsizlik və sosial təcrid riski ilə daha çox üzləşirlər (World Health Organization, 2011). Bu vəziyyət mövcud hüquqi mexanizmlərin effektivliyinin yenidən qiymətləndirilməsini və daha inklüziv yanaşmaların tətbiqini zəruri edir.

Tədqiqatın əsas məqsədi əlilliyi olan şəxslərin hüquqlarının təmin olunması sahəsində mövcud hüquqi mexanizmləri sistemli şəkildə təhlil etmək, onların tətbiqində mövcud problemləri müəyyənləşdirmək və inklüziv cəmiyyətin formalaşdırılması baxımından təkmilləşdirmə istiqamətlərini müəyyən etməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün normativ-hüquqi aktların təhlili, müqayisəli hüquqi yanaşma, elmi ədəbiyyatın sistemləşdirilməsi və sosial siyasət modellərinin analizi kimi metodlardan istifadə edilmişdir.

TƏDQİQAT METODU

Tədqiqat metodu olaraq sistemli öyrənmə, müqayisəli təhlil, tətbiq edilən siyasətin konseptual analizi və çoxmənbəli yanaşma istifadə olunmuşdur.

Müasir dövrdə sosial dövlət konsepsiyasının əsas göstəricilərindən biri cəmiyyətin həssas qruplarına, xüsusilə əlilliyi olan şəxslərə münasibətdə həyata keçirilən siyasətin səviyyəsi və effektivliyidir. Azərbaycan Respublikasında əlilliyi olan şəxslərin hüquqlarının müdafiəsi dövlət siyasətinin prioritet istiqamətlərindən biri kimi müəyyən edilmiş, bu sahədə normativ-hüquqi baza təkmilləşdirilmiş və sosial müdafiə mexanizmləri genişləndirilmişdir. Dövlətin sosial yönümlü siyasəti əlilliyi olan şəxslərin cəmiyyətə inteqrasiyasını təmin etməyə, onların bərabər hüquq və imkanlardan istifadə etməsini dəstəkləməyə və sosial ədalət prinsipini reallaşdırmağa xidmət edir (Qasımov, 2023).

Azərbaycanda əlilliyi olan şəxslərin sayı ilə bağlı rəsmi məlumatlar Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi və sosial sahə üzrə dövlət qurumlarının açıqlamalarına əsaslanır. Mövcud məlumatlar 2025-ci ilin əvvəlinə (yanvar-mart) olan göstəricilər əsasında ümumi mənzərəni təqdim etməyə imkan verir (Azərbaycan Statistik İnformasiya Xidməti, 2025).

2025-ci ilin əvvəlinə olan rəsmi statistikaya görə ölkədə əlilliyi olan şəxslərin ümumi sayı 498 442 nəfər təşkil etmişdir. Bu göstərici əvvəlki illə müqayisədə təxminən 1% azalma deməkdir.

Onların yaş qrupları üzrə bölgüsü aşağıdakı kimidir:

1. 18 yaşdan yuxarı əlilliyi olan şəxslər: 454 944 nəfər
2. 18 yaşadək əlilliyi olan uşaqlar: 43 498 nəfər

Əlilliyin dərəcələrinə görə bölgü (funksional pozulma faizinə əsasən):

1. 81–100% pozulma: 64 187 nəfər
2. 61–80% pozulma: 265 128 nəfər
3. 31–60% pozulma: 125 629 nəfər

Müharibə ilə əlaqədar əlilliyi olan şəxslər (2024):

2024-cü il iyulun 1-i vəziyyətinə müharibə ilə əlaqədar əlilliyi olan şəxslərin sayı 19 858 nəfər olmuşdur.

Onların tərkibi:

1. Ərazi bütövlüyünün müdafiəsi ilə bağlı əlilliyi olan şəxslər – 14 526 nəfər
2. Hərbi xidmətlə bağlı əlilliyi olan şəxslər – 2 819 nəfər

3. Çernobıl AES hadisəsi ilə bağlı əlilliyi olan şəxslər – 2 513 nəfər

Beləliklə, 2024-cü il üçün statistik göstəricilər Azərbaycanda əlilliyi olan şəxslərin əhalinin mühüm bir hissəsini təşkil etdiyini göstərir (təxminən 5%-ə yaxın). Bu göstəricilər sosial müdafiə sisteminin əhatə dairəsinin genişliyini və dövlət siyasətinin bu sahədə davamlı prioritet olduğunu nümayiş etdirir. Eyni zamanda, əlilliyi olan şəxslərin cəmiyyətin hər bir üzvü kimi mövcud imkanlardan yararlanması üçün mövcud siyasətin inklüziv təhsil, reabilitasiya və sosial xidmətlər və s. təşəbbüslərinin daha da gücləndirilməsini zəruri edir (Əliyeva, 2019).

Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası bütün vətəndaşların hüquq və azadlıqlarının bərabərliyini təmin edir və əlilliyi olan şəxslərin sosial müdafiəsini dövlətin vəzifələrindən biri kimi təsbit edir. Bununla yanaşı, "Əlilliyi olan şəxslərin hüquqları haqqında" qanun, "Sosial xidmət haqqında" qanun və digər normativ aktlar bu kateqoriyadan olan şəxslərin hüquqlarının müdafiəsinin hüquqi əsasını formalaşdırır. Azərbaycan Respublikasının BMT-nin Əlilliyi olan Şəxslərin Hüquqları haqqında Konvensiyasına qoşulması milli qanunvericiliyin beynəlxalq standartlara uyğunlaşdırılmasına və inklüziv cəmiyyət modelinin formalaşdırılmasına mühüm təkan vermişdir (United Nations, 2006).

Dövlət siyasətinin effektivliyini qiymətləndirərkən sosial müdafiə tədbirlərinin praktiki nəticələri xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Son illərdə əlilliyi olan şəxslərə yönəlmiş sosial müavinətlərin artırılması, pensiya təminatının təkmilləşdirilməsi, reabilitasiya xidmətlərinin genişləndirilməsi və müasir reabilitasiya mərkəzlərinin yaradılması bu sahədə mühüm irəliləyişlərə səbəb olmuşdur. Elektron xidmətlərin tətbiqi, o cümlədən sosial ödənişlərin rəqəmsallaşdırılması, əlilliyi olan şəxslərin dövlət xidmətlərinə çıxışını asanlaşdırmış və şəffaflığı artırmışdır (Əliyeva, 2019).

Təhsil sahəsində inklüzivliyin təmin edilməsi dövlət siyasətinin mühüm istiqamətlərindən biridir. İnklüziv təhsil modellərinin tətbiqi, xüsusi təhsil ehtiyacları olan uşaqlar üçün resurs mərkəzlərinin yaradılması və müəllimlərin ixtisasartırma proqramlarının həyata keçirilməsi əlilliyi olan şəxslərin təhsil hüququnun reallaşdırılmasına xidmət edir. Bununla belə, regionlar üzrə infrastruktur fərqləri, fiziki mühitin tam uyğunlaşdırılmaması və inklüziv təhsilin tətbiqində institusional çətinliklər bu sahədə həllini gözləyən məsələlər kimi qalmaqdadır.

Məşğulluq siyasəti əlilliyi olan şəxslərin sosial inteqrasiyasının əsas amillərindən biridir. Dövlət tərəfindən kvota sisteminin tətbiqi, özünüməşğulluq proqramlarının genişləndirilməsi və sosial müəssisələrin yaradılması bu kateqoriyadan olan şəxslərin əmək bazarına çıxışını stimullaşdırır. Buna baxmayaraq, işəgötürənlər arasında stereotiplərin mövcudluğu, uyğunlaşdırılmış iş yerlərinin azlığı və peşə hazırlığı imkanlarının məhdudluğu məşğulluq səviyyəsinin artırılmasına mane olan əsas amillər kimi qalır (Tahirova, 2019).

Fiziki mühitin əlçatanlığının təmin edilməsi əlilliyi olan şəxslərin müstəqil həyat tərzinin formalaşması üçün zəruri şərtdir. Son illərdə ictimai binaların, nəqliyyat infrastrukturunun və şəhər mühitinin əlçatanlıq standartlarına uyğunlaşdırılması istiqamətində müəyyən addımlar atılmışdır (Qasımov, 2023). Lakin mövcud vəziyyət göstərir ki, xüsusilə regionlarda əlçatan mühitin yaradılması prosesi hələ də tam başa çatmamış və sistemli yanaşmaya ehtiyac duyulur.

Dövlət siyasətinin effektivliyinin artırılması üçün institusional koordinasiyanın gücləndirilməsi, vətəndaş cəmiyyəti institutları ilə əməkdaşlığın genişləndirilməsi və əlilliyi olan şəxslərin qərarqəbuletmə proseslərinə cəlb olunması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Sosial siyasətin planlaşdırılması və icrası zamanı iştirakçılıq prinsipinin tətbiqi bu sahədə daha davamlı və real ehtiyaclara cavab verən nəticələrin əldə olunmasına şərait yarada bilər.

Əlilliyi olan şəxslərin hüquqlarının müdafiəsində səhiyyə sisteminin rolu xüsusi əhəmiyyət kəsb edir (World Health Organization, 2011). Profilaktik tibbi müayinələrin genişləndirilməsi, erkən diaqnostika proqramlarının tətbiqi və reabilitasiya xidmətlərinin regionlarda əlçatanlığının artırılması əlilliyin ağırlaşmasının qarşısının alınmasına və şəxslərin funksional qabiliyyətlərinin qorunmasına xidmət edir. Bu baxımdan, ilkin səhiyyə xidmətlərinin gücləndirilməsi sosial siyasətin preventiv istiqamətinin inkişafına mühüm töhfə verir.

Sosial xidmətlərin keyfiyyətinin yüksəldilməsi məqsədilə peşəkar sosial işçi institutunun inkişaf etdirilməsi mühüm əhəmiyyət daşıyır. Sosial işçilərin peşə hazırlığının artırılması, etik standartların tətbiqi və fərdi yanaşmaya əsaslanan xidmət modellərinin genişləndirilməsi əlilliyi olan şəxslərin ehtiyaclarının daha dəqiq müəyyən edilməsinə və onlara göstərilən xidmətlərin effektivliyinin artmasına şərait yaradır.

İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının inkişafı əlilliyi olan şəxslərin ictimai və iqtisadi həyata inteqrasiyası üçün yeni imkanlar açır. Xüsusilə məsafədən iş imkanlarının genişlənməsi, onlayn təhsil platformalarının əlçatanlığının artırılması və assistiv texnologiyaların tətbiqi fiziki məhdudiyyətləri olan

şəxslərin cəmiyyətin müxtəlif sahələrində fəal iştirakını stimullaşdırır. Bu istiqamətdə dövlət-özəl tərəfdaşlığının gücləndirilməsi innovativ həllərin tətbiqini sürətləndirə bilər.

Əlilliyi olan qadınlar çoxqatlı diskriminasiya riski ilə üzləşən həssas qrup kimi xüsusi diqqət tələb edir. Onların təhsil, məşğulluq və səhiyyə xidmətlərinə bərabər çıxışının təmin edilməsi gender bərabərliyi siyasətinin mühüm tərkib hissəsidir. Bu baxımdan, gender həssas sosial proqramların hazırlanması və həyata keçirilməsi inklüziv cəmiyyətin formalaşmasına mühüm töhfə verir (Əliyev, 2019).

İctimai şüurun formalaşdırılması əlilliyi olan şəxslərə münasibətdə stereotiplərin və ayrı-seçkiliyin aradan qaldırılmasında əsas vasitələrdən biridir. Kütləvi informasiya vasitələri, təhsil müəssisələri və vətəndaş cəmiyyəti institutları vasitəsilə aparılan maarifləndirmə kampaniyaları cəmiyyətdə inklüziv dəyərlərin möhkəmlənməsinə və sosial həmrəyliyin güclənməsinə xidmət edir. Bu proses əlilliyi olan şəxslərin cəmiyyət tərəfindən qəbul edilməsini və onların sosial fəallığının artmasını təşviq edir.

Beynəlxalq əməkdaşlıq əlilliyi olan şəxslərin hüquqlarının müdafiəsi sahəsində qabaqcıl təcrübələrin öyrənilməsi və tətbiqi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Beynəlxalq təşkilatlarla birgə layihələrin həyata keçirilməsi, texniki yardım proqramları və təcrübə mübadiləsi milli sosial siyasətin daha effektiv və innovativ mexanizmlərlə zənginləşdirilməsinə şərait yaradır. Bu yanaşma Azərbaycanın qlobal inklüziv inkişaf gündəliyinə inteqrasiyasını gücləndirir.

NƏTICƏ

Azərbaycan Respublikasında əlilliyi olan şəxslərin hüquqlarının müdafiəsi sahəsində dövlət siyasəti son illərdə mühüm inkişaf mərhələsindən keçmiş, hüquqi baza və institusional mexanizmlər gücləndirilmişdir. Bununla yanaşı, inklüziv cəmiyyətin tam formalaşdırılması üçün infrastrukturun əlçatanlığının artırılması, məşğulluq imkanlarının genişləndirilməsi, inklüziv təhsilin dərinləşdirilməsi və ictimai şüurun yüksəldilməsi istiqamətində ardıcıl və sistemli tədbirlərin davam etdirilməsi zəruridir. Bu tədbirlərin həyata keçirilməsi əlilliyi olan şəxslərin cəmiyyətin bərabərhüquqlu üzvləri kimi sosial-iqtisadi və ictimai həyatda fəal iştirakını təmin etməyə xidmət edəcəkdir. Gələcək perspektivlər baxımından, əlilliyi olan şəxslərin hüquqlarının müdafiəsi sahəsində dövlət siyasətinin davamlılığının təmin edilməsi üçün monitorinq və qiymətləndirmə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi vacibdir. Statistik məlumatların mütəmadi yenilənməsi, siyasət nəticələrinin ölçülməsi və sübuta əsaslanan qərarların qəbul edilməsi sosial müdafiə sisteminin daha çevik və effektiv fəaliyyət göstərməsinə imkan verəcəkdir. Bu istiqamətdə şəffaflıq və hesabatlılıq prinsiplərinin gücləndirilməsi dövlət siyasətinə ictimai etimadı artıran əsas amillərdən biri kimi çıxış edir.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1. Əliyev Ə.İ. (2019). İnsan hüquqları. Dərslik. Yenidən işlənmiş və əlavələr edilmiş ikinci nəşri. Bakı, “Nurlar” nəşriyyatı. 39-42 s.
2. Əliyeva S.Y. (2019). Əlillərin hüquqlarının müdafiəsi sahəsində beynəlxalq hüquq normalarının Azərbaycan Respublikasının qanunvericiliyinə implementasiyası. Monoqrafiya. Bakı, “Red N Line” NPM, 2019, 204-209 s.
3. Qasımov R. (2023). Sosial hüquqlar və inklüziv cəmiyyət. Bakı: Elm nəşriyyatı. 124-127 s.
4. Tahirova N., (2019). “Əlillik qüsur deyil”, F.Köçərli adına Respublika Uşaq Kitabxanası, Bakı. 39-40 s.
5. United Nations. (2006). Convention on the Rights of Persons with Disabilities. New York: UN Publications.
6. World Health Organization. (2011). World Report on Disability. Geneva: WHO Press.
7. Azərbaycan Statistik İnformasiya Xidməti. Əlilliyi olan şəxslərin sayı. 2025. https://www.azstat.gov.az/portal/tblInfo/TblInfoList.do?vw_cd=MT_ATITLE#

İNZİBATİ ORQANIN DİSKRESİON SƏLAHİYYƏTLƏRİNİN HƏYATA KEÇİRİLMƏSİ ZAMANI ETİMAD HÜQUQUNUN QORUNMASI PRİNSİPİNİN UZLAŞMASI

ZƏRIFƏ MƏMMƏDOVA
Bakı Dövlət Universiteti
Hüquq fakültəsi
zarifamammadova8@gmail.com
BAKI, AZƏRBAYCAN

Xülasə: İnzibati hüquq, digər hüquq sahələrindən fərqli olaraq idarəçilikdən bəhs edən hüquq elminin bir sahəsidir. Qanunvericilik və məhkəmə funksiyaları zaman-zaman, yəni zərurət olduğu hallarda (məsələn, şəxsin məhkəməyə iddia ərizəsi daxil olduqdan sonra və yaxud qanunverici orqanın yaz sessiyasında) icra edildikləri halda, inzibati fəaliyyət hər zaman icra edilməkdədir. İnzibati orqan tərəfindən inzibati icraatın aparılması qanunla müəyyən edilmiş prinsiplər əsasında həyata keçirilir. Bu mənada inzibati orqan diskresion səlahiyyətlərini qanunla müəyyən olunmuş hüdudlar daxilində həyata keçirməklə yanaşı maraqlı şəxslərin etimadının qorunmasını da təmin etməlidir. Bununla əlaqədar məqalədə hazırda inzibati orqanın inzibati icraatın aparılması zamanı qarşılaşdığı məsələlər, qanunvericilikdə müəyyən edilmiş qaydalar və məhkəmə qərarlarının təhlili öz əksini tapmışdır.

Açar sözlər: inzibati idarəetmə, inzibati orqan, inzibati icraat, diskresion səlahiyyətlər

1. GİRİŞ

İnzibati hüququn inkişafı müasir dövrün qaçılmaz zərurəti hesab edilir. Belə ki, inzibati hüququn öyrənilməsi bizi idarəetmənin həyata keçirilməli olduğu qaydalarla tanış edir. İnzibati hüquq 20-ci əsrin ən görkəmli hüquqi inkişafı kimi xarakterizə edilmişdir. İnzibati hüquq dövlətin müxtəlif orqanlarının səlahiyyətlərinin, vəzifələrinin, hüquq və öhdəliklərinin tərkibinə aid olan hüquq sahəsidir. Müasir dövrdə inzibati hüququn sürətli inkişafı birbaşa inzibati orqanların səlahiyyətlərinin artmasının nəticəsidir. Bununla da sözügedən inkişaf dövlətin rolu və funksiyası ilə bağlı fəlsəfənin dəyişməsi ilə əlaqələndirilir. İnzibati icraatla bağlı yerli qanunvericiliyin qəbul edilməsi və onun inkişafı keçən əsrlə müqayisədə hazırki vəziyyətdə kifayət qədər dəyişmişdir. "İnzibati icraat haqqında" Azərbaycan Respublikası Qanununda inzibati icraatın həyata keçirilməsi qaydası ilə yanaşı müxtəlif prinsiplər və təminatlar da öz əksini tapmışdır. Həmin prinsiplərə uyğun olaraq inzibati aktın qəbul edilməməsi müvafiq məhkəmələrdə həmin inzibati aktın ləğvi ilə nəticələnə bilir. Bu perspektivdən yanaşaraq, məqalədə inzibati icraatın ümumi prinsipləri olan etimad hüququnun qorunması prinsipi ilə inzibati orqanın diskresion səlahiyyətlərinin həyata keçirilməsi qaydasının uzlaşması və təcrübədə yaratdığı ziddiyyətlər araşdırılmışdır. Məqalə giriş, 2 paraqraf və nəticə hissədən ibarət olmaqla, inzibati icraatın aparılmasının əsasları və qaydaları öz əksini tapmışdır.

2. ETIMAD HÜQUQUNUN QORUNMASI PRINSIPININ ANLAYIŞI VƏ MAHİYYƏTİ

İnzibati icraat hərtərəfli termin kimi geniş anlayışa malikdir. Hər bir demokratik dövlətin inzibati icraat qaydası vardır. Onlardan bəziləri, məsələn, ümumi hüquq ölkələri, məsələn, Fransa və ya hətta Avropa İttifaqı kimi ölkələr əsasən presedent hüququna əsaslanan tənzimləyici struktur yaratmışdır. Digərləri isə prosessual aspektləri həll etmək üçün hüquqi baza yaratmışlar. Bu model ABŞ-da (1946-cı il İnzibati Prosessual Aktı ilə birlikdə inzibati proses haqqında konstitusiya doktrinası), Almaniyada (1976-cı il Federal qanun), İtaliyada (1990-cı il qanunu) və İspaniyada (1956-cı il İnzibati Prosessual Qanun) qəbul edilmişdir [5].

Liberal demokratik cəmiyyətlərdə inzibati idarəetmə özü inzibati hüquqla tənzimlənir. Bu qanun hökumət sistemində inzibati orqanların struktur mövqeyini müəyyən edir, həmin qurumların əməl etməli olduğu qərar qəbul etmə prosedurlarını, müstəqil məhkəmə hakimiyyəti tərəfindən onların fəaliyyətinə nəzarətin mövcudluğunu və həcmini müəyyən edir. O, idarəetmə və tənzimləmənin bir çox müxtəlif əsas sahələrini üfüqi şəkildə kəsən ümumi prinsiplər və prosedurları təqdim edir [7].

Hollandiyada 1935-ci ildən başlayaraq hüququn ümumi prinsipləri inzibati hüququn və onun inkişafı qarşısında mühüm xüsusiyyəti ilə seçilir. Bu prinsiplərin inkişafında və onların həyata keçirilməsində Hollandiya inzibati məhkəmələri mühüm rol oynamış və hələ də oynayır. Hüquq prinsiplərinin təkamülü keçmişdə əsasən milli inzibati məhkəmələrin qərar qəbul etməsindən asılı olsa da, bu gün biz milli məhkəmələrdən Avropa məhkəmələrinə keçidi müşahidə edə bilərik. İstər Avropa İttifaqının Ədalət Məhkəməsinin, istərsə də Avropa İnsan Hüquqları Məhkəməsinin (AİHM) təsiri olsun, Avropanın təsiri

nəzərdən qaçırıla bilməz və bu gün bir sıra milli prinsiplərin məzmununda dəyişikliklərə dərin və mübahisəsiz təsir göstərir [8].
İnzibati orqanlar tərəfindən inzibati icraat müəyyən prinsiplər əsasında həyata keçirilir. Qanunvericilikdə inzibati icraatın prinsipləri iki təsnifata bölünür: Ümumi və prosedur prinsiplər. "İnzibati icraat haqqında" Azərbaycan Respublikası Qanununda ümumi və prosedur prinsiplər öz əksini tapmışdır. Etimad hüququnun qorunması prinsipi inzibati icraatın ümumi prinsiplərindən biri olmaqla inzibati orqanların təcrübəsində mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Etimadın qorunması prinsipi inzibati icraatın müstəqil prinsipidir. Etimad hüququnun qorunması prinsipi "bona fides" prinsipindən törəmədir [4]. İlk növbədə bu prinsipin qanundakı tövsifinin izahını vermək olar. İnzibati orqanlar tərəfindən inzibati icraatın aparılması qanunla müəyyən edilsə belə, inzibati orqanların öz fəaliyyətində formalaşmış praktikası mövcuddur. Hansı ki, bu inzibati praktika barəsində inzibati akt qəbul edilməsi nəzərdə tutulan bütün maraqlı şəxslərə münasibətdə eyni qaydada tətbiq edilməlidir. Bununla əlaqədar olaraq maraqlı şəxslərin formalaşmış inzibati praktikaya etimadı qanunla qorunur. Bu inzibati praktikanın iki əsas xüsusiyyəti isə ümumi və davamlı olmasıdır. Həmin inzibati praktikaya inzibati orqan tərəfindən əməl edilməsi vəzifəsi qoyulur. Həmin vəzifədən kənara çıxarılması yalnız ictimai maraqlar tələb edildiyi hallarda mümkün olur. Qanunda ictimai maraqların anlayışı konkret olaraq bildirilməmişdir. İctimai maraq geniş anlayışdır. İctimai maraqların əsasının nələr təşkil etdiyi xüsusi olaraq milli qanunvericilikdə öz əksini tapmır. Bu mənada inzibati orqanının əsas kimi qəbul etdiyi hallar mübahisə obyektinə çevrilə bilər. Eyni zamanda bu inzibati praktika qanuni olmalıdır. Maraqlı şəxsin etimadı inzibati orqanın qanunsuz hərəkətlərinə istinad edə bilməz.
"İnzibati icraat haqqında" Azərbaycan Respublikası Qanununun 67.5-ci maddəsinə əsasən maraqlı şəxsin məzmununa etimad göstərdiyi və həmin etimadın qanunla qorunduğu, habelə başqa şəxslərin hüquqlarına və ya qanunla qorunan maraqlarına, dövlət maraqlarına və ya ictimai maraqlara ziyan vurmadığı hallarda, maraqlı şəxsə münasibətdə birdəfəlik və ya cari pul və ya əşya öhdəliklərinin nəzərdə tutulduğu və ya belə öhdəliklərin əmələ gəlməsinə səbəb olmuş qanunsuz əlverişli inzibati aktın ləğv olunmasına yol verilmir. Maraqlı şəxsin ona verilmiş pul vəsaitlərini xərclədiyi və ya əmlakdan istifadə etdiyi və buna görə də onları qaytarmaq iqtidarında olmadığı və ya onları qaytardığı təqdirdə əhəmiyyətli ziyana məruz qalacağı hallarda, həmin şəxs etimadın qanunla qorunması hüququna malikdir.
Lakin qanunvericilikdə maraqlı şəxsin etimadın qorunması hüququna istinad edilməsini istisna edən hallar müəyyən edilmişdir:

- rüşvət, hədə-qorxu və ya aldatma yolu ilə inzibati aktın qəbul edilməsinə nail olduqda;
- səhv və ya təhrif olunmuş məlumatları əks etdirən sənədlər təqdim etməklə inzibati aktın qəbul edilməsinə nail olduqda;
- inzibati aktın qanunsuz olduğunu bildiyi və ya kobud ehtiyatsızlıq nəticəsində bilmədiyi halda.

3. ETIMAD HÜQUQUNUN QORUNMASI PRINSIPININ DISKRESION SƏLAHIYYƏTLƏRIN KEÇIRILMƏSI ZAMANI TƏTBIQI

İnzibati orqanın digər bir səlahiyyəti diskresion (mülahizə) səlahiyyətlərində vəziyyət bir qədər fərqlidir. Latınca da "discretio" adlanan bu anlayışın mənası mülahizə deməkdir. İnzibati mülahizə uzun müddətdir ki, ictimai hökumətin ənənəvi hesablarında əsas mövzu olmuşdur. Bir şərhçinin yüz il əvvəl dediyi kimi, mülahizə "müasir dövlətin mahiyyətidir" [6].
Nəzəriyyədə diskresion (mülahizə) səlahiyyəti dedikdə, tənzimlənməsi qanunvericilikdə nəzərdə tutulmuş, lakin məzmunu bəzi mümkünsüzlük səbəbindən dəqiqləşdirilməmiş inzibati fəaliyyəti ehtiva edir [1]. Diskresion səlahiyyət-inzibati orqanın fəaliyyətinin qanunla imperativ formada tənzimlənmədiyi və inzibati orqana öz mülahizəsi əsasında hərəkət etmək imkanın verilməsidir [2].
Bu ümumi prinsipin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, inzibati orqan öz mülahizəsinə əsasən hər hansı fəaliyyəti həyata keçirərkən qanunla müəyyən edilmiş diskresion səlahiyyətlərindən kənara çıxmamalıdır. Yəni, inzibati orqan diskresion səlahiyyətlərindən istifadə etdikdə belə qanunun məqsədlərini rəhbər tutmalıdır. Onda belə bir sual ortaya çıxa bilər ki, bu şəkildə məhdudiyyətlər nəzərdə tutulursa, diskresion səlahiyyətlərin mahiyyəti nədir? Diskresion səlahiyyətlərin formalaşmasının birinci səbəbi inzibati icraatla bağlı inzibati orqanın bütün səlahiyyətlərinin qanunda nəzərdə tutula bilməməsidir. Cəmiyyətin inkişafı və başverən müxtəlif hadisələr əlbəttə ki, inzibati icraatın aparılması zamanı fərqli halları ortaya çıxara bilər. İkinci bir səbəbi isə inzibati orqanın fəaliyyətinin geniş olmasıdır. Bu mənada inzibati orqan öz diskresion səlahiyyətlərini həyata keçirilməsi zamanı maraqlı şəxslərin etimadının qorunması prinsipini təmin

etməlidir. Bu zaman inzibati orqan diskresion səlahiyyətlərindən istifadə edərək maraqlı şəxs barəsində qəbul edilmiş qərarın qanunsuz olduğunu aşkar etdikdə həmin inzibati aktı ləğv etmək hüququna da malikdir. Lakin bu zaman inzibati orqanın qarşısına 2 məhdudiyyət qoyulur: maraqlı şəxslərin etimad hüququnun gözlənilməsi və diskresion səlahiyyətinin həyata keçirilməsi zamanı qanunun məqsədlərinin nəzərə alınması. Əlbəttə ki, burada inzibati orqanın fəaliyyətinin məhdudlaşdırılır.

Azərbaycan Respublikası Ali Məhkəməsinin 2-1(102)-3135/2024 nömrəli 04.12.2024-cü il tarixli (3 ulduzlu) qərarında bu məsələ ilə bağlı məhkəmələrin ümumi mövqeyi öz əksini tapmışdır. Nəzərə almaq lazımdır ki, inzibati orqan qüvvədə olan əlverişli inzibati aktın qanunsuz olması ilə bağlı əsaslı məlumatlar əldə etdiyi halda, inzibati icraat haqqında qanunvericiliyin tələbləri baxımından, xidməti mövqeyinə görə həmin inzibati aktın qəbul edilməsi üzrə əvvəlki inzibati icraatı təzələməyə və icraat aparmağa, icraat çərçivəsində inzibati aktın ləğvini və ya dəyişdirilməsini şərtləndirən halların mövcudluğunu müəyyən etməyə borcludur.

Şəxsə əmək pensiyasının cavabdehin özü tərəfindən təyin olunduğu hallarda, cavabdeh prinsipcə, özünün əvvəlki təyinatla bağlı qərarının tamamilə və ya qismən səhv olduğunu müəyyən etdikdə, sonradan həmin qərarı ləğv etmək və ya dəyişdirməklə bağlı yeni qərar qəbul etməkdə haqlıdır... Lakin inzibati orqanların malik olduğu bu səlahiyyətin həyata keçirilməsi müəyyən məhdudiyyətlərə tabedir və yalnız qanunvericiliklə dəqiq müəyyənləşdirilmiş müddətdə və proseduralar çərçivəsində həyata keçirilə bilər... Əvvəlki qərarın ləğvi və ya dəyişdirilməsi məsələsinə münasibətdə hüquqi təhlükəsizliyin və sabitliyin qorunması baxımından qanunvericiliyin müəyyən etdiyi mühüm təminatlardan biri "İnzibati icraat haqqında" Qanunun 67.12-ci maddəsində təsbit olunmuş müddətlə bağlı təminatdır.

Bu mənada, inzibati orqanın müvafiq səlahiyyəti qanunsuz olduğunu güman etdiyi inzibati aktın hər bir halda deyil, mütləq qanunvericilikdə təsbit olunmuş konkret təminatlara riayət etməklə ləğv etmək və ya dəyişdirmək imkanı kimi təfsir olunmalıdır[9] .

4. NƏTİCƏ

Tədqiqatdan belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, inzibati orqan qanunla müəyyən edilmiş qaydada diskresion səlahiyyətlərinin həyata keçirilməsi zamanı maraqlı şəxslərin etimadının qorunması prinsipinə əməl etməlidir. Təcrübədən və məhkəmə qərarının mahiyyətindən belə başa düşülür ki, inzibati orqan maraqlı şəxs barəsində əlverişli inzibati aktın ləğv edilməsi zamanı qanunun tələblərini, maraqlı şəxslərin etimad hüququnu mütləq şəkildə nəzərə almalıdır. Buradan görünür ki, inzibati orqan tərəfindən maraqlı şəxs barəsində əlverişli inzibati akt qəbul edilməsi zamanı mövcud olan və gələcəkdə baş verə biləcək bütün halları yoxlamalı və yekunda qərar qəbul etməlidir. Lakin təcrübədə görünür ki, maraqlı şəxs barəsində inzibati aktın qəbul edilməsi ilə bağlı müddətin müəyyən edilməsi, müraciət edən şəxslərin çoxluğu faktiki baxımından inzibati orqanın fəaliyyətinə təsir edir.

İnzibati orqanın inzibati praktikasının ictimai maraqlar mövcud olduğu halda dəyişməsi halı da burada sual yaradır. İnzibati orqan nəzərə alsaq ki, müvafiq icra hakimiyyəti orqanları, bələdiyyələr və s. təşkil edir, onların fəaliyyətinin ictimai maraqları əhatə edəcəyi də şübhəsizdir. İctimai maraqların əhatə dairəsinin qanunvericilikdə tənzimlənməsi tövsiyə edilir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Fərhad Mehdiyev (2010). İnzibati hüquq. Qafqaz Universiteti. Səhifə 515.
2. Orxan İsmayılov (2024). İnzibati orqanların diskresion səlahiyyətlərinin sərhədləri və inzibati məhkəmə nəzarəti. "Füyuzat". Səhifə 132.
3. Sübhan Əliyev. İnzibati hüquq. Dərslik. Bakı: Bakı Universiteti nəşriyyatı, 2016, 686 s.
4. Səyyad Kərimov, Günəş Əliyeva. İnzibati icraat haqqında Azərbaycan Respublikası Qanunu kommentariya. Bakı: Hüquq ədəbiyyatı nəşriyyatı, 2006, 464s.
5. Prof. Andrés Molina Giménez (2013). Administrative law. University of Alicante. Spain.Law School.
6. Ruiz-Tagle, S. From discretion to expert judgement: recasting sedimented concepts in administrative law/ S.Ruiz-Tagle, Cambridge Law Journal, -2024, -549-580p.
7. Stewart R.B. Administrative law in the twenty-first century/R.B.Stewart, New York Law Review, -2003, -437-460p.
8. Widdershoven, R. General Principles of Law in Administrative Law under European Influence/ R.Widdershoven, European Review Of Private Law, -2012, -381-407p.
9. Azərbaycan Respublikası Ali Məhkəməsinin 2-1(102)-3135/2024 nömrəli 04.12.2024-cü il tarixli qərarı https://sc.supremecourt.gov.az/decision-search/

İNZİBATİ AKTIN DƏYIŞDIRILMƏSI VƏ LƏĞVI ILƏ BAĞLI İNZİBATİ ORQANLARIN SƏLAHİYYƏTLƏRİNİN DAİRƏSİ

ZƏRIFƏ MƏMMƏDOVA
Bakı Dövlət Universiteti
Hüquq fakültəsi
zarifamammadova8@gmail.com
BAKI, AZƏRBAYCAN

Xülasə: *İnzibati hüquq, hüququn xüsusi sahəsi olmaqla dövlətlə vətəndaş arasında imperativ münasibətləri tənzimləyir. Bu münasibətlərin formalaşması və dərinləşməsinin nəticəsi olaraq qanunvericilik aktları qəbul edilmişdir. Həmin qanunvericilik aktları əsasında inzibati icraatın aparılması qaydası, inzibati orqanın və maraqlı şəxslərin hüquq və vəzifələrinin dairəsi müəyyən edilmişdir. Məlum olduğu kimi, inzibati orqanlar tərəfindən inzibati icraatın aparılması zamanı maraqlı şəxslər barəsində inzibati aktlar qəbul edilir. Vaxtilə inzibati orqan tərəfindən qəbul edilmiş inzibati aktın dəyişdirilməsi və ləğv edilməsi qanunvericiliklə müəyyən edilmiş qaydada məhdudlaşdırılır. Bununla əlaqədar məqalədə inzibati orqanlar tərəfindən inzibati aktların dəyişdirilməsi və ləğv edilməsi qaydası, onun qanunvericilikdə hansı şərtlərlə məhdudlaşdırıldığı, eyni zamanda bununla bağlı məhkəmələr tərəfindən qəbul edilmiş qərarların təhlili öz əksini tapmışdır.*

Açar sözlər: *inzibati orqan, inzibati icraat, inzibati akt*

GİRİŞ

Dövlət və vətəndaş arasında yaranan münasibətlərdə dövlətin geniş və üstün səlahiyyətlərə malik olması dövlət-vətəndaş problemlərinin yaranma əsaslarından biri olmuşdur. Hüquqi dövlət ideyasının formalaşdığı gündən dövlət-vətəndaş probleminin səmərəli həlli yollarının axtarışı başlanılmışdır. Dövlət öz idarəçilik fəaliyyətində vətəndaşların hüquq və mənafelərini nəzərə almalı, konstitusion prinsip və qaydaları əsas tutmalıdır. Liberal-demokratik ölkələrin təcrübəsindən aydın olur ki, inzibati orqanların fəaliyyətinin vahid qaydada, yəni ümumiləşdirilmiş qanunvericilik aktlarında tənzimlənməsi dövlətin əsas vəzifə funksiyalarının icrasında sui-istifadənin qarşısının alınması və şəxslərin hüquq və azadlıqlarının təmin edilməsinin təminatçısıdır. Bununla da, inzibati orqanın fəaliyyətinin vahid qaydada tənzimlənməsi vətəndaşla yaranan münasibətlərində qanunla müəyyən olunmuş qaydadan kənara çıxmağa, öz şəxsi mülahizələrinə əsaslanmağa imkan vermir. İnzibati icraat dedikdə, maraqlı şəxslərin müraciəti əsasında və ya inzibati orqanların öz təşəbbüsü ilə inzibati aktın qəbul edilməsi, icra olunması, dəyişdirilməsi və ya ləğv edilməsi, habelə inzibati şikayətlərə baxılması üzrə müvafiq inzibati orqanlar tərəfindən həyata keçirilən fəaliyyətdir. İnzibati orqanlar tərəfindən inzibati aktlar qəbul edilməsi ilə yanaşı, qəbul edilmiş inzibati aktların dəyişdirilməsi və ləğv edilməsi səlahiyyəti də nəzərdə tutulmuşdur. Lakin mövcud təcrübədə, o cümlədən məhkəmələr tərəfindən qəbul edilmiş məhkəmə qərarlarında inzibati orqanlar tərəfindən qəbul edilmiş aktların ləğv edilməsi müəyyən şərtlərlə məhdudlaşdırılır. Məqalə giriş, 2 paraqraf və nəticə hissədən ibarət olmaqla, inzibati aktın dəyişdirilməsi və ləğv edilməsi əsasları və qaydaları öz əksini tapmışdır.

İNZIBATI AKTIN ANLAYIŞI VƏ ÜNSÜRLƏRI

Hazırki vaxtda inzibati qayda yaradıcılığı inzibati hüquq və inzibati fəaliyyətin tipik xüsusiyyətinə çevrilmişdir. 20-ci əsr hökumətin icra hakimiyyəti orqanları tərəfindən buraxılan sənədlərin sayının artması səbəbindən tənzimləmə əsri adlandırıldı. Şəxsin davranışını tənzimləyən qanunvericilik aktlarının əksəriyyəti qanunvericilik orqanından deyil, inzibati orqanlardan gəlir [1].

İnzibati qərarlar iş üzrə səlahiyyətlərə (maddi, ərazi və iyerarxik) malik olan inzibati orqan tərəfindən qəbul edilməlidir. Orqanı idarə edən inzibati vəzifəli şəxsə gəldikdə isə, o, müvafiq orqan tərəfindən təyin olunmalı və vəzifəyə başlamalıdır. O, "aktiv xidmətdə" olmalı və məsələyə və ya maraqlı tərəflərə birbaşa aidiyyəti olmamalıdır. Əgər belədirsə, məsələni həll etməkdən çəkinməli və ya hər hansı maraqlı tərəf tərəfindən etiraz və etirazla qarşılana bilər. Digər tərəfdən, kollegial orqanlar üzvlərin iştirakı ilə bağlı qaydalarına riayət etməlidirlər. İnzibati bəyanatı alan şəxs hüquqa və ya qanuni marağa malik olan maraqlı tərəfdir. O, vətəndaş, şirkət və ya hətta başqa bir inzibati orqan ola bilər [3].

Hökumətin qərar qəbul etmək səlahiyyəti olan qurumları qanunla müəyyən edilmiş səlahiyyətləri həyata keçirirlər. Bu səlahiyyətləri tənzimləyən qanun və ya əsasnamə ümumiyyətlə qərarın mahiyyəti və əhatə dairəsi, qərarın qəbul edilməsinə cavabdeh olan şəxslər, əməl olunacaq ümumi prosedurlar və tətbiq

olunacaq meyarlar daxil olmaqla, qərar qəbulu üçün geniş qaydaları müəyyən edir. İnzibati icraatın aparılması qaydaları çox vaxt qərar qəbul edən orqan tərəfindən müəyyən edilir. Onlar yazılı siyasətlərdə və ya təlimatlarda və ya qeyri-rəsmi inzibati təcrübələrdə tapılır [2].

İnzibati aktın anlayışı maddi və prosessual baxımından mühüm əhəmiyyətə malikdir. Əvvəlki dövrlərdə inzibati aktın vahid anlayışı mövcud olmadığından inzibati icraatın aparılması zamanı müxtəlif anlayış və formalardan istifadə edilirdi (məsələn, əmr, sərəncam, qərar və s.). İnzibati icraat haqqında qanunvericiliyin formalaşdırılması nəticəsində "inzibati akt" anlayışı ümumi qaydanı müəyyən etməklə tətbiq edilməyə başlandı. İnzibati akt inzibati orqanların mühüm fəaliyyət forması olmaqla qanun icrası kimi başa düşülür. Bu səbəbdən də inzibati akt inzibati hüququn mərkəzi anlayışlarından biri hesab edilir. İnzibati akt sinqulyar "hüquq tətbiq etmək" aktı olmaqla, ünvanlandığı şəxslərin hüquqi vəziyyətini, yəni onlar üçün nəyin məcburi yolverilən və s. olmasını müəyyən edir [4].

İnzibati aktlar qəbul edilərkən müəyyən formaya əsaslanaraq qəbul edilir. İnzibati aktlar bir qayda olaraq, yazılı formada qəbul edilir. İnzibati aktlar müvafiq olaraq qanunvericilik aktlarına, qaydalara uyğun olaraq tərtib edilir. Həmin aktı tərtib edən şəxslər və digər rəhbər şəxslər tərəfindən imzalanır. İnzibati orqan tərəfindən qəbul edilən inzibati aktlar, eyni zamanda möhürlə təsdiq edilməlidir. Yazılı formada qəbul edilən inzibati aktlar qanunla birbaşa nəzərdə tutulan rekvizitlərə əsasən qəbul edilməlidir.

Qanunda nəzərdə tutulan rekvizitlərdən hər hansı biri olmadıqda həmin inzibati aktlar məhkəmə qaydasında ləğv edilə bilər. Bununla əlaqədar, inzibati orqanlar inzibati aktların qəbulu zamanı qanunda birbaşa nəzərdə tutulmuş şərtlərə və qaydalara riayət etməlidir.

Eyni zamanda qanunvericiliklə birbaşa nəzərdə tutulmuş hallarda, təxirəsalınmaz hallarda inzibati akt şifahi və ya digər anlaşılan formada qəbul edilə bilər. Təxirəsalınmaz hallar dedikdə dövlət maraqlarına və ya ictimai maraqlara ziyan vura biləcək təhlükənin qarşısının alınması və ya aradan qaldırılması halları başa düşülür. Bir qayda olaraq inzibati aktların yazılı formada qəbul edilməsi qanunvericilikdə öz əksini tapsa da, müstəsna hallarda şifahi formada da qəbul edilmə imkanı nəzərdə tutulmuşdur. Bundan əlavə, inzibati akt, təsvirlər, işıq, səs siqnalları və işarələri formasında da qəbul edilə bilər.

İspan inzibati hüquq nəzəriyyəsinə əsasən inzibati qərarlar ümumiyyətlə yazılı şəkildə verilir, baxmayaraq ki, onlardan bəziləri şifahi ola bilər. Şifahi əmrlər, səsli və ya vizual işarələr və s. kimi ifadələr sonradan yazılı bəyanat kimi rəsmiləşdirilə bilər.

Müəyyən qeyri-rəsmi hərəkətlər inzibati qərarlar (ünsiyyət, şifahi məlumat və s.) hesab edilməməlidir. Hər bir inzibati qərar bildirilməli və ya rəsmi olaraq dərc edilməlidir. Lakin, sözdə seriyalı qərarlar tək bir bəyanatda, tək bir bildiriş və ya dərc ilə daxil edilə bilər.

İNZİBATİ AKTIN DƏYİŞDİRİLMƏSİ VƏ LƏĞV EDİLMƏSİ ƏSASLARI

İnzibati aktın ləğvi özü də mahiyyəti və prosedur prinsiplərinin tam tətbiq olunduğu inzibati aktdır. Ləğv etmənin yaratdığı xüsusi problem, bir tərəfdən ləğvi tələb edən qanunilik prinsipi ilə ictimai maraq doğuran səbəblər, digər tərəfdən isə fərdi şəxsin inzibati aktın qüvvədə saxlanılmasına dair qanuni etibarının qorunması arasında tez-tez rast gəlinən ziddiyyətdir. Müvafiq şəxs üçün mənfi təsir göstərən inzibati aktın ləğvinə yalnız aşağıdakı hallarda icazə verilir:

(i) ilkin inzibati akt qanunsuz olduqda və

– qorunacaq qanuni etimad olmadıqda, və ya

– ləğvdə ictimai maraq aktın qüvvədə saxlanılmasında müvafiq şəxsin hüquq və mənafelərindən üstün olduqda.

(ii) ilkin inzibati akt qanunidirsə, lakin

– müvafiq şəxs tərəfindən həmin aktın qüvvədə saxlanılmasında heç bir qanuni etimad göstərilmədikdə, və ya,

– müvafiq faktlar və hallar dəyişdikdə və ləğvdə ictimai maraq aktın qüvvədə saxlanılmasında müvafiq şəxsin hüquq və mənafelərindən üstün olduqda.

Aidiyyəti şəxsin qanunsuzluğu nə dərəcədə dərk etməsindən və ya dərk etməli olduğundan və ictimai maraqların əhəmiyyətindən asılı olaraq, akt ləğv edildiyi tarixdən və ya hətta ilkin aktın qəbul edildiyi tarixdən etibarən geriyə qüvvə ilə ləğv edilə bilər.

İnzibati qərarlar aşağıdakı hallarda artıq qüvvədən düşmüş hesab edilir:

- Qərar tam qüvvəyə minib. Hüquqi təsirləri tükənib və artıq qüvvədən düşəcək.
- Qərarın müddəti bitib. Bəzi inzibati qərarların məhdud müddətli təsiri var.
- Qərarlar qətiyyətli vəziyyətdədir.
- Qərar qəbul edildikdən sonra baş verən gözlənilməz səbəblərə görə qərarların icrası mümkün deyil.

- Qərarlar yuxarı inzibati orqan və ya məhkəmələrdə apelyasiya proseslərində ləğv edilə bilən və ya etibarsız elan edilir.
- Qərarlar rəsmi baxış prosesləri səbəbindən ləğv edilir [3].

İnzibati orqanların təcrübəsində qanunsuz əlverişli və ya qanunsuz əlverişsiz inzibati aktın növündən asılı olmayaraq həmin aktların ləğv olunduğunun şahidi oluruq. Məhkəmə təcrübəsində adətən sonradan ləğv edilən qanunsuz əlverişli inzibati aktların yenidən qəbul edilməsi və bərpa edilməsi halına rast gəlinmir. Lakin qanunsuz əlverişli inzibati akt nəticəsində əvvəlki hüquqi vəziyyətin bərpa edilməsi ilə əlaqədar inzibati orqanlar tərəfindən qəbul edilmiş inzibati aktlar ləğv edilir. Bu maraqlı şəxsin etimadın qorunması hüququ ilə əlaqələndirilir. İnzibati orqanların inzibati praktikasına fiziki və ya hüquqi şəxslərin etimadı qanunla qorunur. Bakı İnzibati Məhkəməsinin cavabdeh Əmək və Əhalinin Sosial Müdafiəsi Nazirliyinin tabeliyində Dövlət Sosial Müdafiə Fonduna qarşı 21.08.2024-cü il tarixli 2-1(112)-6727/2024 nömrəli qərarında qeyd edilir: "Beləliklə, iddiaçı barəsində qüvvədə olan əliverişli inzibati akt var, iddiaçının şəhid ailəsi üzvü vəsiqəsi ləğv edilməmişdir və bu hal həm də keçən müddət ərzində həmin vəsiqə əsasında iddiaçının şəhid ailəsi üzvü kimi tanınmasını, bu statusdan irəli gələn cavabdehin öz təşəbbüsü ilə təqdim etdiyi güzəşt və imtiyazlardan yararlanmağa qanuni etimad hüququnun olduğunu istisna etməmişdir. Odur ki, iddia tələbi təmin edilməli, iddiaçıya müraciət etdiyi 27.02.2023-cü il tarixindən şəhid ailəsi üçün Azərbaycan Respublikası Prezidentinin təqaüdünün təyin edilməsi vəzifəsi cavabdehə həvalə edilməlidir" [6].

Yuxarıda qanunsuz inzibati aktların ləğv edilməsi şərtləri qeyd edilmişdir. Qanuni əlverşisiz inzibati aktların da ləğv edilməsini şərtləndirən hallar mövcuddur. Müvafiq inzibati akt inzibati orqan tərəfindən tam və ya qismən ləğv oluna bilər.

Qanuni inzibati aktın hüquqi statusuna gəldikdə isə qanuni inzibati aktın ləğv olunması onun qüvvəyə mindiyi andan yaranmış hüquqi nəticələri aradan qaldırmır. Qanuni inzibati aktın ləğv edilməsi müddəti, həmin aktın ləğv olunmasını şərtləndirən hallar məlum olduğu gündən 1 ildir.

Azərbaycan Respublikası adından Azərbaycan Respublikası Ali Məhkəməsinin İnzibati Kollegiyasının 04.12.2024-cü il tarixli 2-1(102)-3037/2024 nömrəli cavabdeh Dövlət Sosial Müdafiə Fondunun Xüsusi şərtlərlə təyinat üzrə Mərkəzi Filialına qarşı iş üzrə qərarında qeyd edilir: "Nəzərə alınmalıdır ki, inzibati orqanlar qanunun tələblərinə riayət etməyə borcludurlar və yalnız qanunla nəzərdə tutulmuş hallarda və qaydada şəxsin hüquq və azadlıqlarına müdaxilə edə bilərlər. Qanunvericinin təsbit etdiyi bu tələblər eyni zamanda hüquqi dövlətdə qanunun aliliyi və qanunçuluq prinsiplərindən irəli gəlir. Qanunvericinin bu yanaşmasının məqsədi hüquqi dövlətdə qanuni qərar qəbul etməyə borclu olan inzibati orqan tərəfindən qanunun tələblərinə cavab verən inzibati icraat üzrə yalnız hərtərəfli və obyektiv, düzgün qərar qəbul etməyə imkan verən həcmdə araşdırma aparıldıqdan sonra, onun tərəfindən əsaslandırılmış qərarın qəbul olunmasını və bunun üzərindən qanunçuluq prinsipini, xüsusilə də mübahisə yarandığı təqdirdə, məhkəmə tərəfindən həmin qərarı qanunauyğunluğunun inzibati icraat materialları əsasında səmərəli şəkildə yoxlanılmasını təmin etməkdən ibarətdir" [5].

İnsan Hüquqları üzrə Avropa Məhkəməsinin presedent hüququna görə də, "lazımi idarəetmə" prinsipi hakimiyyət orqanlarının operativ şəkildə öz səhvlərini, hətta onların özlərinin diqqətsizliyi nəticəsində yaranan səhvlərini düzəltməsinin qarşısını almamalıdır. Lakin köhnə "səhv"in düzəldilməsi zərurəti, dövlət orqanının hərəkətinin qanuniliyinə etibar edən vicdanlı şəxsin yeni hüququna tənasübsüz şəkildə maneə törətməməlidir. Başqa sözlə, öz prosedurlarını tətbiq etməyən və ya onlara riayət etməyən dövlət orqanları öz hüquq pozuntularından fayda götürmək və ya öz vəzifələrindən yayınmaq hüququna malik olmamalıdırlar. Dövlət orqanları tərəfindən yol verilən istənilən səhvin riskini dövlətin özü daşımalı və səhvlər maraqlı şəxslərin hesabına düzəldilməməlidir [7].

5. NƏTİCƏ

Tədqiqatdan belə nəticə hasil olur ki, inzibati orqan əvəllər qəbul etmiş olduğu inzibati aktın dəyişdirilməsi və ya ləğvi barədə qərar qəbul etmək səlahiyyəti qanunvericiliklə məhdudlaşdırılmışdır. İnzibati orqan inzibati aktın ləğvi əsaslarının qanuniliyini araşdırmaqla kifayətlənməməlidir. Belə ki, inzibati aktın qanunsuz inzibati akt olmasından asılı olmayaraq maraqlı şəxsin etimadını qorumalı, inzibati aktın ləğvinin ictimai maraqları əhatə etdiyini araşdırmalıdır. Ancaq hazırki təcrübə onu göstərir ki, inzibati aktın ləğvində məhdudiyyətlərin çox olması maraqlı şəxslərin maraqlarını qorumasına baxmayaraq inzibati orqanın daxili fəaliyyətində maneələr yaratmaqdadır. Onlar arasında balansın qorunnması inzibati orqanın məsuliyyətinin daha da artırılmasına səbəb olur.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Aberham Yohannes (2009). Administrative Law Teaching Material. Indore Institute of Science & Technology. 1- 247.
2. Liz Nastasi, Deborah Pressman & John Swaigen. Administrative law: Principles and advocacy. Toronto: Emond Montgomery Publications. 2020, 451p.
3. Prof. Andrés Molina Giménez (2013). Administrative law. University of Alicante. Spain.Law School.
4. Səyyad Kərimov, Günəş Əliyeva. İnzibati icraat haqqında Azərbaycan Respublikası Qanunu kommentariya. Bakı: Hüquq ədəbiyyatı nəşriyyatı, 2006, 464s.
5. Azərbaycan Respublikası Ali Məhkəməsinin İnzibati Kollegiyasının 04.12.2024-cü il tarixli 2-1(102)-3037/2024 nömrəli qərarı
6. Bakı İnzibati Məhkəməsinin 21.08.2024-cü il tarixli 2-1(112)-6727/2024 nömrəli qərarı
7. Beinaroviç və digərləri Litvaya qarşı iş üzrə, 2018-ci il 12 iyun tarixli Qərar, §140


BEU
BAKU ENGINEERING UNIVERSITY
Academy of the
State Customs Committee
Republic of Azerbaijan
Dedicated to the 103rd Anniversary of the National leader of Azerbaijan, Heydar Aliyev
X INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OF
YOUNG RESEARCHERS
22-23, May 2026, Baku, Azerbaijan

FİLOLOGİYA

AZƏRBAYCAN VƏ DİGƏR TÜRK DİLLƏRİNDƏ AKTİV İŞLƏNƏN SLAVYAN MƏNŞƏLİ SÖZLƏR

ELNURƏ HÜSEYNOVA
AMEA İ.Nəsimi adına Dilçilik İnstitutunun Sosiolinqvistika və psixolinqvistika şöbəsi
Bakı, Azərbaycan
elnure.huseynova@mail.ru

Xülasə: Dillərarası qarşılıqlı təsir tarixən xalqların siyasi, iqtisadi, mədəni və coğrafi əlaqələrini nəticəsi kimi meydana çıxmışdır. Xüsusilə uzunmüddətli qonşuluq münasibətləri, ticarət əlaqələri, miqrasiya prosesləri, yaxın coğrafi məkanlarda birgə mövcudluq leksik mübadiləni sürətləndirmişdir. Bu baxımdan yanaşdıqda dillər yalnız kommunikasiya vasitəsi kimi deyil, həm də sosial əlaqələrin, ideoloji təsirlərin və mədəni dəyərlərin daşıyıcısı kimi çıxış etmişlər. Türk dilləri, o cümlədən Azərbaycan dili də bu prosesdən kənarda qalmamış, müxtəlif tarixi mərhələlərdə ərəb, fars, rus, son dönəmlərdə isə qloballaşmanın təsiri ilə ingilis dillərinin təsirinə məruz qalmışdır.
Açar sözlər*: Azərbaycan dili, rus dili, türk dilləri, slavyan mənşəli sözlər, alınma sözlər*

Giriş

Slavyan mənşəli sözlərin türk dillərinə daxil olması əsasən XIX əsrin ikinci yarısından etibarən siyasi və inzibati amillərlə bağlı olmuşdur. Rusiya imperiyasının genişlənmə siyasəti, sonrakı mərhələdə isə Sovet İttifaqının tərkibinə müxtəlif dövlətlərin daxil edilməsi ilə bu xalqların leksik bazasına rus dili daxil olmağa başlamışdır. Belə ki, rəsmi yazışmaların, təhsilin və həyatın digər sahələrində uzun müddət rus dilinin istifadəsinin məcbur edilməsi və aradan keçən müddət bir sıra slavyan mənşəli sözlərin türk xalqlarının dillərinə, həmçinin Azərbaycan dilinə də keçməsinə səbəb olmuşdur. Bu şəraitdə slavyan mənşəli sözlər əsasən rəsmi-işgüzar, texniki, inzibati və məişət sahələrinə aid anlayışları ifadə etmək üçün türk dillərinə daxil olmuşdur. Qeyd olunan təsir nəticəsində bir sıra slavyan mənşəli sözlər yalnız passiv leksik qatla məhdudlaşmamış, zamanla gündəlik danışıq dilində, eləcə də yazılı mətnlərdə də aktiv istifadə olunmağa başlamışdır. Bu sözlərin bir qismi semantik və struktur baxımdan dilin daxili qanunauyğunluqlarına zamanla uyğunlaşmışdır. Məqalədə Azərbaycan dili başda olmaqla digər bəzi türk dillərində aktiv işlənən slavyan mənşəli sözlərin yaranma yolları, semantik xüsusiyyətləri, funksional funksiyaları və sosiolinqvistik aspektləri elmi-nəzəri baxımdan təhlil olunur.

Slavyan dilləri ilə türk dilləri arasındakı təmaslar orta əsrlərdən etibarən mövcud olsa da, intensiv leksik təsir əsasən XIX–XX əsrlərdə baş vermişdir. Rusiya imperiyasının Cənubi Qafqaz və Orta Asiyaya doğru genişlənməsi, daha sonra isə Sovet İttifaqının tərkibində vahid inzibati və ideoloji sistemin yaradılması bu təsiri gücləndirmişdir. Rus dili rəsmi idarəçilik, təhsil, elm, texnika və hərbi sahələrdə üstün mövqe tutduğundan slavyan mənşəli termin və anlayışlar türk dillərinə kütləvi şəkildə daxil olmuşdur [4; 26]. Bu mərhələdə alınma sözlər təkcə terminoloji sahə ilə məhdudlaşmamış, gündəlik məişət leksikasında da geniş yayılmışdır. Nəticədə bəzi slavyan mənşəli sözlər lokal qarşılıqlarını sıxışdıraraq aktiv leksikonun tərkib hissəsinə çevrilmişdir. Rus dilindən Azərbaycan dili də daxil olmaqla digər türk dillərinə keçən sözlər yuxarılda da qeyd etdiyimiz kimi əsasən **hərbi** (*солдат, офицер, приказ, штаб, фронт, дивизия*), **rəsmi və inzibati idarəçilik** (*документ, протокол, акт, инструкция, контроль, начальник*), **təhsil və elm sahəsi** (*школа, университет, институт, студент, экзамен, диплом*), **texnika və gündəlik texnologiyada istifadə olunan alətlər** (*телефон, трактор, машина, мотор, электричество, станция*) və s. sahələrə aid müvafiq terminlər və leksik vahidlər təşkil edir. Yuxarıda rus dilində yer alan bu fərqli sahələrə aid sözlərdən bir qismi hal-hazırda Azərbaycan və digər türk dillərində işlənsə də, bəziləri artıq müvafiq mənanı əvəz edən digər türk və ya əcnəbi mənşəli sözlərlə əvəz edilmişdir. Məsələn, **Azərbaycan dilində** yuxarıda verilən rus dilində mövcud olan hərbi leksika ilə bağlı sözlərdən *diviziya* dilin leksik fondunda hal-hazırda işlənsə də *soldat, ofiser, prikaz, ştab, front* kimi sözlər artıq Azərbaycan dilinin aktiv lüğət fondunda işlənməs də, ara sözlər kimi danışıqda hələ də orta və yaşlı nəsil arasında işləkliyini saxlamışdır. Eyni sözlərə **qazax dilində** (*soldat, ofitser, prïkaz, ştap*) və **qırğız dilində** (*солдат, офицер, штаб, фронт*) ya müəyyən qədər səs dəyişikliyinə uğramış və ya eyni ilə formasını saxlamış hərbi terminlər olaraq rast gəlirik [1]. Səbəb isə uzun müddət SSRİ-nin tərkibində olan xalqlarda hərbi terminlərdə də eyni sözlərin uzun müddət istifadəsi ilə dilə sirayət etməsi ilə bağlıdır.

Rus dilindən alınma bəzi rəsmi idarəçilik və inzibati sahə ilə bağlı sözlər hələ də Azərbaycan dilində aktiv olaraq işlənir. Belə ki, *protokol, akt, instruksiya, kontrol* kimi sözlər **Azərbaycan dili**nin lüğət fondunda

işləkliyini hələdə qoruyub saxlayır. Ancaq *dokument* sözü ***sənəd***, *naçalnik* sözü ***rəis*** kimi ərəb mənşəli sözlərlə əvəz olunsa da, loru danışıq dilində bəzən paralel olaraq tələffüzdə yer alır [2]. Bununla birlikdə *документ, акт, контроль* kimi sözlər hal-hazırda həm tatar, həm başqırd dillərinin aktiv lüğət fondunda indi də işlənməkdədir.

Rus dilindən Azərbaycan dilində keçən təhsil və elm sahələrini əhatə edən hal-hazırda da aktiv şəkildə dildə işlənən sözlər mövcuddur. Bunların bəziləri ərəb dilində qarşılıqları ilə əvəz edilsə də, bəziləri hələ də aktiv olaraq işləkliyini qoruyur. Rus dilindən **Azərbaycan dilinə** keçən təhsil elm sahəsi ilə bağlı sözlərə *universitet, instiut, diplom* kimi sözləri misal çəkə bilərik. Bunun yanında *школа* – ***məktəb***, *студент* – ***tələbə***, *экзамен* – ***imtahan*** kimi ərəb mənşəli analoqları ilə əvəz olunmuşdur [3]. Ancaq qeyd edilməlidir ki, yuxarıda bəhsi keçən *школа, студент, экзамен* kimi sözlər Azərbaycan dilinin aktiv lüğət fondunda olmasa da, əsasən rus təmayüllü təhsil almış kəsimlərdə qarşılıqları olan *məktəb, tələbə, imtahan* kimi ərəb mənşəli sözlərə nəzərən daha çox istifadə olunur. Bu sözlər artıq dil daşıyıcıları tərəfindən dilə yad olan element kimi deyil, dilin təbii hissəsi kimi qəbul olunur. Digər türk dillərinə nəzər yetirdikdə *университет, институт, студент, диплом* kimi təhsil sahəsinə aid leksik vahidlərin **qazax** və **qırğız dillərinin** aktiv lüğət fondunda yer aldıqlarını qeyd edə bilərik. Uzun müddət rus təhsil sisteminin təsiri altında qalmış türk dillərində indi də slavyan mənşəli sözlərin yer aldığını görmək olar. Həmçinin qeyd edilməlidir ki, bu sözlərin bir qismi latın mənşəli olmaqla öncə rus dilinə oradan isə Azərbaycan və digər türk dillərinə keçmişdir.

Texnika və gündəlik texnoloji leksikaya aid bəzi sözlər **Azərbaycan dilində** indi də aktiv lüğət fondunda işləkliyini qoruyub saxlamışdır. Belə ki, *telefon, traktor, motor* kimi sözlər eyni məfhumu bildirir, eyni tələffüzə malikdir və Azərbaycan dilinin aktiv lüğət fondunda indi də yer alır. Bunun yanınsıra *машина* – ***maşın***, *электричество* – ***elektrik***, *станция* – ***stansiya*** leksik vahidləri cüzi səs və hərf dəyişikliyi ilə hal-hazırda həm rus, həm Azərbaycan dilində eyni məhfumu bildirməklə dilin aktiv lüğət fondunda yer alır. *Телефон, трактор, станция* sözləri isə **qazax** və **tatar dillərində** rus dili ilə eyni mənanı bildirməklə bu türk dillərinin aktiv lüğət fondunda heç bir orfoqrafik dəyişiklik olmadan yer alır [4]. Yuxarıda yer alan texnologiyaya aid sözlər beynəlmiləl kimi görünsə də türk dillərinə əsasən rus dilinin aktiv lüğət fondundan keçmişdir. Öz növbəsində bu sözlərin bir qismi slavyan deyil, etimoloji cəhətdən roman-german və ya latın mənşəli olsalar da, bəziləri rus dilinin səs məxrəcinə uyğunlaşdıqdan sonra digər keçmiş sovetlər məkanına daxil olmuş türk dilli xalqların lüğət fonduna keçmişdir [5].

Yuxarıda nəzər yetirdiyimiz fərqli həyat sahələrinə aid leksik vahidlərin təhlili nəticəsində slavyan mənşəli sözlərin aktiv istifadəsinin təkcə Azərbaycan dili ilə məhdudlaşmadığını söyləyə bilərik. Qazax, qırğız, tatar və başqırd dillərində də rus dilindən alınma leksik vahidlərin hal-hazırda da aktiv şəkildə bu türk dillərinin aktiv lüğət fondlarında yer aldıqlarını söyləyə bilərik [6]. Bu dillərdə alınma sözlərin müvafiq türk dilinə uyğunlaşma səviyyəsi fərqli olsa da, oxşar cəhət ondan ibarətdir ki, slavyan mənşəli leksika əsasən şəhər mədəniyyəti, təhsil və idarəçilik sahələrində dominant mövqe tutmuş, kənd mühitində və folklor leksikasında isə milli söz ehtiyatı daha çox qorunub saxlanılmışdır.

Slavyan mənşəli sözlərin mühüm xüsusiyyətlərindən biri onların semantik sabitliyidir. Alınma sözlər, adətən, daxil olduqları dövrdə daşıdıqları məna çərçivəsini böyük ölçüdə qoruyub saxlamışdır. Bununla belə, bəzi sözlər semantik genişlənməyə və ya daralmaya məruz qalmışdır. Funksional baxımdan bu sözlər rəsmi-işgüzar üslubda daha aktivdir. Elmi mətnlər, hüquqi sənədlər və texniki təlimatlar slavyan mənşəli sözlərin intensiv istifadə edildiyi social yönümlü sahələr sırasındadır [7]. Danışıq dilində isə bu sözlər əsasən vərdiş və prestij faktoru ilə əlaqəlidir.

Slavyan mənşəli sözlərin aktivliyi birbaşa sosial faktorlarla əlaqəlidir. Sovet dövründə rus dilini bilmək sosial yüksəliş və intellektual üstünlük göstəricisi kimi qəbul edilirdi [8]. Bu səbəbdən rus mənşəli sözlərdən istifadə prestij elementi kimi formalaşmışdır. Müstəqillik dövründə dil siyasəti milli leksikanın dirçəldilməsini təşviq etsə də, müəyyən slavyan mənşəli sözlər artıq dilin kommunikativ funksiyalarına uyğunlaşdırıldığı üçün dilin aktiv lüğət fondundan çıxmamışdır. Bu vəziyyət dilin təbii inkişaf prosesi kimi də qiymətləndirilə bilər.

Hazırkı mərhələdə türk dillərində, o cümlədən Azərbaycan dilində *purizm meylləri* müşahidə olunur [4]. Slavyan mənşəli sözlərə qarşı milli qarşılıqların təklif edilməsi dilin daxili imkanlarının genişləndirilməsinə xidmət edir. Lakin praktik dil istifadəsi göstərir ki, tam əvəzlənmə hər zaman mümkün olmur. Xüsusilə qlobal texnologiya və elm sahəsində beynəlxalq terminlər slavyan mənşəli terminlərlə paralel şəkildə işlənməkdədir. Bu isə çoxqatlı leksik sistemin formalaşmasına şərait yaradır.

Tədqiqat metodu

Məqalədə tədqiqat metodologiyası əsasən təsviri, müqayisəli və sosiolinqvistik yanaşmaların inteqrasiyası əsasında qurulmuşdur. Müxtəlif türk dillərində, xüsusilə Azərbaycan dilində işlənən slavyan mənşəli leksik vahidlər semantik, funksional və struktur baxımdan təhlil edilərək paralel dil materialları ilə müqayisəli şəkildə araşdırılmışdır. Eyni zamanda, dil vahidlərinin aktivlik dərəcəsi və istifadəsi sosial-tarixi kontekst çərçivəsində şərh olunaraq onların kommunikativ və sosiomədəni funksiyaları müəyyənləşdirilmişdir

Nəticə

Aparılan təhlil göstərir ki, slavyan mənşəli sözlər Azərbaycan və digər türk dillərində həm tarixi, həm də funksional baxımdan mühüm yer tutur. Bu sözlərin bir qismi artıq aktiv leksikonun ayrılmaz hissəsinə çevrilmiş, kommunikativ ehtiyacları effektiv şəkildə ödəməkdədir. Slavyan mənşəli leksikanın mövcudluğu dilin zənginləşməsi və tarixi inkişafının göstəricisi kimi qiymətləndirmək olar. Eyni zamanda, milli dil siyasəti çərçivəsində bu sözlərin funksional balansının qorunması da leksikologiyanın qarşısında duran vacib məsələlərdən biridir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. A. Axundov, "Azərbaycan dilinin leksikologiyası," Maarif, Bakı, 1986, pp. 1–300.
2. M. Tağıyev, İ. Kərimov, "Azərbaycan–rus lüğəti," Şərq–Qərb, Bakı, 2006, pp. 1–616.
3. Ə.Dəmirçizadə, "Azərbaycan dilinin leksikası və alınma sözlər," Elm, Bakı, 1981, pp. 1–224.
4. E.Hüseynova, "Müasir türk dili: tərcümənin linqvistik problemləri," Savad, Bakı, 2019, pp. 1–192.
5. J.Tomas, "Linguistic purism," Longman, London, 1991, pp. 1–221.
6. Ф.Сафиуллина, "Татарско-русский словарь," Татарское книжное издательство, Казань, 1998, pp. 1–512.
7. З.Ураксин, "Башкирско-русский словарь," Китап, Уфа, 1996, pp. 1–640.
8. А.Ысқақов, "Қазақша-орысша сөздік," Арыс, Алматы, 2005, pp. 1–704.

AZƏRBAYCAN DİLİ ŞİVƏLƏRİ VƏ QAZAX DİLİNDƏ ORTAQ FONETİK XÜSUSİYYƏTLƏR

SEVİNC QƏMBƏROVA
Bakı Biznes Universiteti
Humanitar elmlər kafedrası
sevinc.qemberova@mail.ru
BAKI, AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ

Məqalədə Azərbaycan dili şivələri ilə qazax dilində olan ortaq fonetik xüsusiyyətlər tədqiqata cəlb edilmişdir. Türk dilləri və onların dialektləri arasında dilin bütün laylarında bir çox ortaq və fərqli xüsusiyyətlər mövcuddur. Bu kimi xüsusiyyətlərin ortaya çıxarılaraq tədqiqata cəlb edilməsi türklər üçün ortaq ünsiyyət dilinin formalaşması prosesində, ortaq lüğətlərin, atlasların tərtib edilməsində, ortaq terminologiyanın yaradılmasında xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Fonetik xüsusiyyətlərin araşdırılması bir çox məsələlərə işıq salır, köktürkcədən gələn arxetiplərin aşkarlanmasında mühüm rol oynayır. Məqalədə Azərbaycan dilində dialekt səviyyəsində özünü göstərib qazax ədəbi dilində istifadə olunan fonetik xüsusiyyətlərə (velyar ŋ səsinin işlədilməsi, d~t, b~m səs dəyişmələri, səsartımı hadisəsi, j-laşma) aydınlıq gətirilmişdir. Tədqiqat aparılarkən müşahidə, təsvir və müqayisə metodlarından istifadə edilmişdir.

Açar sözlər: Azərbaycan dili şivələri, qazax dili, ortaq xüsusiyyət

Common Phonetic Features in Azerbaijani Dialects and the Kazakh Language

SEVİNC GAMBAROVA

ABSTRACT

The article examines the **common phonetic features** found in Azerbaijani dialects and the Kazakh language. Among Turkic languages and their dialects, there are many common as well as different features across all levels of the language. Identifying and studying such features is of particular importance for the

formation of a common communication language among Turkic peoples, as well as for the compilation of common dictionaries and atlases and the creation of shared terminology. The study of phonetic features sheds light on many linguistic issues and plays an important role in revealing archetypes that originate from Proto-Turkic. The article clarifies phonetic features that appear at the dialect level in the Azerbaijani language but are used in the Kazakh literary language (such as the use of the velar ŋ sound, sound alternations **d~ t** and **b~ m**, the phenomenon of sound insertion, and **j-ization**). During the research, observation, description, and comparison methods were used.
Keywords: Azerbaijani dialects, Kazakh language, common feature.

GİRİŞ

XX əsrin əvvəllərindən başlayaraq Azərbaycan dili şivələri tədqiq olunmağa, müxtəlif bölgələr və sahələr üzrə dialektoloji lüğətlər tərtib edilməyə başlanılmışdır. Əsrin ikinci yarısından bu tədqiqlər daha sistemli bir şəkildə aparılaraq geniş vüsət almışdır.Bir çox müəlliflər şivələrin təsnifatı məsələsi ilə məşğul olaraq, onları coğrafi, linqvistik və s.xüsusiyyətlərinə görə qruplaşdırmışlar.Son təsnifata görə Azərbaycan dili şivələri üç əsas və bir qarışıq tipli ləhcədə birləşdirilir.Hər bir ləhcənin daxilində oxşar cəhətlərinin çoxluğuna görə şivə qrupları ayrılır.“Şimal-şərq ləhcəsinə daxil olan şivə qrupları: 1) Bakı-Şamaxı; 2) Quba-Xaçmaz; 3) Dərbənd; Qərb ləhcəsinə daxil olan şivə qrupları: 1) Qarabağ; 2) Qazax-Borçalı; 3) Ayrım şivəsi (Gədəbəy Və Daşkəsən rayonlarının ərazisində). Cənub ləhcəsinə daxil olan şivə qrupları: 1) Təbriz; 2) Ərdəbil; 3) Zəncan; 4) Urmiya; 5) Naxçıvan və s. Şimal-qərb qarışıq tipli ləhcəsi isə Şəki-Zaqatala regionunun şivələrini əhatə edir” (Əzizov, 2016, s.280-281).

Qazax dili türk dilləri ailəsinə daxil olub özünəxas fonetik, leksik, qrammatik xüsusiyyətləri olan müstəqil bir dildir. Qazax dili qaraqalpaq, qırğız, Altay, noqay dilləri ilə birlikdə türk dilləri ailəsinin qıpçaq qrupuna daxildir. Qazax dili Qazaxıstan Respublikasının dövlət dilidir, bu dildə 10 (on) milyona yaxın əhali danışır. “Qazax xalq dili XV-XVI əsrlərdə formalaşmışdır. Çox ehtimal ki, qazaxlar Qızıl Ordaya daxil olan bulqar, peçeneq, polovets tayfa birlikləri ilə bağlı olmuşdur. Qazax dilinin lüğət tərkibinin əsasını xalis türk mənşəli sözlər təşkil etsə də rus, ərəb, fars, monqol, Avropa mənşəli sözlər də vardır. Qazax dilinə ərəb-fars sözləri özbək və tacik, eləcə də tatar dilləri vasitəsi ilə XVIII-XIX əsrlərdə daxil olmuşdur. Monqol sözləri isə XII-XIII əsrlərdə monqol istilasından sonra keçmişdir” (Xəlilov, 2013, səh. 260).

Bir dildən başqa dilə söz keçməsi ehtiyacın nəticəsidir. Dünyada elə bir dil tapmaq olmaz ki, bir dildən başqa dilə söz keçməsin. Dil ünsiyyət vasitəsi olduğu üçün hər bir dil qrupunun digər sistemli dillərlə təmasda olması zəruridir (Teymurlu, 2022, səh.384). Dillər və onların dialektləri arasında olan fərqlər ən çox özünü onların fonetik quruluşunda, yəni səs sistemində olan fərqliliklərdə göstərir. Bu mənzərə həm ədəbi dil ilə dialektlərinin, eyni zamanda bir dilin müxtəlif dialektləri arasında da müşahidə edilir. Hər bir dilin dialektlərinin öyrənilməsində fonetik xüsusiyyətlərin böyük önəmi vardır. Çünki say baxımından da fonetik xüsusiyyətlər çoxluq təşkil edir, həmçinin bu xüsusiyyətlərin öyrənilməsi digər yaruslarda olan xüsusiyyətlərə (leksik, qrammatik) də aydınlıq gətirir (Qemberova, 2025, səh.123). Azərbaycan dili şivələri ilə qazax dili arasında bir çox ortaq fonetik xüsusiyyətlər özünü göstərməkdədir: Ŋ işlənməsi. Ŋ-dilarxası sonorlu cingiltili səsdir. Bu səsə sağır “nun”, ya da velyar ŋ deyilir. Ŋ səsi dilin arxa tərəfinin arxa damağa yaxınlaşması ilə deyilir. Bildiyimiz üzrə, ŋ səsinin qədim şəkli qovuşuq nq, nğ, ng olmuşdur ki, bunu türk dillərinə aid qədim abidələrdə, klassiklərimizdə və dialektlərimizdə görə bilərik. ..Daha sonralar ŋ səsi get-gedə öz hissələrinə parçalanmış, bir qrup dialektlərdə bu səsin n ünsürünə, başqa bir qrup dialektlərdə isə q, ğ, g ünsürünə üstünlük verilmişdir (Şirəliyev, 2008, s.72). ŋ səsinin istifadə dairəsinə görə Azərbaycan dili şivələri müxtəlif müəlliflər tərəfindən ənənəvi olaraq aşağıdakı kimi qruplaşdırılmışdır (Məmmədağa Şirəliyev, Elbrus Əzizov, Məhərrəm Məmmədli və b.): 1) Ŋ səsinin olmadığı şivələr (şimal-şərq şivələri); 2) Ŋ səsinin işlək olduğu şivələr (qərb şivələri); 3) Ŋ səsinin düşərək xüsusiyyətlərini özündən əvvəl və sonra gələn saitlərə verdiyi şivələr (cənub şivələri). Hesab edirik ki, ŋ səsinin mövqeyinə görə Azərbaycan dili şivələrinin iki qrupda birləşdirilməsi daha məqsədəuyğundur: 1) Ŋ səsinin istifadəsinin müşahidə edilmədiyi şimal-şərq şivələri; 2) Ŋ səsinin işlədildiyi, yaxud düşərək özünəməxsus cəhətlərini özündən əvvəlki və sonrakı saitlərə ötürdüyü qərb və cənub şivələri. Çünki hazırda bu istiqamətdə canlı olaraq müxtəlif bölgələrin nümayəndələrini dinlədikdə bu halın baş verdiyini görürük. Şahid oluruq ki, qərb şivələrində ŋ səsi ancaq öz möhkəmliyini qoruyub saxlamır, həmçinin düşərək havanın burundan çıxması xüsusiyyətini özündən əvvəl və sonra yanaşı gələn saitlərə ötürür. Məs.: Mãã elə gəlir ki; Sãã elə gəlir (Gəncə) və s. (Qemberova, 2025, səh.128). Türk dilləri sisteminə baxarkən iki hal müşahidə edirik, ŋ səsi ya bu dillərdə ədəbi dil səviyyəsində işlədilir, yaxud ədəbi dildə öz işləkliyini itirmiş olsa belə, həmin dillərin dialektlərində qorunub saxlanılmışdır. Qazax dilində “ŋ hərfi söz əvvəlində işlədilmir. Məs.: -Köp

üzamay bizdiŋ zeŋbirek jau asxanasın tas-talқan kıldı; қataŋ, əreŋ, aŋız, aŋşı, aŋqırt, doŋız və s.” (Bektürov, 2006, səh.40, 41).

Qalınlaşma. Azərbaycan dilini türk və türkmən dillərindən fərqləndirən bir cəhət həmin dillərin qalınlaşmaya, Azərbaycan dilinin isə incələşməyə meyilli olmasıdır. Alınma sözlər həmin dillərdə daha çox qalınlıq ahənginə, Azərbaycan dilində isə incəlik ahənginə tabe olur (Əzizov, 2016, s. 7, 123). Azərbaycan dili şivələrində, xüsusilə qərb şivələrində qalınlaşma hadisəsi daha çox müşahidə olunur. Məs.: -Qardaşı Bəhlul *Danandanın* padcah oluf; -*Keçal* padşah diyənnəri hazır iliyir və padşah qızîn ona verir; -O da deif ki, elə bildim ki, sənin *qısasını* mənnən alajaxlar və s. Azərbaycan ədəbi dili ilə müqayisədə qazax dilində Azərbaycan dilinin şivələrində olduğu kimi qalınlaşma hadisəsinin geniş şəkildə yayıldığını müşahidə edirik. Məs.: gazet, gãvhar, ğarip, ğasiret, dãrt, dãris, zaytın, zalal, zavık, zıyan, tarazı və s. (Kazak Türkçesi Sözlüğü, 1984, 62, 63, 66, 115, 116, 117, 264).

D˜t səs dəyişməsi. Azərbaycan dilinin bütün şivələrində qeyri-müəyyən kəmiyyətdə yayılmışdır; məs.: tiş, tükan, tuşman, tüş, tişi, tustax (Qaz.,Tov.), tayçə, tarağ, taramağ, tayağ, tuman “duman” (Dər.) və s. Məhərrəm Məmmədli hesab edir ki, “bu səs keçidi qıpçaq qrupu türk dilləri üçün səciyyəvidir; məs.: təs “döş”, tis “diş”, tamşı “damcı”(qazax), tovşan, tamşıtarı, til (Qaraqalpaq), tav “dağ”, taş, til, tiş, tiz (qumuq və noqay), tinqez “dəniz”, taru “dərman” (tatar) və s. (Məmmədli, 2019, s. 63-64). Məmmədağa Şirəliyev bu hadisənin qədim türk dilinə aid bir xüsusiyyət olduğunu qeyd edərək göstərmişdir ki: “d səsinin t səsi ilə əvəzlənməsi nəinki müasir türk dillərində, hətta türk dillərinə aid qədim abidələrdə də geniş yayılmışdır. M.Kaşğarinin “Divanü lüğət-it-türk” əsərində d səsi ilə başlanan yalnız 18 söz vardır, qalanları isə t ilə başlanır (Şirəliyev, 2008, s. 77-78).

Azərbaycan dili müqayisədə şahid oluruq ki, qazax dilində dilində müəyyən sözlərin əvvəlində d samitinin kar qarşılığı olan t samiti işlədilir. Məs.: talaq-dalaq, tamaq-damaq, taraq-daraq, tarlıq-darlıq, tarı-darı, tas-daş, tav-dağ, tayaz-dayaz, tayaq-dayaq və s. (Kazak Türkçesi Sözlüğü, 1984, 260, 262, 264, 265, 266, 267). Kaşğari XI əsrdə bu hadisəni belə şərh etmişdir: “Oğuzlar və onlara yaxın olanlar sözdəki t hərfini d ilə əvəz edirlər. Türklər dəvəyə “təwəy”, bunlar “dəvəy” deyirlər. Eynilə dəlik mənasına gələn söz türklərdə “öt”, bunlarda “öd” olur (Kaşğari, 2006, s.105).

B˜ m səs dəyişməsi. Samit səslər təsnif edilərkən küyün yaranma yerinə görə prinsipinə əsasən hansı danışıq üzvlərinin (dil, dodaqlar və dişlər) fəal iştirakına görə qruplaşdırılır. Bu bölgüyə əsasən b, p, m səsləri qoşadodaq samitləri hesab edilir. Bu səslər bəzən bir-birini əvəz edə bilir, tələffüz edilərkən bir-birinin yerinə deyilir. “Azərbaycan dialektologiyası” kitabında göstərilmişdir ki, şivələrdə işarə əvəzlikləri fərqli şəkillərdə qeyri-bərabər kəmiyyətdə yayılmışdır. Bu işarə əvəzliyi hallanarkən adlıq haldan başqa, digər hallarda b˜m dəyişməsi baş verir: munun, muna, munı, munda, munnan. Şivələrin əksəriyyətində bu əvəzliyinin cəm formasında ilk samit dəyişməz qalır (buların). Qazax şivəsində isə b˜ m dəyişməsi saxlanılır. Məs.: munnarıŋ, munnara, munnarı, munnarda, munnardan (Məmmədli, 2019, s. 216).

Hələ XI əsrdə Mahmud Kaşğari türk ləhcələrini müqayisə edərkən b˜ m səs əvəzlənməsindən bəhs etmişdir: “Sözün əvvəlindəki m hərfini suvarlar, *oğuzlar, qıpçaqlar* b hərfi ilə əvəz edirlər. Türklər “mən bardum”, suvarlar, *qıpçaqlar və oğuzlar* isə “bən bardum” deyirlər” və s. (Kaşğari, 2006, s.105). Qazax dilində də Azərbaycan ədəbi dili ilə müqayisələr apararkən şivələrdə olduğu kimi, b˜m səs əvəzlənməsini izləyə bilirik. Məs.: moldıq-bolluq, muz-buz, munday-bunun kimi, murın-burun, müyiz-buynuz və s. (Kazak Türkçesi Sözlüğü, 1984, 200, 201, 202). Qazax dilində əvəzlikləri müşahidə edərkən həm Azərbaycan ədəbi dilində, həm şivələrində olduğu kimi m samitinin mövqeyinin mühafizə edildiyinə şahid oluruq.

Səsartımı hadisəsi. Səs artımı hadisəsinə şivələrdə tez-tez rast gəlinir. Bu hadisə həm saitləri, həm də samitləri əhatə etməklə sözün bütün mövqelərində özünü göstərir. Bu hadisə alınma sözlərdə st, sk, sp, şk, ş, r, l səslərindən əvvəl baş verir (Məmmədli, 2019, s. 86, 87). Qazax dilində sözün əvvəlində (anlautda) r, l samitləri işlənmir. Bunlardan əvvəl ı, i, ü, u saitləri əlavə olunur (Xəlilov, 2013, səh.262).

NƏTİCƏ

Bildiyimiz kimi, Azərbaycan dili türk dilləri arasında oğuz-qıpçaq əsaslıdır. Qədim oğuz və qıpçaq xüsusiyyətləri Azərbaycan dilində həm ədəbi dil, həm də dialekt səviyyəsində qorunub saxlanılmışdır. Bu baxımdan qıpçaq qrupuna daxil olan qazax dili ilə Azərbaycan dilinin şivələri arasında bir çox ortaq xüsusiyyətlər mövcuddur. Azərbaycan dili şivələri ilə qazax dili materiallarını müqayisə edərkən şahid oluruq ki, qazax dilində olan bir çox xarakterik fonetik xüsusiyyətlər Azərbaycan dili şivələrində öz varlığını saxlamaqdadır. Bu tipli araşdırmalar dildə gedən bir çox proseslərin, dəyişmələrin düzgün şəkildə izah edilməsinə, həm türk dillərinin ortaq keçmişinin, həm gələcəyinin işıqlandırılmasına xidmət edir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Əzizov, E. (2016). Azərbaycan dilinin tarixi dialektologiyası: Dialekt sisteminin təşəkkülü və inkişafı. Bakı: Elm və təhsil.
2. Məmmədli, M. (2019). *Azərbaycan dialektologiyası.* Bakı: Zərdabi Nəşr.
3. Xəlilov, B. (2013). Türkologiyaya giriş. Bakı: Bakı Çap Evi.
4. Şirəliyev, M. (2008). *Azərbaycan dialektologiyasının əsasları*. Bakı: Şərq-Qərb.
5. Kaşğari, M. (2006). *Divanü lüğat-it-türk.* I cild.Bakı: Ozan.
6. Qemberova, S. (2025). Azərbaycan Dilinin Şivələri və Özbək Dilində Ortaq Xüsusiyyətlər. Türk Dünyası Dil ve Edebiyat Dergisi, 60, 119-144. https://doi.org/10.24155/tdk.2025.257
7. Teymurlu, Z. (2022). AZƏRBAYCAN DİLİ VƏ TÜRKİYƏ TÜRKCƏSİ DİALEKTLƏRİNDƏ YAD DİLİN İZLƏRİ. Uluslararası Türk Lehçe Araştırmaları Dergisi (TÜRKLAD), 6(2), 383-390. https://doi.org/10.30563/turklad.1200829
8. Kazak Türkçesi Sözlüğü. (1984). İstanbul, Türk Dünyası Araştırmaları Yayını: 8.
9. Bektürov, Ş. (2006). Kazak tili: leksika, fonetika, morfologiya, sintaksis. Almatı: Atamür.

SÜNİ İNTELLEKT VƏ TƏBİİ DİLİN İŞLƏNMƏSİ SAHƏSİNDƏ FİLOLOJİ PROBLEMLƏR

MƏMMƏDOVA VÜSALƏ
Naxçıvan Dövlət Universitetinin nəzdində Naxçıvan Dövlət Texniki Kolleci
vusalmmmdova112@gmail.com
Naxçıvan, Azərbaycan Respublikası

Xülasə

Bu məqalə süni intellekt (SI) və təbii dilin işlənməsi (Natural Language Processing – NLP) sahəsində filoloji problemləri araşdırır. Son illərdə NLP texnologiyaları dilin avtomatlaşdırılmış təhlili və insan-kompüter qarşılıqlı əlaqəsini təmin etmək üçün sürətlə inkişaf etsə də, dilin mürəkkəbliyi – sintaksis, morfologiya, semantika və pragmatika səviyyələrində – hələ də ciddi problemlər yaradır (Chen, 2024; Ahad et al. 2023). Məqalədə 2020–2026-cı illər arasında nəşr olunmuş müasir ədəbiyyat sistemli şəkildə təhlil olunmuş, dilin dərin səviyyələrində NLP-nin məhdudiyyətləri, aşağı resurslu dillər, kontekstual problemlər və mədəni önyaradıcılıq məsələləri müzakirə edilmişdir. Tədqiqat filologiya və NLP arasında qarşılıqlı əlaqənin vacibliyini vurğulayır və göstərir ki, dilin dərin strukturunu anlamaq və modelləri insan dili səviyyəsində təkmilləşdirmək üçün lingvistik nəzəriyyə ilə texnoloji yanaşmaların sintezi zəruridir (Opitz, Wein &Schneider, 2024; Artificial İntelligence and Linguistics, 2025). Məqalə nəticəsində filologiyanın NLP sistemlərinin interpretasiyası, aşağı resurslu dillərin işlənməsi və kontekstual semantikanın təhlilində rolunun artırılması perspektivləri müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: Süni intellekt, təbii dilin işlənməsi, filologiya, NLP problemləri, dilin struktur səviyyələri, aşağı resurslu dillər, semantika, sintaksis.

Giriş

Süni intellekt (SI) və təbii dilin işlənməsi (Natural Language Processing – NLP) son illərdə həm texnologiya, həm də humanitar elmlər üçün yeni perspektivlər açmışdır. NLP, insan dilinin avtomatlaşdırılmış təhlilini və başa düşülməsini hədəfləyən SI sahəsidir və dil nəzəriyyəsi ilə sıx əlaqədədir (Abduvaliyevich, 2024). NLP-nin məqsədi insan dili ilə kompüter arasında səmərəli qarşılıqlı əlaqəni təmin etməkdir ki, bu da süni sistemlərin mətn və nitqi təbii şəkildə anlamağına imkan verir. Lakin dilin mürəkkəbliyi – onun semantik, sintaktik, morfoloji və pragmatik səviyyələri – NLP sistemlərinin inkişafında ciddi çətinliklər yaradır və bu problemlər filologiyanın nəzəri və tətbiqi aspektləri üçün vacib tədqiqat obyektidir (Chen, 2024; Ahad et al., 2023).

NLP texnologiyası dilçiliklə fəal qarşılıqlı əlaqədə olsa da texniki və elmi aspektlər arasında uzlaşma mühüm problemlər doğurur. Bu məqalə NLP-nin filoloji problemlərinə dair sistemli təhlil və filologiya ilə NLP arasında mövcud olan problemlərin ətraflı müzakirəsini təqdim edir.

Material və Metodlar

Bu tədqiqatı həyata keçirmək üçün filologiya və NLP sahəsində müasir akademik məqalələr, nəzəri icmallar və araşdırma işləri sistematik təhlil edilmişdir.

Tədqiqat materialı arasında 2020-2026-ci illərdə nəşr olunmuş məqalələr üstünlük təşkil etmiş və dilin müxtəlif səviyyələrində NLP-nin problemlərini əks etdirən işlər analiz edilmişdir.

Seçilmiş materiallar aşağıdakı meyarlar üzrə sistematik təhlilə cəlb edilmişdir:

- Xronoloji uyğunluq: NLP sahəsində texnoloji yeniliklərin sürətini nəzərə alaraq, son 5-6 ilin nəşrlərinə üstünlük verilmişdir.
- Tematik əhatəlilik: Məqalələr dilin dörd əsas səviyyəsi (morfologiya, sintaksis, semantika və pragmatika) üzrə qruplaşdırılmışdır.
- Dil spesifikasiyası: Həm ingilis dili kimi yüksək resurslu, həm də Azərbaycan və digər türk dilləri kimi aşağı resurslu dillərə aid tədqiqatların müqayisəli analizi aparılmışdır (Survey on NLP, 2023; Böyük dil modellərinin Azərbaycan dilinə tətbiqi, 2025).

Tədqiqatda keyfiyyət analizi (qualitative analysis) və müqayisəli dilçilik metodlarından istifadə olunmuşdur. Müasir transformer əsaslı modellərin (məsələn, BERT, GPT) dilin dərin strukturunu anlama qabiliyyəti lingvistik nəzəriyyələrlə qarşılaşdırılmış, texniki nailiyyətlərlə filoloji tələblər arasındakı uyğunsuzluqlar (gap analysis) müəyyən edilmişdir.

NLP-nin filoloji problemləri

1. Dilin strukturunun anlaşılması və semantika:

NLP sistemləri sintaktik analiz və semantika səviyyəsində hələ də məhdud nəticələr göstərir. Dilin kompleks semantik strukturlarını, məna yüklərini və konteksdən asılı mənaları obyektiv şəkildə başa düşməkdə bu sistemlər çətinlik çəkir (Chen, 2024). Belə ki, NLP modelləri çox vaxt səth səviyyəli nümunələrə əsaslanır və dərin mənanı qavraya bilmir (Opitz, Wein & Schneider, 2024).

2. Morfoloji mürəkkəblik və dil variasiyaları:

Bir çox dillər üçün morfologiyanın zənginliyi NLP-də ciddi problemə çevrilir. Məsələn, əksər transformer əsaslı modellər İngilis dili üçün optimallaşdırılsa da morfoloji cəhətdən mürəkkəb dillərdə, onun dialektal variasiyalarında və aşağı resurslu dillərdə performans kəskin düşür (Alayba, 2025; Böyük dil modellərinin Azərbaycan dilinə tətbiqi, 2025). Bu, NLP sistemlərinin dillərin nüanslarını effektiv şəkildə əks etdirməsini çətinləşdirir.

3. Kontekst və ironiyanın anlaşılması:

NLP sistemləri tez-tez kontekstual nüansları düzgün təhlil edə bilmir. Məsələn, ironiyanın, sarkazmın və nitq niyyətinin tanınması kimi fenomenlər hələ də texniki baxımdan çətindir (Ahad et al., 2023). Bu problemlər pragmatikanın avtomatlaşdırılmış analizini tələb edir.

4. Aşağı resurslu dillər və mədəni kontekst:

NLP sahəsi çox vaxt İngilis dili kimi yüksək resurslu dillərə daha çox yönəlib. Aşağı resurslu dillərdə korpusların olmaması, təlim məlumatlarının məhdudluğu və dilin mədəni spesifikasiyası NLP üçün əlavə problemlər yaradır (Survey on NLP, 2023). Bu, xüsusilə turk dilləri və regional dillər üçün daha qabarıqdır (Böyük dil modellərinin Azərbaycan dilinə tətbiqi, 2025).

Süni intellekt və təbii dil emalı arasında perspektivlər

1. Dilçilik və Süni intellekt sintezi:

Filologiya və computional linguistics sahələri arasında qarşılıqlı əlaqə NLP sistemlərinin daha dərin dili başa düşmə qabiliyyətini inkişaf etdirməyə kömək edə bilər (Artificial İntelligence and Linguistics, 2025). Bu, yalnız texniki nəticələr üçün deyil, həm də dil nəzəriyyəsinin inkişafı üçün əhəmiyyətlidir. Belə yanaşma NLP-ni həm praktiki, həm də nəzəri baxımdan zənginləşdirə bilər.

2. Yeni modellər və dərin öyrənmə yanaşmaları:

Dərin öyrənmə və transformer əsaslı modellər son illərdə NLP sahəsində əhəmiyyətli nəticələr göstərmişdir. Bu modellər sözdən-sözə tərcümə, mətn sintezi, sentiment analizi kimi sahələrdə irəliləyişlər təmin etsə də onların interpretasiyası və insan dili səviyyəsində başa düşülməsi məsələləri hələ də açıq problem olaraq qalır (Opitz, Wein & Schneider, 2024).

3. Etik və mədəni problemlər:

Təbii dil emalı sistemləri bəzən məlumat dəstlərindəki mövcud önyaradıcılıqları təkrarlaya bilər ki, bu da etnik, mədəni və cinsiyyətə əsaslanan yanlış nəticələrə səbəb ola bilər (Survey on NLP, 2023). Bu sahədə filoloji və humanitar perspektivlərin daxil edilməsi, dilin mədəni kontekstini anlamada əhəmiyyətlidir.

Maşın öyrənməsi və dilçilik nəzəriyyəsinin sintezi: İnterdissiplinar yanaşma

Müasir süni intellekt sistemləri, xüsusilə "Transformer" arxitekturalı modellər dilin emalında böyük uğurlar qazansa da, bu uğurlar daha çox statistik ehtimallara və böyük həcmli məlumatların (Big Data) analizinə əsaslanır. Lakin dilin təkcə riyazi model deyil, həm də bioloji və sosiokültürəl bir fenomen olması dilçilik nəzəriyyəsi ilə texnoloji yanaşmaların sintezini qaçınılmaz edir (Artificial İntelligence and Linguistics, 2025).

1. Generativ dilçilik və modellərin limitləri: Noam Chomsky-nin generativ dilçilik nəzəriyyəsinə görə, insan dili sonsuz sayda cümlə qurmaq qabiliyyətinə malik daxili qaydalar sistemidir. Hazırkı NLP modelləri isə dili "anlamaqdan" ziyadə, növbəti sözün gəlmə ehtimalını hesablayır. Bu "stoxastik tutuquşu" (stochastic parrots) problemi dilin dərin strukturunu (deep structure) deyil, yalnız səth strukturunu (surface structure) əks etdirir (Opitz, Wein & Schneider, 2024). Filoloji analiz göstərir ki, modellərin həqiqi intellekt səviyyəsinə çatması üçün onların təliminə xalis statistik məlumatlarla yanaşı, qrammatik qaydalar və məntiqi asılılıqlar da inteqrasiya edilməlidir.

2. Semantik interpretasiya və simvolik süni intellekt: Dərin öyrənmə (Deep Learning) modelləri "qara qutu" (black box) prinsipi ilə işləyir; yəni modelin niyə məhz həmin nəticəni verdiyini filoloji baxımdan izah etmək çətindir. Sintez yanaşması tələb edir ki, maşın öyrənməsi modelləri **Simvolik AI** (qaydalara əsaslanan sistemlər) ilə birləşdirilsin (Chen, 2024). Bu hibrid yanaşma NLP sistemlərinə sözlərin yalnız statistik qonşuluğunu deyil, onların semantik sahələrini və konseptual əlaqələrini dərk etməyə imkan verərdi.

3. Pragmatika və "Dünya Bilgisi" problemi: Dilçilik nəzəriyyəsi vurğulayır ki, cümlənin mənası yalnız onun tərkibindəki sözlərlə deyil, həm də deyildiyi kontekst və "dünya bilgisi" ilə müəyyən olunur. NLP sistemlərinin ən böyük çatışmazlığı onların real dünya təcrübəsinə malik olmamasıdır (Ahad et al., 2023). Dilçiliklə Sİ-nin sintezi, modellərə sosiolinqvistik normaların, mədəni kontekstlərin və etik çərçivələrin proqramlaşdırılması vasitəsilə bu boşluğu doldura bilər.

4. Hesablama dilçiliyinin (Computational Linguistics) yeni üfüqləri: Yeni nəsil modellər artıq yalnız mətn yox, həm də dilin struktur modellərini (dependency parsing, ontological mapping) nəzərə almalıdır. Bu sintez sayəsində modellər dili insan kimi "duyaraq" emal edə bilər ki, bu da xüsusilə bədii tərcümə və yaradıcı yazı sahələrində inqilabi dəyişikliklərə yol açar (Opitz, Wein & Schneider, 2024).

Azərbaycan dili üçün spesifik NLP problemləri və filoloji baryerlər

Azərbaycan dilinin təbii dilin işlənməsi (NLP) sistemlərinə inteqrasiyası zamanı qarşıya çıxan çətinliklər dilin həm struktur, həm də resurs xüsusiyyətlərindən irəli gəlir. Bu problemləri üç əsas istiqamətdə qruplaşdırmaq olar:

1. Aqqlütinativ Struktur və Morfoloji Mürəkkəblik: Azərbaycan dili iltisaqi (aqqlütinativ) dil olduğu üçün bir söz kökünə çoxsaylı leksik və qrammatik şəkilçilər artırıla bilər. Bu xüsusiyyət NLP modelləri, xüsusilə ingilis dili kimi analitik dillər üzərində təlim keçmiş sistemlər üçün "söz formalarının partlayışı" (vocabulary explosion) problemini yaradır (Böyük dil modellərinin Azərbaycan dilinə tətbiqi, 2025). Məsələn, bir isim hal, cəm və mənsubiyyət şəkilçiləri qəbul edərək onlarla müxtəlif variasiyada çıxış edə bilər ki, bu da modelin hər bir formanı ayrı-ayrı token kimi tanımasını çətinləşdirir.

2. Semantik Çoxmənalılıq və Omonimlik: Azərbaycan dilində omonimlərin və çoxmənalı sözlərin bolluğu semantik analiz zamanı ciddi xətalar doğurur. Məsələn, "yaş" sözünün həm "islaq", həm də "ömür hissəsi" mənalarında işlənməsi, yaxud "gül" sözünün həm isim (çiçək), həm də fel (gülmək) kimi çıxış etməsi modelin kontekstual dərketmə qabiliyyətindən asılıdır (Böyük dil modellərinin Azərbaycan dilinə tətbiqi, 2025). Mövcud modellər çox vaxt bu fərqləri ayırmaqda çətinlik çəkir və mətnin ümumi mənasını təhrif edir.

3. Aşağı Resurslu Dil Statusu və Rəqəmsal Korpus Problemi: Azərbaycan dili NLP sahəsində "aşağı resurslu dil" (low-resource language) hesab olunur. Bu o deməkdir ki, Sİ modellərinin təlimi üçün zəruri olan geniş, etiketlənmiş və yüksək keyfiyyətli Azərbaycan dilli mətn korpusları yetərli deyil (Survey on NLP, 2023). Xüsusilə böyük dil modellərinin (LLM) Azərbaycan dilindəki performansı, ingilis dili ilə müqayisədə qrammatik və üslubi baxımdan daha zəifdir (Böyük dil modellərinin Azərbaycan dilinə tətbiqi, 2025). Bu, həm də dialektal fərqlərin və şifahi nitq xüsusiyyətlərinin rəqəmsal bazalarda tam əks olunmaması ilə bağlıdır.

4. Sintaktik Sərbəstlik və Söz Sırası: Azərbaycan dilində söz sırasının nisbətən sərbəst olması (məsələn, xəbərin cümlənin ortasında gəlməsi və ya inversiya) sintaktik analizatorların (parsers) cümlə üzvləri arasındakı asılılıqları düzgün müəyyən etməsinə mane olur. Bu, xüsusilə bədii mətnlərin və poeziyanın avtomatlaşdırılmış təhlilində özünü büruzə verir (Böyük dil modellərinin Azərbaycan dilinə tətbiqi, 2025).

Nəticə

Bu məqalə göstərir ki, süni intellekt və təbii dilin işlənməsi ilə bağlı filoloji problemlər çoxşaxəlidir və bunlar dilin struktur səviyyələrindən, resursların müxtəlifliyindən və dilin kontekstual spesifikasiyasından irəli gəlir (Chen, 2024; Ahad et al., 2023). NLP texnologiyasının inkişafı filologiya ilə daha sıx əlaqədə olmalı, dilin dərin və kontekstual səviyyələrini nəzərə almalıdır (Opitz, Wein & Schneider, 2024). Bu əməkdaşlıq təkcə texnoloji tərəqqi üçün deyil, həm də dil nəzəriyyəsinin zənginləşdirilməsi üçün vacibdir. Gələcək tədqiqatlar NLP-də humanitar aspektlərin daha da inteqrasiyası, aşağı resurslu dillər üçün resursların yaradılması və kontekstual pragmatikanın avtomatlaşdırılmış təhlili üzərində fokuslanmalıdır.

Ədəbiyyat

1. Dingli Chen, Challenges of Natural Language Processing from a Linguistic Perspective, Int. J. Educ. & Humanities, 2024.
2. Y. Abduvaliyevich, Linguistics and Artificial Intelligence: Scientific Foundations of Natural Language Processing, Int. J. of AI, 2024.
3. Abdul Ahad et al., Natural Language Processing Challenges and Issues: A Literature Review, Gazi Univ. J. of Sci., 2023.
4. A. M. Alayba, Arabic NLP: Challenges and Techniques, Comput. 2025.
5. Artificial Intelligence and Linguistics: Challenges and Opportunities in Natural Language Processing, Am. J. Lang., Literacy & STEM Educ., 2025.
6. Survey on NLP with Focus on Legal Informatics and Low-Resource Languages, MDPI, 2023.
7. Böyük Dil Modellərinin Azərbaycan Dilinə Tətbiqi və Problemləri, Issues of Turkish Philology, 2025.
8. Y. Opitz, S. Wein, N. Schneider, Natural Language Processing RELIES on Linguistics, 2024.

ƏLÖVSƏT ABDULLAYEVİN YARADICILIĞINDA "-LAY" ŞƏKİLÇİSİNİN ETİMOLOJİ ARAŞDIRILMASI

SƏBİNƏ MUXTAROVA

Bakı Dövlət Universiteti

"Azərbaycan dilinin tətbiqi məsələləri" ETL – kiçik elmi işçi

https://ORCİD.org/0000-0002-1856-2648

Bakı, Azərbaycan

Sabina_mehdi1@mail.ru (051-927-44-44)

Xülasə

Təqdim olunan araşdırmada Ə. Abdullayevin Azərbaycan dilçiliyində, xüsusilə etimologiya sahəsində apardığı tədqiqatların elmi-nəzəri əhəmiyyəti sistemli şəkildə təhlil edilir. Müəllifin "-lay şəkilçisi və elə, belə sözlərinin etimologiyası" adlı məqaləsi əsasında "elə" və "belə" işarə əvəzliklərinin mənşəyi, formalaşma mexanizmi və semantik xüsusiyyətləri geniş elmi kontekstdə araşdırılır.

Tədqiqatda göstərilir ki, Ə. Abdullayev mövcud etimoloji konsepsiyalara tənqidi yanaşaraq, xüsusilə bu sözlərin İran dilləri ilə əlaqələndirilməsi ("ilə" qoşması əsasında izah edilməsi) yanaşmaları elmi arqumentlərlə əsaslandırılmış şəkildə rədd edir. Eyni zamanda, müxtəlif türk dilləri və dialektlərindən gətirilən zəngin faktoloji materiallar əsasında alternativ konsepsiya irəli sürülür.

Müəllifin qənaətinə görə, "elə" və "belə" işarə əvəzlikləri "bu" və "o(l)" əvəzlikləri ilə bənzətmə-müqayisə mənalı "-lay", "-ley" şəkilçilərinin birləşməsi nəticəsində yaranmış, sonrakı fonetik inkişaf prosesində isə struktur dəyişikliklərinə məruz qalaraq müasir formaya düşmüşdür. Bu yanaşma türk dillərində -lay şəkilçisinin müxtəlif variantlarının mövcudluğu və paralel işlənməsi ilə də təsdiqlənir.

Araşdırma nəticəsində belə qənaətə gəlinir ki, Ə. Abdullayevin irəli sürdüyü nəzəri model həm linqvistik məntiqə, həm də geniş müqayisəli materiala əsaslandığı üçün etimoloji tədqiqatlar kontekstində mühüm elmi dəyərə malikdir və Azərbaycan dilçiliyində bu istiqamətin inkişafına əhəmiyyətli töhfə verir.

Açar sözlər: Azərbaycan, dil, etimologiya, şəkilçi, dilçilik,

Summary
The presented study systematically analyzes the theoretical significance of Ə. Abdullayev's research in Azerbaijani linguistics, particularly in the field of etymology. Based on his article "The suffix -lay and the etymology of the words elə and belə," the origin, formation mechanisms, and semantic features of the demonstrative pronouns "elə" and "belə" are examined within a broad scholarly context.
The research shows that Ə. Abdullayev critically approaches existing etymological theories, explicitly rejecting interpretations that explain these words through Iranian languages or the postposition "ilə," and substantiates this position with solid linguistic arguments. At the same time, he proposes an alternative hypothesis supported by extensive factual material drawn from various Turkic languages and dialects.
According to the author's conclusion, the demonstrative pronouns "elə" and "belə" originated from the combination of the pronouns "bu" and "o(l)" with the comparative-similar suffixes "-lay" and "-ley." In the subsequent phonetic evolution, these forms underwent structural changes and acquired their modern shape. This interpretation is further reinforced by the existence and parallel usage of different variants of the -lay suffix across Turkic languages.
The study concludes that the theoretical model proposed by Ə. Abdullayev is grounded both in linguistic logic and extensive comparative material, making it a significant contribution to etymological research and to the development of Azerbaijani linguistics in this field.
Keywords: Azerbaijan, language, etymology, suffix, linguistics.

Giriş
Azərbaycan dilçiliyi XIX əsrdən etibarən formalaşma mərhələsinə qədəm qoysa da, XX əsr bu elmin xüsusilə sürətli inkişaf və elmi sistemləşmə dövrü kimi xarakterizə olunur. Bu dövrdə Azərbaycan dilçilik məktəbinin təşəkküründə mühüm rol oynamış görkəmli alimlər yetişmişdir. Onların sırasında filologiya elmləri doktoru, professor Ə. Abdullayevin xüsusi yeri və rolü vardır.
Ələvsət Zakir oğlu Abdullayev 1920-ci il fevralın 17-də Şamaxı rayonunun Məlikçobanı kəndində anadan olmuşdur. O, 1939-cu ildə Şamaxı Pedaqoji Texnikumunu yüksək nəticələrlə başa vurmuş, bir müddət Göylər kəndində pedaqoji fəaliyyətlə məşğul olduqdan sonra 1940-cı ildə Bakı Dövlət Universitetinə qəbul olunmuşdur.
Təhsilinin ilk illərindən sonra İkinci Dünya müharibəsinin başlanması ilə əlaqədar hərbi xidmətə çağırılmış, cəbhədə yaralandığı üçün 1942-ci ildə ordudan tərxis edilmişdir. Müharibədən sonrakı dövrdə ali təhsilini davam etdirərək 1950-ci ildə universiteti fərqlənmə diplomu ilə bitirmiş və aspiranturaya qəbul olunmuşdur.
1954-cü ildə "Müasir Azərbaycan dilində xüsusiləşmələr" mövzusunda namizədlik dissertasiyasını, 1964-cü ildə isə "Müasir Azərbaycan dilində tabeli mürəkkəb cümlələr" mövzusunda doktorluq dissertasiyasını müdafiə etmişdir. Bu uğurlar nəticəsində ona filologiya elmləri doktoru alimlik dərəcəsi verilmiş, bir il sonra isə professor elmi adı və vəzifəsi təsdiqlənmişdir.
Ə. Abdullayev Azərbaycan dilçiliyinin müxtəlif istiqamətlərində səmərəli elmi fəaliyyət göstərmiş və dilimizin ayrı-ayrı sahələrinə dair sanballı tədqiqatlar aparmışdır. Onun elmi yaradıcılığında etimoloji problemlərin araşdırılması da mühüm yer tutur.
Müvafiq sahə üzrə dərin nəzəri hazırlıq, dil materiallarını sistemli şəkildə əlaqələndirmə bacarığı və güclü linqvistik intuisiya ilə səciyyələnən alimin "-lay şəkilçisi və elə, belə sözlərinin etimologiyası" adlı məqaləsi bu baxımdan xüsusi elmi maraq doğurur.

Etimoloji araşdırmalar
Ə. Abdullayev dilçilik elminin müxtəlif istiqamətləri üzrə apardığı məhsuldar tədqiqatlarla yanaşı, müəyyən bir tarixi mərhələnin ümumi dilçilik panoramasını formalaşdırmağa nail olmuşdur. Əslində, bu cür sistemli yanaşma yüksək əmək tutumu ilə seçilir. Bu da tədqiqatçıdan geniş zaman kəsiyini əhatə edən elmi mənbələrə, həmçinin müxtəlif müəlliflərin yaradıcılıq irsinə kompleks şəkildə bələd olmağı tələb edir.
Belə çoxşaxəli və məsuliyyətli fəaliyyət hər bir alim üçün əlçatan deyil. Çünki bu istiqamətdə uğur qazanmaq üçün fundamental hazırlıq, dərin nəzəri baza və sahələrarası inteqrativ biliklər zəruridir. Məhz bu kontekstdə, Ə. Abdullayevin sovet hakimiyyətinin ilk dörd onilliyi ərzində Azərbaycan dilçiliyinin inkişaf dinamikasını əks etdirən "Sovet hakimiyyəti illərində dilçiliyimizin inkişafı" adlı elmi məqaləsi xüsusi aktuallıq və elmi dəyər daşıyır [1].

Ə. Abdullayev Azərbaycan dilçiliyinin müxtəlif istiqamətlərini əhatə edən fundamental tədqiqatları ilə seçilən alimlərdən biridir. Onun elmi irsində dilimizin etimoloji problemlərinin araşdırılması da mühüm yer tutur.

Alimin bu sahədəki fəaliyyətini səciyyələndirən əsas cəhətlər sırasında dərin nəzəri hazırlıq, adekvat dil materiallarını sistemli şəkildə müqayisə və əlaqələndirmə bacarığı, eləcə də yüksək səviyyəli linqvistik intuisiya xüsusi qeyd olunmalıdır. Məhz bu keyfiyyətlərin sintezi nəticəsində onun "-lay şəkilçisi və elə, belə sözlərinin etimologiyası" adlı məqaləsi elmi ictimaiyyət üçün diqqətəlayiq və aktual tədqiqat nümunəsi kimi çıxış edir [2].

Müəllif sözügedən məqalədə türk dillərində geniş işləkliyə malik olan "elə" və "belə" işarə əvəzliklərinin etimoloji təhlilini apararaq bu istiqamətdə mövcud elmi yanaşmaları sistemli şəkildə nəzərdən keçirir. Tədqiqat çərçivəsində türkologiyada həmin leksik vahidlərin mənşəyi ilə bağlı irəli sürülmüş müxtəlif konsepsiyalar təqdim olunur. Müəllif onların əksəriyyətinə tənqidi münasibət bildirir.

Xüsusilə, ilkin mərhələdə F.D. Aşninin mövqeyi elmi polemika kontekstində təhlil edilir. Onun fikrincə, qeyd olunan əvəzliklər sadə işarə əvəzlikləri ilə İran dillərində işlənən "xil" sözünün birləşməsi nəticəsində formalaşmışdır [4]. Ə. Abdullayev isə bu yanaşmanı əsaslandırılmış hesab etmir və göstərir ki, "belə" leksik vahidi ən qədim dövrlərdən etibarən dil sistemində mövcuddur. Bundan əlavə, müəllif "xil" sözünün adlıq deyil, yönlük halda təqdim olunmasının da elmi baxımdan inandırıcı olmadığını vurğulayır [3].

Ə. Abdullayevin müraciət etdiyi ikinci tədqiqatçı V. Kotviçdir. Həmin dilçi Jan Deniyin mövqeyinə istinad edərək qeyd edirdi ki, "böyle", "şöyle", "öyle" sözləri "hшйшцшшшшцhшй" işarə əvəzliklərinə "ilə" qoşmasının artırılması yolu ilə formalaşmışdır. Lakin Ə. Abdullayev bu yanaşmaya elmi əsaslarla etiraz edir.

Əvvəla, göstərilən sözlərin tərzi-hərəkət zərfi, bəzi hallarda isə əvəzlik kimi təqdim olunması müəllif tərəfindən düzgün hesab edilmir; onun fikrincə, bu leksik vahidlər mahiyyət etibarilə yalnız işarə əvəzlikləri kimi dəyərləndirilməlidir. İkincisi, verilən nümunələrdə "ilə" qoşmasının semantik izlərini müşahidə etmək mümkün deyil ki, bu da irəli sürülən etimoloji izahın zəif tərəflərindən biri kimi çıxış edir.

Bu mövqe ilə müəyyən dərəcədə səsləşən mülahizə L.A. Pokrovskayaya məxsusdur. Onun qənaətinə görə, qaqauz dilində işlənən "böölə", "ölə", "şöölə" sözləri "bu", "o", "şu" işarə əvəzliklərinə "ilə" qoşmasının şəkilçiləşmiş formasının əlavə olunması nəticəsində yaranmışdır. Müəllif həmin sözləri təyin funksiyasında çıxış edən əvəzlik sifəti və əvəzlik zərfi kimi səciyyələndirir [7].

Ə. Abdullayev isə bu izaha da tənqidi münasibət bildirərək qeyd edir ki, təqdim olunan semantik şərh sözlərin real mənası ilə tam uyğunluq təşkil etmir. Digər mühüm etiraz isə onların həm əvəzlik, həm də sifət kimi xarakterizə olunması ilə bağlıdır. Həqiqətən də, "elə" və "belə" sözləri yalnız işarə əvəzlikləri hesab edilməlidir. Bu sözlərin cümlədə təyin və ya tərzi-hərəkət zərfliyi funksiyasında işlənməsi onların qrammatik təbiətini dəyişmir; əksinə, həmin hallarda əvəzlik müvafiq olaraq sifət və zərf funksiyasını əvəz etmiş olur.

Ə. Abdullayevin müraciət etdiyi ikinci tədqiqatçı V. Kotviçdir. Həmin dilçi Jan Deniyin mövqeyinə istinad edərək qeyd edirdi ki, "böyle", "şöyle", "öyle" sözləri hшйшцшшшшцhшй işarə əvəzliklərinə "ilə" qoşmasının artırılması yolu ilə formalaşmışdır. Lakin Ə. Abdullayev bu yanaşmaya elmi əsaslarla etiraz edir.

Əvvəla, göstərilən sözlərin tərzi-hərəkət zərfi, bəzi hallarda isə əvəzlik kimi təqdim olunması müəllif tərəfindən düzgün hesab edilmir; onun fikrincə, bu leksik vahidlər mahiyyət etibarilə yalnız işarə əvəzlikləri kimi dəyərləndirilməlidir. İkincisi, verilən nümunələrdə "ilə" qoşmasının semantik izlərini müşahidə etmək mümkün deyil ki, bu da irəli sürülən etimoloji izahın zəif tərəflərindən biri kimi çıxış edir.

Bu mövqe ilə müəyyən dərəcədə səsləşən mülahizə L.A. Pokrovskayaya məxsusdur. Onun qənaətinə görə, qaqauz dilində işlənən "böölə", "ölə", "şöölə" sözləri "bu", "o", "şu" işarə əvəzliklərinə "ilə" qoşmasının şəkilçiləşmiş formasının əlavə olunması nəticəsində yaranmışdır. Müəllif həmin sözləri təyin funksiyasında çıxış edən əvəzlik sifəti və əvəzlik zərfi kimi səciyyələndirir [7].

Ə. Abdullayev isə bu izaha da tənqidi münasibət bildirərək qeyd edir ki, təqdim olunan semantik şərh sözlərin real mənası ilə tam uyğunluq təşkil etmir. Digər mühüm etiraz isə onların həm əvəzlik, həm də sifət kimi xarakterizə olunması ilə bağlıdır. Həqiqətən də, "elə" və "belə" sözləri yalnız işarə əvəzlikləri hesab edilməlidir. Bu sözlərin cümlədə təyin və ya tərzi-hərəkət zərfliyi funksiyasında işlənməsi onların qrammatik təbiətini dəyişmir; əksinə, həmin hallarda əvəzlik müvafiq olaraq sifət və zərf funksiyasını əvəz etmiş olur.

Ə. Abdullayev qeyd edir ki, "belə" və "elə" sözləri tarixi baxımdan "bu" və "o(l)" işarə əvəzlikləri ilə bənzətmə-müqayisə məzmunu ifadə edən -lay şəkilçisinin birləşməsi nəticəsində formalaşmışdır. Sonrakı

mərhələlərdə isə bu leksik vahidlər müəyyən fonetik transformasiyalara məruz qalaraq müasir fonetik quruluşunu almışdır: *bulay* – "bunun kimi", *olay* – "onun kimi".

Müəllif irəli sürdüyü bu konsepsiyanı əsaslandırmaq məqsədilə geniş faktoloji baza təqdim edir. Belə ki, türk dillərində -lay şəkilçisinin müxtəlif fonetik və morfoloji variantlarının mövcudluğu qeyd olunur: -layın, -ley, -la, -lə, -le, -tayın, -təkin, -tay, -day, -tək, -dək və s. [5]. Bu variantların ayrı-ayrı türk dillərində paralel şəkildə işlənməsi onların semantik baxımdan eyniyyət təşkil etdiyini göstərir.

Bununla yanaşı, Ə. Abdullayev həmin vahidlərin zərf kimi qiymətləndirilməsini elmi baxımdan düzgün hesab etmir və vurğulayır ki, belə yanaşma onların qrammatik mahiyyətinin təhrifinə gətirib çıxarır [6].

Türk dilləri və onların dialektlərinə dair zəngin dil materiallarının sistemli şəkildə təqdim olunması və elmi-məntiqi təhlili -lay, -ley şəkilçiləri ilə bağlı Ə. Abdullayevin irəli sürdüyü mülahizələrin əsaslı olduğunu nümayiş etdirir. Müəllifin yanaşmasına görə, bu şəkilçi yalnız əvəzliklərlə məhdudlaşmır, eyni zamanda isim və sifətlərə də qoşularaq müasir Azərbaycan dilində "kimi" qoşmasının ifadə etdiyi bənzətmə-müqayisə mənasını formalaşdırır.

Ə. Abdullayevin etimologiya istiqamətində apardığı tədqiqatlar xüsusi elmi dəyərə malikdir. Xüsusilə -ay, -ley şəkilçilərinin "elə" və "belə" işarə əvəzliklərinin yaranmasındakı rolu nəzəri əsaslar çərçivəsində, eləcə də müxtəlif türk dillərindən gətirilmiş zəngin faktoloji materiallar əsasında izah olunur və təsdiqlənir.

Müəllifin gəldiyi nəticəyə əsasən, "o" və "bu" işarə əvəzlikləri -lay, -ley şəkilçiləri ilə birləşərək ilkin mərhələdə müvafiq formalar yaratmış, sonrakı fonetik inkişaf prosesində isə söz sonundakı "y" samitinin düşməsi nəticəsində müasir "elə" və "belə" işarə əvəzlikləri formalaşmışdır.

Alimin etimologiya sahəsində diqqət çəkən araşdırmalarından biri "Yessentuki" toponimi ilə bağlıdır. Müəllif bu adın həm çay, həm də şəhər adı kimi işlənməsi faktını əsas götürərək, onun mənşəyi barədə elmi ədəbiyyatda mövcud olan müxtəlif baxışları sistemli şəkildə təqdim edir. Bu kontekstdə K.F. Qan, D.D. Paqirev, Qaraçay alimi U.B. Əliyev, İ.M. Miziyev, S. Əliyarov və B.A. Nikonov kimi tədqiqatçıların mövqeləri nəzərdən keçirilir və onlara tənqidi münasibət bildirilir.

Ə. Abdullayev isə bu toponimin monqol dilinə aid iki leksik vahidin birləşməsi nəticəsində formalaşdığı qənaətinə gəlir: *"yesen"* – "doqquz" və *"tuğ"* – "bayraq". Müəllifin fikrincə, bu etimoloji izahın ehtimalı tarixən monqol mənşəli xalqların, xüsusilə kalmıkların Stavropol ərazisində məskunlaşması və həmin terminlərin məhz bu coğrafiyada işlək olması ilə dəstəklənə bilər.

Nəticə

Göründüyü kimi, Ə. Abdullayev bir toponimin mənşəyini müəyyənləşdirərkən yalnız linqvistik materialla kifayətlənmir, eyni zamanda tarixi, coğrafi və etnoqrafik mənbələrə də müraciət edir. Məhz bu kompleks yanaşma onun etimoloji tədqiqatlarının dəqiqliyini, məntiqi ardıcıllığını və elmi əsaslılığını şərtləndirir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Abdullayev, Ə.Z. Sovet hakimiyyəti illərində dilçiliyimizin inkişafı // – Bakı: ADU-nun Elmi əsərləri (Dil və ədəbiyyat seriyası), – 1967. №4-5, – s. 10-15.
2. Abdullayev, Ə.Z. Azərbaycan dili məsələləri / Ə.Z.Abdullayev. – Bakı: Bakı Universiteti, – 1992. – 329 s.
3. Muxtarova, S. Professor Ə.Abdullayevin yaradıcılığında etimologiya məsələsi // XV beynəlxalq elmi araşdırmalar konfransı, Elmi İş -Beynəlxalq elmi jurnal, İmpakt Faktor: 2.255, – Azərbaycan, Bakı: – 2023, №2– s. 33-36.
4. Ашнин, Ф.Д. Указательные местоимение и их производные в азербайджанском, турецком и туркменском языках / Ф.Д.Ашнин. – Москва: АКД, – 1958. – 27с.
5. Дмитриев, Н.К. Турецкий язык / Н.К.Дмитриев. – Москва: ИВЛ, – 1960. – 95 с.
6. Мусаев, К. Грамматика караимского языка / К.Мусаев. – Москва: Наука, – 1964. – 344 с.
7. Покровская, Л.А. Грамматика гагаузского языка / Л.А.Покровская. – Москва: Наука, – 1964. – 297 с.

MÜASİR AZƏRBAYCAN DİLİNİN FRAZEOLOJİ BİRLƏŞMƏLƏRİNDƏ KEYFİYYƏTİN İFADƏ ÜSULLARI

NƏRMİN MƏMMƏDLİ
Bakı Dövlət Universiteti
Azərbaycan dilçiliyi kafedrası, doktorant
Bakı, Azərbaycan
narminabdulhuseynli@bsu.edu.az

Xülasə
Təqdim olunan məqalədə frazeoloji birləşmələrdə keyfiyyət anlayışının ifadə olunması geniş şəkildə təhlil edilir. Qeyd olunur ki, dil yalnız ünsiyyət vasitəsi deyil, həm də insanın düşüncə və hisslərinin ifadəsidir və bu baxımdan keyfiyyət kateqoriyası xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Müəllif vurğulayır ki, keyfiyyət hər zaman birbaşa deyil, çox vaxt məcazi və obrazlı şəkildə, xüsusilə frazeoloji birləşmələr vasitəsilə ifadə olunur.
Frazeologiyanın mahiyyəti ilə bağlı həm dar, həm də geniş yanaşmalar nəzərdən keçirilir və daha sistemli olduğu üçün dar yanaşmaya üstünlük verilir. Frazeoloji birləşmələrin sabitlik, məcazilik və semantik bütövlük kimi əsas xüsusiyyətləri izah olunur. Bu vahidlərdə sözlərin ilkin mənalarının dəyişərək yeni, bütöv məna yaratdığı göstərilir.
Məqalədə keyfiyyətin frazeoloji ifadələrdə necə formalaşdığı müxtəlif nümunələrlə açıqlanır. Bildirilir ki, bu prosesdə məcazlaşma, müqayisə və emosional gücləndirmə mühüm rol oynayır. Frazeoloji birləşmələr keyfiyyəti daha təsirli və yadda qalan formada təqdim edir, nitqə obrazlılıq və emosional çalar qatır.
Eyni zamanda vurğulanır ki, bu ifadələr milli-mədəni xüsusiyyətləri əks etdirir və xalqın dünyagörüşü, həyat tərzi ilə sıx bağlıdır. Onların bədii ədəbiyyatda rolu xüsusi qeyd olunur: frazeoloji vahidlər obrazların xarakterini yığcam və təsirli şəkildə açmağa imkan verir.
Sonda qeyd edilir ki, frazeoloji sistem dinamikdir, yəni yeni ifadələr yaranır, bəziləri isə passivləşir. Bu da dilin cəmiyyətlə birlikdə inkişaf etdiyini göstərir. Ümumilikdə, frazeoloji birləşmələrdə keyfiyyətin ifadəsi dilin semantik və üslubi zənginliyini əks etdirən mühüm bir sahə kimi dəyərləndirilir.
Açar sözlər: frazeologiya, keyfiyyət kateqoriyası, frazeoloji birləşmələr, məcazlaşma, semantik transformasiya
Summary
The presented article analyzes in detail the expression of the category of quality in phraseological units. It is noted that language is not only a means of communication, but also a form of expressing human thoughts and emotions; therefore, the category of quality holds particular significance. The author emphasizes that quality is often expressed not directly, but figuratively and metaphorically, especially through phraseological units.
Different approaches to the nature of phraseology—narrow and broad, are compared, and preference is given to the narrow approach as it is considered more systematic. The main features of phraseological units, such as stability, figurativeness, and semantic integrity, are explained, and it is shown that in these units the original meanings of words change to form a new, unified meaning.
The article illustrates how quality is formed in phraseological expressions through various examples, highlighting the important roles of metaphorization, comparison, and emotional intensification. It is noted that phraseological units add imagery and emotional expressiveness to speech.
In addition, it is emphasized that these expressions reflect national and cultural characteristics and are closely connected with the worldview and way of life of a people. Their role in fiction is also underlined, particularly in presenting characters in a concise and expressive way.
Finally, the dynamic nature of the phraseological system is discussed: new expressions emerge while others become passive, which demonstrates that language develops alongside society. Overall, the expression of quality in phraseological units is evaluated as an important field reflecting the semantic and stylistic richness of language.
Keywords: phraseology, category of quality, phraseological units, metaphorization, semantic transformation

Dil yalnız ünsiyyət vasitəsi deyil, eyni zamanda insanın hiss və düşüncələrinin, dünyagörüşünün ifadəsidir. Bu baxımdan dil vahidlərinin hər biri müəyyən semantik yük daşıyır və bu yükün içərisində keyfiyyət anlayışı xüsusi yer tutur. İnsan ətraf aləmi dərk edərkən onu yalnız adlandırmaqla kifayətlənmir, eyni

zamanda qiymətləndirir, ona münasibət bildirir və müxtəlif xüsusiyyətlərini vurğulayır. Məhz bu nöqtədə keyfiyyət kateqoriyası meydana çıxır. Lakin keyfiyyət hər zaman birbaşa və açıq şəkildə ifadə olunmur. Çox vaxt bu anlayış daha təsirli və obrazlı şəkildə, dolayısı ilə təqdim edilir ki, burada frazeoloji birləşmələr xüsusi rol oynayır.

S. Cəfərov frazeologiyanın tədqiqat obyekti olan sabit söz birləşmələrini daha geniş çərçivədə təqdim edir. O, buraya idiomları, ibarələri, hikmətli sözləri, atalar sözlərini, zərbi-məsəlləri və tapmacaları daxil edir (3, səh. 89). Lakin bu dilçilikdə mübahisəli məsələdir. Frazeologiyanı dar mənada başa düşən dilçilər bu sahəyə yalnız sabit söz birləşmələri olan idiomları və ibarələri daxil edirlər. Bu yanaşmada əsas prinsip sabitlik, məcazilik və məna bütövlüyüdür.

Digər yanaşmaya görə isə, frazeologiyaya daha geniş çərçivədən baxan alimlər atalar sözləri, hikmətli sözlər, tapmacaları da dilin sabit və hazır şəkildə işlənən vahidləri olduğundan buraya aid edirlər.

Lakin, bizə görə, dar yanaşma daha sistemli və dəqiq hesab olunur, çünki o, frazeologiyanı yalnız leksik-semantik vahidlər çərçivəsində saxlayır. Geniş yanaşma isə materialı zənginləşdirsə də, bəzən frazeologiyanın sərhədlərini həddindən artıq genişləndirərək onu paremiologiya (atalar sözləri və məsəllər haqqında elm sahəsi) ilə qarışdırır. Buna görə də müasir dilçilikdə daha çox qəbul edilən mövqe frazeologiyanı dar mənada, yəni əsasən idiomatik və sabit söz birləşmələri çərçivəsində öyrənməkdir. Atalar sözləri və digər hikmətli ifadələr isə adətən ayrıca sahə kimi paremiologiya daxilində tədqiq olunur.

Frazeoloji birləşmələr dilin ən canlı və təsirli qatlarından biri hesab olunur. Onlar yalnız məna ötürmür, həm də milli düşüncə tərzini, tarixi təcrübəni və emosional münasibəti özündə birləşdirir. M.Adilov frazeologiya termininin üç mənada işləndiyini bildirmişdir. Bu termini dilçiliyin bir şöbəsi, hər hansı bir dilə aid frazeologizmlərin məcmusu, müəyyən bir ictimai qrupa, başqa-başqa söz sənətkarlarına və ya ədəbi-bədii cərəyana məxsus xüsusi sözişlətmə üsullarının məcmusu kimi dəyərləndirən alim frazeologiyanın predmetinin frazeoloji birləşmələrin kateqorial əlamətlərinin tədqiq olunması olduğunu bildirir (1, səh. 16).

Frazeoloji ifadələrdə sözlər adi leksik mənasını qismən və ya tam itirərək yeni, bütöv bir semantik məzmun yaradır. Nəticədə ortaya çıxan məna çox vaxt birbaşa ifadədən daha güclü və təsirli olur. Məhz buna görə də keyfiyyətin frazeoloji birləşmələr vasitəsilə ifadəsi həm dilçilik, həm də üslubiyyat baxımından xüsusi maraq doğurur. Bu haqda H.Həsənovun qeydi xüsusi diqqət çəkir. O qeyd edir ki, frazeoloji birləşmələrdə iştirak edən sözlər müstəqil leksik vahidlərə xas olan bəzi əlamətlərini qismən itirir, lakin tamamilə funksiyasızlaşmır. Onlar müəyyən dərəcədə nominativ funksiyasını qoruyaraq, bütöv bir semantik vahid kimi çıxış edirlər. Bu baxımdan frazeoloji birləşmələr həm sabitlik, həm də daxili struktur baxımından adi söz birləşmələrindən fərqlənir (5, səh. 357).

Zənnimizcə, frazeoloji vahidlərin formalaşmasında daxili formanın rolu da xüsusi qeyd olunmalıdır. Daxili forma komponentlər arasında mövcud olan semantik və struktur əlaqələr əsasında yaranır və bu əlaqə vahidin bütövlüyünü təmin edir. Bu baxımdan frazeologizmlərdə komponentlərin bir-biri ilə məna əlaqəsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Nümunə olaraq *ürəyi yanmaq* ifadəsi üzərində fikrimizi izah edək. Mərhəmət göstərmək mənasında biz bu ifadədən istifadə edirik, rahatlıqla tələffüz etməyimizin səbəbi isə sözlər arasındakı məna uyğunluğudur. Məsələn, *ürəyi yazmaq* deyə bilmirik, çünki tərəflər arasında semantik bağlılıq yoxdur.

Gündəlik nitqdə və bədii mətnlərdə tez-tez rast gəldiyimiz *qara gün, ağzı bir qarış açıq qalmaq, ürəyi daş olmaq, od püskürmək* kimi ifadələr ilk baxışda sadə söz birləşməsi kimi görünə bilər. Lakin bu ifadələrdə keyfiyyət birbaşa deyil, məcazi və obrazlı şəkildə təqdim olunur. Məs., *qara gün* ifadəsində *qara* rəng bildirən sifət olsa da, burada rəng anlayışı arxa plana keçir və onun yerini çətinlik, ağır həyat şəraiti kimi mənalar tutur. Lakin burada qara rəng təsadüfi seçilməyib, semantik funksionallığına görə, rəng olaraq mənfi mənanı bildirdiyinə görə işlədilmişdir. Bu isə göstərir ki, frazeoloji birləşmələrdə keyfiyyət semantik transformasiya nəticəsində formalaşır.

Bu cür ifadələrdə keyfiyyətin verilməsi çox vaxt məcazlaşma ilə bağlı olur. Məcazlaşma dilin ən güclü ifadə vasitələrindən biridir və o, konkret anlayışları daha abstrakt və ümumiləşdirilmiş şəkildə təqdim etməyə imkan verir. Nümunə olaraq, *ürəyi daş olmaq* ifadəsində daşın sərtliyi və hissizliyi insanın xarakterinə köçürülür, yəni burada fiziki xüsusiyyət psixoloji keyfiyyətə çevrilir. Eyni halı *yüngül xasiyyət* birləşməsində də müşahidə edə bilərik. *Yüngül* sözü normal halda fiziki çəkini ifadə etsə də (2, səh. 633), bu kontekstdə məsuliyyətsizlik, qeyri-ciddilik kimi mənalar qazanır (4, səh. 479). Bu cür semantik keçidlər frazeoloji birləşmələrin əsas xüsusiyyətlərindən biridir.

Frazeoloji ifadələrdə keyfiyyətin maraqlı cəhətlərindən biri də onun çox vaxt gücləndirilmiş formada təqdim olunmasıdır. Adi danışıq dilində *əsəbi adam* demək mümkündür, lakin *od püskürür* ifadəsi eyni

keyfiyyəti daha emosional və təsirli şəkildə çatdırır. Bu zaman dinləyici və ya oxucu yalnız məlumat almır, eyni zamanda həmin vəziyyəti, sanki, hiss edir. Eyni xüsusiyyət *canına vəlvələ düşmək* və ya *ürəyi ağzına gəlmək* kimi birləşmələrdə də müşahidə olunur. Bu ifadələr əvəzinə *qorxmaq* desək, səthi səslənəcək, ancaq frazeoloji vahidlər vəziyyətin daha ciddi olduğunu bildirir. Başqa sözlə desək, belə ifadələrdə keyfiyyət sadəcə bildirilmir, o, emosional şəkildə yaşadılır.

Bundan əlavə, frazeoloji birləşmələrdə keyfiyyət çox vaxt müqayisə və bənzətmə yolu ilə də ifadə olunur. *Aslan kimi cəsur, su kimi aydın, daş kimi sərt* tipli ifadələrdə keyfiyyət konkret obraz üzərindən, obyekt üzərindən təqdim edilir. Bu isə anlayışın daha aydın və yadda qalan olmasına səbəb olur. Fikrimizcə, insan abstrakt anlayışları konkret obrazlarla əlaqələndirdikdə onları daha asan qavrayır, yadda saxlayır. Frazeoloji birləşmələr də məhz bu psixoloji mexanizmdən istifadə edir.

Diqqət çəkən məqamlardan biri də odur ki, frazeoloji birləşmələrdə ifadə olunan keyfiyyətlər çox vaxt milli-mədəni xüsusiyyətlərlə bağlı olur. Hər bir xalqın dilində onun həyat tərzini, düşüncə sistemini və dəyərlərini əks etdirən ifadələr mövcuddur. Fikrimizi əsaslandırmaq üçün nümunələrə diqqət yetirək. Məs., *qapazaltı adam* ifadəsi yalnız dil faktı deyil, eyni zamanda sosial münasibətlərin və xarakter tipinin göstəricisidir. Bu baxımdan frazeoloji birləşmələrdə keyfiyyətin ifadəsi yalnız dilçilik deyil, həm də mədəni irs məsələsidir.

Bu tip nümunələrə *qızıl ürəkli insan* birləşməsini də aid etmək olar. Burada *qızıl* sözü maddi dəyər bildirən leksik vahid olsa da, frazeoloji kontekstdə yüksək mənəvi keyfiyyəti, xeyirxahlıq və mərhəməti ifadə edir. Bu halda fiziki xüsusiyyət insanın daxili keyfiyyətlərinin ifadəsinə xidmət edir.

Dil boğaza qoymamaq ifadəsi də maraqlı nümunələrdəndir. Bu ifadə bir şəxsin çox danışqan, bəzən isə başqalarına söz verməyən xarakterini göstərir. Burada keyfiyyət birbaşa deyil, davranış modeli üzərindən təqdim olunur (6, səh. 89).

Üz ağartmaq frazeoloji birləşməsi cəmiyyət daxilində etibar qazanmaq, şərəfli və ləyaqətli olmaq kimi keyfiyyətləri ifadə edir (6, səh. 264). Bu ifadə milli düşüncədə *üz* anlayışının şərəf və nüfuzla əlaqələndirilməsi ilə bağlıdır. Bunun əksinə olaraq, *üz qaralığı etmək* ifadəsi mənfi qiymətləndirmə daşıyır və utanc, rüsvayçılıq kimi anlayışlarla bağlıdır (6, səh. 264).

Bundan başqa, *çörəyi dizinin üstündə olmaq* ifadəsi də insanın məsuliyyətsiz və qyeri-sabit xarakterini bildirir (6, səh. 78). Bu cür ifadələr xalqın məişət təcrübəsi ilə sıx bağlıdır və onların semantik yükü gündəlik həyatın reallıqlarından qaynaqlanır.

Zənnimizcə, bu nümunələr göstərir ki, frazeoloji birləşmələrdə keyfiyyətin ifadəsi yalnız dilin daxili qanunauyğunluqları ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda xalqın tarixi, məişəti və dünyagörüşü ilə sıx şəkildə əlaqəlidir.

Keyfiyyət bildirən frazeoloji birləşmələrin funksional baxımdan rolu da olduqca genişdir. Bu ifadələr nitqi daha canlı və təsirli edir, onu sadə informativ səviyyədən çıxarıb emosional və bədii səviyyəyə yüksəldir. Xüsusilə bədii ədəbiyyatda bu cür ifadələr obrazların xarakterini açmaq üçün mühüm vasitə rolunu oynayır. Yazıçı bir personaj haqqında uzun izah vermək əvəzinə, bir frazeoloji ifadə ilə onun xarakterini tam şəkildə təqdim edə bilir. Məs., İsgəndər obrazı (Ölülər əsəri) cəmiyyətə qarşı çıxan, açıq danışan və tənqidi mövqeyi ilə seçilən bir tip kimi təqdim olunur. Onun nitqində və müəllif təsvirində istifadə olunan dilini saxlamayan, gözünün içinə demək kimi ifadələr bu obrazın cəsarətli, sərt və barışmaz xarakterini konkret şəkildə ortaya qoyur.

Arşın mal alan əsərindəki Məşədi İbad obrazı isə daha çox xəsislik və köhnə düşüncə tərzi ilə yadda qalır. Onun xarakterini açmaq üçün işlədilən əli bərk, gözü puldan doymayan kimi frazeoloji ifadələr həmin keyfiyyətləri uzun izaha ehtiyac qalmadan aydın şəkildə ifadə etməyə xidmət edir.

Başqa bir tərəfdən, frazeoloji birləşmələr sərbəst söz birləşmələri ilə müqayisədə daha yığcam və təsirli olur. Dəyərsiz bir şey haqqında *istifadə olunmayan, lazım olmayan* demək əvəzinə *çöpə dəyməz* ifadəsi eyni məzmunu daha obrazlı şəkildə çatdırır. Bu isə dilin qənaət prinsipinə də uyğundur, yəni az sözlə çox məna ifadə etmək mümkündür.

Müasir dövrdə dilin inkişafı ilə əlaqədar olaraq frazeoloji sistemdə də müəyyən dəyişikliklər baş verir. Yeni sosial və mədəni şərait yeni ifadələrin yaranmasına səbəb olur. Xüsusilə media və gündəlik danışıq dili bu prosesdə aktiv rol oynayır. Bununla yanaşı, bəzi köhnə ifadələr passivləşir və ya yeni məna çalarları qazanır. Bu isə sübut edir ki, frazeoloji birləşmələr sabit olsa da, tam dəyişməz deyil və dilin ümumi inkişaf qanunlarına tabedir. Məsələn, ənənəvi olaraq işlənən *başına iş açmaq, başını itirmək* kimi ifadələr bu gün də aktivdir, lakin müasir danışıqda onların yanında yeni, daha aktual məzmun daşıyan ifadələr meydana çıxmışdır. Sosial şəbəkələrin təsiri ilə *trendə düşmək, like yığmaq, viral olmaq* kimi ifadələr yaranmış və

qısa müddətdə geniş yayılmışdır. Bu ifadələr zaman keçdikcə sabitləşərək müəyyən frazeoloji xüsusiyyətlər qazanmağa başlamışdır.

Bəzi köhnə frazeoloji birləşmələr isə aktiv istifadədən çıxaraq passivləşmişdir. Xüsusilə qədim həyat tərzi ilə bağlı olan ifadələr müasir dönəmdə əvvəlki qədər işlənmir. Belə birləşmələr daha çox bədii mətnlərdə və ya yaşlı nəslin nitqində qorunub saxlanılmışdır. *Dəyirman xoruzu* (yeyib içməkdən kökəlmiş, sifəti qızarmış (6, səh. 87)), *dəyirmanda üyünmək* (kütləyə qoşulmaq, sıradan biri olmaq, heç nə ilə fərqlənməmək (6, səh. 88)), *xışı kötüyə ilişmək* (işləri düz gətirməmək, maneə ilə üzləşmək (6, səh. 153)), *xırman döymək* (taxılın dənələrini xüsusi alətlərlə sünbüldən ayırmaq (6, səh. 153)) bu tipli frazeoloji birləşmələrdəndir.

Zənnimizcə, bu cür nümunələr göstərir ki, frazeoloji birləşmələrin işlənmə tezliyi cəmiyyətin həyat tərzi ilə birbaşa bağlıdır. Həyat şəraiti dəyişdikcə bəzi ifadələr aktuallığını itirir və passiv leksik fonda keçir, lakin tam yox olmur, dilin yaddaşında qorunub saxlanır.

Bütün bu deyilənlər sübut edir ki, frazeoloji birləşmələrdə keyfiyyətin ifadəsi çoxşaxəli və mürəkkəb bir prosesdir. Bu prosesdə məcazlaşma, emosional təsir, müqayisə və milli-mədəni faktorlar qarşılıqlı şəkildə iştirak edir. Nəticədə ortaya çıxan ifadələr dilin həm semantik, həm də üslubi zənginliyini nümayiş etdirir. Qeyd etdiyimiz faktlar onu deməyə əsas verir ki, frazeoloji birləşmələr keyfiyyət kateqoriyasının ifadəsində xüsusi yer tutur və bu ifadələr yalnız informativ deyil, həm də estetik və emosional dəyərə malikdir. Onların öyrənilməsi dilin dərin qatlarını anlamağa imkan verir və eyni zamanda nitqin daha təsirli qurulmasına xidmət edir.

İstifadə olunmuş ədəbiyyat

1. Adilov M., Yusifov G. Sabit söz birləşmələri. Bakı, Elm, 2019, 160 s.
2. Azərbaycan dilinin izahlı lüğəti. IV cild. Bakı, Şərq-Qərb, 2006, 712 s.
3. Cəfərov S. Müasir Azərbaycan dili. Leksika. Bakı, Şərq-Qərb, 2007, 191 s.
4. Həmidov İ., Qocayev M., Məmmədova R., Həmidova L. Azərbaycan dilinin frazeologiya lüğəti. Bakı, Teas press, 2020, 502 s.
5. Həsənov H. Müasir Azərbaycan dilinin leksikası. Bakı, Nurlan, 2005, 452 s.
6. Məhərrəmli Q., İsmayılov R. Azərbaycan dilinin frazeologiya lüğəti. Bakı, Altun kitab, 2018, 287 s.

"ŞƏRHU RADİ ALƏL-KAFİYƏ" ƏSƏRİNDƏ MÜSTƏSNA KONSTRUKSİYALARININ SİNTAKTİK TƏHLİLİ

KÜBRA VƏLİYEVA
AMEA Naxçıvan Bölməsi Əlyazmalar Fondu
kubra.valiyeva@yahoo.com
NAXÇIVAN, AZƏRBAYCAN

Xülasə: Məşhur nəhv alimi İbn əl-Hacibə (1175-1248) böyük nüfuz qazandıran əsərləri içərisində "əl-Kafiyə" əsəri ərəb dili qrammatikasının öyrənilməsində mühüm yer tutmuşdur. Bu əsərə, müəllifin özü də daxil olmaqla, yüzdən artıq şərh yazılmış, onların arasında Molla Caminin (?-1492) "əl-Fəvaidud-Diyaiyyə" və Radiyyuddin əl-Astarabadinin (?-1287) "Şərhu Radi alal-Kafiyə" əsərləri xüsusi elmi əhəmiyyəti və geniş yayılması ilə seçilmişdir.

Radiyyuddin əl-Astarabadi ərəb dilçiliyinin formalaşması və inkişafında mühüm rol oynamış alimlərdən biridir. Onun "Şərhu Radi alal-Kafiyə" əsərinin əlyazma və çap nüsxələri Azərbaycan, Türkiyə, İran, Misir və digər ölkələrin kitabxana, institut, arxiv və fondlarında qorunub saxlanılır. Əsər uzun müddət mədrəsələrdə dərslik kimi istifadə olunub. Əsərdə ərəb dilinə məxsus sintaktik kateqoriyaların semantik ifadə formaları: mərfuat, mənsubat və məcrurat (adlıq, təsirlik və yiyəlik halda olan ad qruplu sözlər) və s. qrammatik qaydalar sistemli və ətraflı şəkildə şərh olunmuşdur.

Məruzədə "Şərhu Radi alal-Kafiyə" əsərində "müstəsna" mövzusu İbn əl-Hacib və Radiyyuddin əl-Astarabadinin mülahizələri əsasında müqayisəli şəkildə şərh olunmuşdur.

Müəllifin gəldiyi nəticəyə görə, "Şərhu Radi alәl-Kafiyə" əsəri ərəb dili sintaksisinin, xüsusilə "müstəsna" konstruksiyalarının izahında mühüm elmi əhəmiyyət daşıyır və klassik nəhv ənənəsinin sistemli və müqayisəli şəkildə öyrənilməsi üçün dəyərli mənbə kimi müəyyən əhəmiyyətə malikdir.
Açar sözlər: *Ərəb dili, nəhv, müstəsna, İbn əl-Hacib, Radiyyuddin əl-Astarabadi.*

SYNTACTIC ANALYSIS OF EXCEPTIONAL CONSTRUCTIONS IN THE WORK "SHARHU RADI ALAL-KAFIYAH"

KUBRA VALIYEVA

Abstract: Among the works that brought great prestige to the famous grammarian Ibn al-Hajib (1175–1248), the book "al-Kafiyah" occupies an important place in the study of Arabic grammar. More than one hundred commentaries were written on this work, among which Molla Jami's (?-1492) "al-Fawaid al-Diyaiyyah" and Radiyyuddin al-Astarabadi's (?-1287) "Sharhu Radi alal-Kafiyah" stand out for their special scholarly significance and wide circulation.

Radiyyuddin al-Astarabadi is one of the scholars who played an important role in the formation and development of Arabic linguistics. Manuscript and printed copies of his work "Sharhu Radi alal-Kafiyah" are preserved in libraries, institutes, archives, and collections of Azerbaijan, Turkey, Iran, Egypt, and other countries. The work was used for a long time as a textbook in madrasas. In this work, syntactic categories specific to the Arabic language and their semantic forms – such as nominative (marfuat), accusative (mansubat), and genitive (majrurat) cases, and other grammatical rules – are explained in a systematic and detailed manner.

In this paper, the topic of "exception (mustathna)" in "Sharhu Radi alal-Kafiyah" is analyzed comparatively based on the views of Ibn al-Hajib and Radiyyuddin al-Astarabadi.

According to the author's conclusion, the work "Sharhu Radi alal-Kafiyah" holds significant scholarly importance in explaining Arabic syntax, especially the constructions of "exception" (mustathna)", and is considered a valuable source for the systematic and comparative study of the classical tradition of Arabic grammar.
Key words: *Arabic language, nahw, exception, Ibn al-Hajib, Radiyyuddin al-Astarabadi.*

I. GİRİŞ

Radiyyuddin əl-Astarabadinin "Şərhu Radi alәl-Kafiyə fi ilmin-nəhv val- irab" ("Razinin "kafiyə"yə sintaktik baxımdan şərhi") əsəri AMEA Naxçıvan Bölməsi Əlyazmalar Fondunda qorunan qiymətli əsərlərdən biridir. Ərəb dili qrammatikasının sintaksis bölməsini əhatə edən əsər hicri-qəməri 1268-ci (1851-ci) ildə yazılmışdır. Nəsx xətti ilə işlənmiş kitab iki cilddən ibarətdir və ümumi həcmi 209 vərəqdir (I cild – 94, II cild – 115 vərəq). Əsər ərəb dilində yazılmışdır və müəllif burada nəhv elmini sadə və anlaşıqlı dillə izah etmişdir. "Əs-Suyuti bu kitab haqqında demişdir ki, heç bir şərh "Kafiyə" əsəri qədər ərəb dilinin qrammatikasını əhatəli və gözəl bəyan etməmişdir" [4].

"Şərhu Radi alə əl-Kafiyə" əsərinin I hissəsində kəlmə və cümlələrin irab vəziyyətlərinə görə mərfuat (adlıq halda işlənən cümlə üzvləri), mənsubat (təsirlik halda işlənən cümlə üzvləri), məcrurat (yiyəlik halda işlənən cümlə üzvləri) bölmələri təqdim olunur.

Mərfuat bölməsində fail, tənazu, naibul-fail (faili söylənilməyənin məfulu), mübtəda, xəbər, "innə" və bacılarının xəbəri, cinsini inkar edən "lə"nin xəbəri, leysəyə bənzəyən "mə" və "lə"nin ismi və digər sintaktik vahidlər təhlil edilir.

Mənsubat bölməsində məfulun mutlaq, həzful-feil, məfulun bihi, tərxim, munədə, nida, həzf hərfi nida, ixtisas, iştiğal, təhzir, məfulun fih, məfulun məahu, hal, təmyiz, musənnə, xəbəru "kənə" və əxavətihə, ismu "innə" və əxavatihə, lə əlləti linəfyil-cins, xəbəru mə va lə muşəbbəhəteyni bi leysə və digər qrammatik kateqoriyalar geniş şəkildə şərh olunur.

Məcrurat bölməsində isə mudafun ileyh, izafət, əsməus-sittə, təvabi, nət, təkid və onun növləri, bədəl, ətf və ətful-bəyan kimi qrammatik mövzular yer alır.

II. ƏRƏB DİLÇİLİYİNDƏ MƏNSUBAT ANLAYIŞI

"Sözlər sonlarının dəyişməsinə, fleksiya əlamətləri qəbul etməsinə görə 4 qrupa bölünür: 1) mərfuat (adlıq halda olanlar); 2) mənsubat (təsirlik halda olanlar, idarə edilənlər); 3) məcrurat (yiyəlik halda olanlar); 4) məczum (qısa şəkildə olan - muzare) " [3].

V.Məmmədəliyev mənsubatın 8 söz qrupuna bölündüyünü qeyd edir: "məful (məfulun, məfulun bihi, məfulun məahu, məfulun fihi), hal, təmyiz, istisna, "innə" tipli sözlərin isimləri, "leysə" mənasında işlədilən "ma" və "la", "latə" və "in"in xəbəri, "lən", "ən" tipli sözlərdən sonra arzu şəklində işlədilən muzare"" [3].

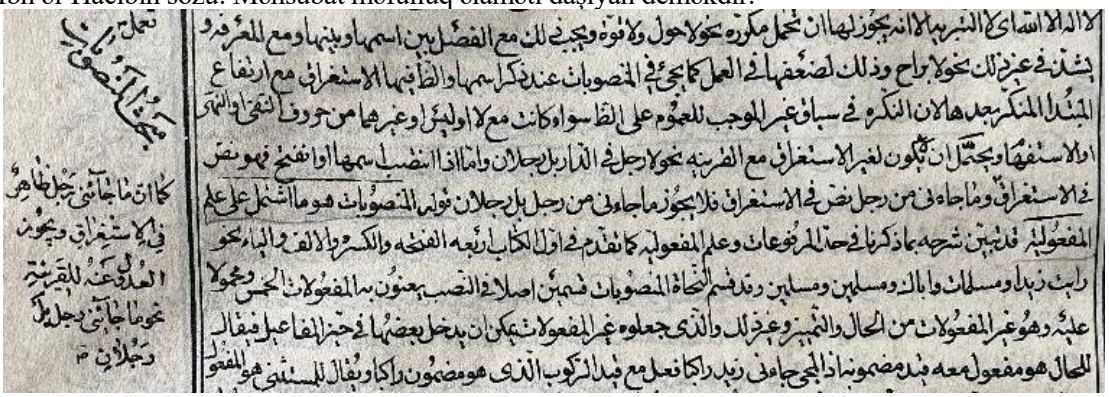
Məhəmməd Mühyiddin Əbdülhəmid isə mənsubatı daha geniş şəkildə – 15 başlıq altında təsnif edir:
المنصوبات خمسة عشر، هي: 1– المفعول به، و2– المصدرُ، و3 – ظرف الزمان و ظرف المكان، و4– الحال، و5 – التمييز، و6– المستثنى، و7– اسم "لا"، و8– المنادَى، و9– المفعول من أجله، و10– المفعول معه، و11–خبر ("كان" وأخواتها)، و إسم ("إنَّ" و أخواتها)، والتابع للمنصوب، و هي أربعة أشياء: 12–النَّعْتُ، و13– العَطفُ، و14– التوكيدُ، و15– البَدَلُ.
"Mənsubatın sayı on beşdir və onlar aşağıdakılardan ibarətdir: 1–vasitəsiz tamamlıq; 2–məsdər; 3–yer və zaman zərfi; 4–tərzi-hərəkət və hal-vəziyyət zərfliyi; 5–təmyiz; 6–istisna; 7–"la" ədatının ismi; 8–xitab; 9–kauzativ tamamlıq; 10–birgəlik tamamlığı; 11– ("kənə" və bənzərlərinin) xəbəri, ("innə" və bənzərlərinin) ismi; dörd predmeti əhatə edən təsirlik hal əlavələri; 12–atributiv əlavə; 13–birləşdirici əlavə; 14–təkid; 15–əvəzedici əlavə" [1].

Radiyyuddin əl-Astarabadi "Şərhul-Kafiyə" əsərində nəhv məsələlərini izah edərkən əvvəlcə İbn əl-Hacibin fikirlərini təqdim edir, daha sonra isə onları şərh edərək öz elmi yanaşmasını əlavə edir.

Əsərdə yeni qrammatik mövzuların izahına keçməzdən əvvəl səhifənin əvvəlində və ya kənar hissəsində onların adı qeyd olunmuşdur. "Mövzuları izah edərkən istifadə etdiyi أَرَى الَّذِي (mənim fikrimcə), فَنَقُول (biz deyirik), قَوْلُنَا (bizim görüşümüz) kimi ifadələr müəllifin şəxsi mövqeyini aydın şəkildə göstərir" [5]. Radiyyuddin əl-Astarabadi mövzuları izah edərkən Quran ayələrinə, hədislərə, klassik ərəb poeziyasına və müxtəlif qəbilə ləhcələrinə müraciət etmişdir. "Əsərdə iyirmi dörd ayə, on üç şeir nümunəsi və səkkiz atalar sözündən istifadə olunmuşdur" [5].

III. "ŞƏRHU RADİ ALƏL-KAFİYƏ" ƏSƏRİNDƏ TƏSİRLİK HALDA İŞLƏNƏN CÜMLƏ ÜZVLƏRİ (MƏNSUBAT) VƏ ONLARIN SİNTAKTİK TƏHLİLİ

Mənsubatın ümumi mənası:
قوله: المنصوبات هو ما اشتمل على عَلَمَ المَفعُولية.
İbn əl-Hacibin sözü: Mənsubat məfulluq əlaməti daşıyan deməkdir.



Şəkil 1. "Şərhu Radi aləl-Kafiyə" əsərində "Mənsubat" mövzusu.

Əl-Astarabadi [şəkil 1]: Mənsubatın əlamətləri fəthə (الفتحة), kəsrə (الكسرة), əlif (الألف) və yə'dir (الياء). Məsələn, رأيت زيداً – Zeydi gördüm, مسلماتٍ – müsəlman qadınları,و مسلمَين أباك – sənin atanı və iki müsəlmanı, مسلِمين- müsəlmanı sözləri kimi.

Əl-Astarabadi İbn əl-Hacibin rəf (adlıq hal), nəsb (təsirlik hal), cərr (yiyəlik hal) əlaməti haqqında fikrinə münasibət bildirərək qeyd edir: Bilin ki, isim kəlamın dirəyidir.

Rəf halın (adlıq hal) əlaməti üç şeydir: damma (الضم), əlif (الألف) və vav (الواو). Məsələn, جاء مُسْلِمٌ، مسلِمَان، مسلمُون، أبُوك sözlərindəki kimi.

Nəsb halın (təsirlik hal) əlaməti dörd şeydir: fəthə (الفتح), kəsrə (الكسر), əlif (الألف), yə (الياء). Məsələn, إنَّ مسلماً، إنَّ مسلمات، إنَّ أباك، إنَّ مسلمَين، إنَّ مسلمينَsözlərindəki kimi.

Cərr halın (yiyəlik hal) əlaməti üç şeydir: kəsrə (الكسر), fəthə (الفتح), yə (الياء). Məsələn, بزيد، بِأحمد، بِمسلميَنِ، بِمسلِمينَ، بِأبِيك sözlərindəki kimi.

Nəhvçilər mənsubatı əsasən iki hissəyə ayırırlar: 1) Nəsbdə (təsirlik halda) əsli olanlar (məful növləri). 2) Nəsbə bağlı digər vahidlər. Ona beş məful kömək edir. Buna hal (الحال), təmyiz (التمييز) və s. göstərmək olar. Necə ki, bunlar sözü qeyri məful edir və onların bəzisinin məfulun yerinə daxil olması mümkündür. Və hal (الحال) üçün deyilir: o məhdudiyyətli bir məfuldur. جاءني زيد راكبًا – Zeyd minərək mənə gəldi. Burada راكبًا – "minərək" sözü ركوب–"minmə" sözünün tərkibini təşkil edir.

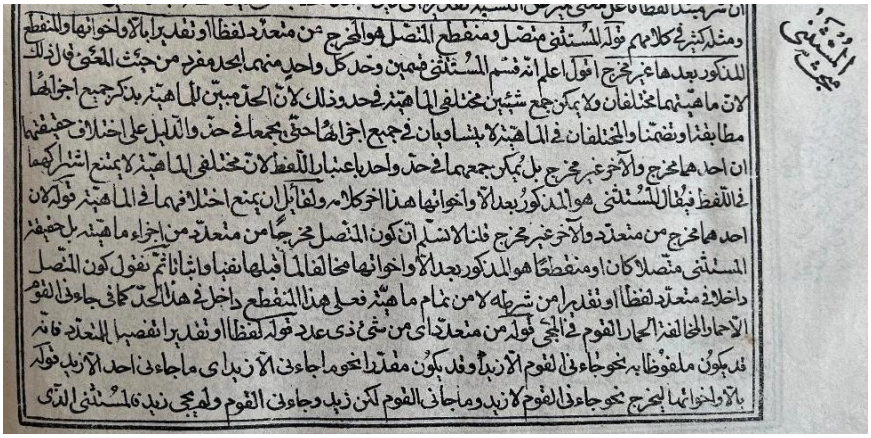
İbn əl-Hacib müstəsna üçün deyir: onun adlanmasında azaltma üstünlük təşkil edir, deyilməsi şərtlə məful olur. Məful başqa bir şeyə məhdudiyyət qoymursa o məfulun mutlaqdır (المفعول المطلق). Necə ki, məfulun məahu (المفعول معه) və məfulun ləhu (المفعول له) gəlir, bunlar iki məfulun meydana gəlməsi üçün nəsbdə

(təsirlik h.) əslən olur. Deyilməlidir ki, nəsb halın əlaməti beş məful, hal, təmyiz, mustəsnə, ismu "إنَّ" və ismu "لا", xəbəru "ما" və xəbəru كان و أخواتها-dir.

"Məfullar (المفاعيل) beşdir: məfulun bihi (المفعول به), məfulun mutlaqun (المفعول المطلق), məfulun ləhu (المفعول له), məfulun fihi (المفعول فيه) və məfulun məahu (المفعول معه)" [6].

"Şərhul-Kafiyə" əsərinin I cildinin mənsubat bölməsi daxilində təhlil edilən qrammatik mövzulardan biri də "müstəsna"dır.

IV. "ŞƏRHU RADİ ALƏL-KAFİYƏ" ƏSƏRİNDƏ MÜSTƏSNA MÖVZUSUNUN İZAHI (مبحث المستثنى)



Şəkil 2. "Şərhu Radi alə əl-Kafiyə" əsərində "Müstəsna" mövzusu.

قوله: المستثنى مُتَّصِلٌ ومُنقَطِعٌ، فالمُتّصل المُخرَجُ عَنْ مُتَعَدِّدٍ لَفْظًا أو تَقْدِيرًا، بإلاَّ وأخواتها، والمنقطعُ المذكورُ بَعْدَهَا غيرمُخْرَج. و هو منصوبٌ. إذا كان بَعْدَ "إلاَّ" غيرالصفةِ في كَلامٍ مُوجَبٍ، أو مُقَدَّمًا على المستثنى مِنْهُ، أو مُنْقَطِعًا فِي الأكثر. أو كان بَعْدَ "خَلا" و"عَدَا" في الأكثر، و"ماخَلاَ" و "ماعَدَا" و"لَيْسَ" وَ"لايَكُونُ".

İbn əl-Hacibin sözü: "Müstəsna, muttasil (bitişik) və munqati (kəsik) olmaqla iki qismdən ibarətdir.

1.Muttasil (bitişik) müstəsna, "إلاَّ" və bacıları ilə tələffüz edilən və ya varsayılan müəyyən varlıqlardan istisna olunan isimə deyilir.

2. Munqati (kəsik) müstəsna, "إلاَّ" və bacılarından sonra müəyyən varlıqlardan istisna olunmadığı halda gələn isimə deyilir" [2; şəkil 2].

Müstəsna adətən mənsub olur və bu hal müxtəlif sintaktik şəraitlərdə baş verir:

1) Qadağa bildirməyən cümlədə sifət olmayan "إلاَّ"-dən sonra gəldiyi zaman.

2) Müstəsna minhdən əvvəl gədiyi zaman.

3) Müstəsna munqati (kəsik) olduğu zaman (əksəriyyəti ləhcələrdə).

4) "خَلا" və "عَدَا"-dən sonra gəldiyi zaman (əksəriyyəti ləhcələrdə).

5) "مَاخَلاَ", "مَاعَدَا", "لَيْسَ" və "لايَكُونُ"-dan sonra gəldiyi zaman.

"حَضَرَ الأَصدقاءُ إلاَّ عَلِيًّا" – Əlidən başqa bütün dostlar gəldi, "طَارَ الحَمَامُ إلاَّ وَاحِدَةٌ – biri xaric göyərçinlərin hamısı uçdu, "قَرَأْتُ الكِتَبَ سِوَى كِتَابٍ" – bir kitab xaric bütün kitabları oxudum və s. cümlələrdə də göründüyü kimi إلاَّ və bacılarından sonra gələn isim, əvvəlki hissənin hökümündən kənarda qalmışdır. إلاَّ, غير, سِوَى, خَلاَ, عَدَا, حَاشَا və s. istisna ədatlarıdır. İstisna ədatından sonra gələn ismə müstəsna (المستثنى) deyilir. İstisna ədatından əvvəl gələn isimə isə müstəsna minhu (المُسْتَثْنَى مِنْهُ) deyilir.

İstisnanın əmələ gəlməsi üçün üç ünsür tələb olunur:

– Müstəsna minh

–İstisna ədatı

–Müstəsna.

Əl-Astarabadi müstəsnanın irabında ibdal məsələsinə toxunaraq bu halın üstünlük qazanması üçün müəyyən şərtlər irəli sürür:

1. إلاَّ-dən sonra olması,

2. Müstəsnanın muttasil olması,

3. Müstəsnanın istifhəm, nəhi, sarih nəfy və müəvvəl nəfyi ehtiva edən və özü ilə istisnalıq mənası daşıyan əvvəlki sözün, rəddedilməyən bir neqativlik mənası daşıyan müstəsna minhdən sonra gəlməsi,

4. Müstəsnanın zaman baxımından müstəsna minhudan sonra olmaması.

Əl-Astarabadi bu şərtlərin gizlilik daşıyan yerlərini dəyərləndirmişdir. O, "istifhəm, nəhi, sarih nəfyi ehtiva edən" sözü ilə özündən bədəl düzəldilə bilən bir isimə çevrilən əvəzliyi bu tərifin içərisinə daxil etmişdir. Məsələn, مَا أَحَدٌ ضَرَبْتُهُ إِلاَّ زَيْدًا – "Zeyddən başqa kimsəni vurmadım" cümləsində görüldüyü kimi زيدا sözü ضَرَبْتُهُ feilindəki əvəzlikdən bədəl edilə bilər. Əl-Astarabadinin "müəvvəl (özünə qayıdılan) nəfiyi ehtiva edən" sözü də قَلَّمَا رَجُلٍ يَقُولُ ذَلِكَ إِلاَّ زَيْدٌ – "Zeyddən başqa nə az kişi bunu deyər" kimi nümunələri ehtiva edər ki, burda da قَلَّمَا رَجُلٍ ifadəsi nəfyə təfsir olunur.

O, həmçinin bəzi istisna hallarının bu şərtlərdən kənra çıxdığını konkret nümunələrlə izah edir. Onun "özü ilə istisnalıq mənası daşıyan əvvəlki söz rəddedilməyən bir inkarlıq mənası daşıyan müstəsna minhdən sonra gəlməsi" ifadəsi isə مَا اَقَامَ القَوْمُ إِلاَّ زَيْدًا – "Zeyd xaric millət qalxdı" deyən kimsəyə verilən bu زَيْدًا – "Zeyd xaric millət qalxmadı" cavab cümləsi kimi misal nümunələri bu tərifdən kənara çıxmaqdadır. Çünki burada ibdala deyil, nəsbə üstünlük verilir. Bunun səbəbi isə cavabdakı müstəsnanın irabı ilə ilk cümlədəki müstəsnanın irabını bir-birinə uyğunlaşdırmaqdır.

Əl-Astarabadi dördüncü bənddə yer alan "müstəsnanın zaman baxımından müstəsna minhudan sonra olmaması" ifadəsi ilə مَا جَاءَنِي أَحَدٌ حِينَ كُنْتُ جَالِسًا هَهُنَا إِلاَّ زَيْدًا – "Burada oturduğum sırada Zeyd xaric kimsə yanıma gəlmədi" kimi cümlələr bu tərifdən kənarda saxlanılmışdır. Çünki, misalda müstəsna, müstəsna minhdən zaman baxımından sonraya qalmışdır.

"Əl-Kisai müstəsnanın إلا-dən sonra gələn və xəbəri məhzuf (silinmiş) olan أَنَّ ilə mənsub olduğunu iddia etmişdir. Buna görə قَامَ القَوْمُ إِلا زَيْدًا –"Zeyd xaric millət ayağa qalxdı" cümləsini" قَامَ القَوْمُ إلا أَنَّ زَيْدًا لَمْ يَقُمْ – "Millət ayağa qalxdı, ancaq Zeyd qalxmadı" şəklində izah etməkdədir" [5]. Əl-Astarabadiyə görə isə bu yanaşma forması problemi həll etmir. Çünki, أَنَّ ədatı, ismi və xəbəri ilə birlikdə təkdədir. Buna görə də müstəsnanın nə ilə mənsub olduğu problem hələ də davam etməkdədir.

V. TƏDQİQAT METODU

Tədqiqatda linqvistik təhlil və müqayisəli metodlardan istifadə olunaraq "Şərhu Radi aləl-Kafiyə" əsərində mənsubat və müstəsna konstruksiyalarının struktur xüsusiyyətləri, semantik çalarları və sintaktik funksiyaları müəyyən edilmiş, Radiyyuddin əl-Atarabadinin bu sahəyə gətirdiyi elmi yanaşmalar müəyyənləşdirilmişdir.

VI. NƏTİCƏ

Radiyyuddin əl-Astarabadi ərəb dilçiliyində İbn əl-Hacibin "əl-Kafiyə" kitabına şərh yazan məşhur qrammatik alimdir. Onun "Şərhu Radi aləl-Kafiyə" əsəri ərəb dili sintaksisinin izahında mühüm elmi əhəmiyyətə malikdir. Müəllif İbn əl-Hacibin nəzəri müddəalarını əsas götürərək onları sistemli şəkildə şərh etmiş, eyni zamanda öz elmi yanaşmasını əlavə etməklə nəhv elminin inkişafına töhfə vermişdir.

Əsərdə digər qrammatik mövzularla yanaşı, mənsubatın müxtəlif növləri geniş və müqayisəli şəkildə təhlil edilmiş, onların sintaktik funksiyaları konkret dil materialları əsasında elmi cəhətdən əsaslandırılmışdır. Xüsusilə müstəsna mövzusunun izahında verilən şərhlər klassik nəhv ənənəsinin dərinliyini və məntiqi əsaslarını aydın şəkildə ortaya qoyur.

"Şərhu Radi aləl-Kafiyə" əsəri ərəb dili qrammatikasının öyrənilməsi, klassik nəhv irsinin tədqiqi və sintaktik kateqoriyaların sistemli şəkildə mənimsənilməsi baxımından dəyərli elmi mənbədir.

ƏDƏBİYYAT

[1] Abbasov. İ.Ə. Ərəb dilində sintaktik kateqoriyalar və bəlağət. Bakı: Bakı Çap Evi, 2011, 440 s.

[2] Əl-Astarabadi R. Şərhu Radi alə əl-Kafiyə fi ilmin nəhv va irab. II cilddə, I cild. 1268 h.q. AMEA Naxçıvan Bölməsi Əlyazmalar Fondu. Şifr: D-44/264, 94 s.

[3] Məmmədəliyev. V.M. Ərəb dilçiliyi, ali məktəb dərsliyi. Bakı: Maarif, 1985, 288 s.

[4] Vəliyeva K. Nəhv alimi Radiuddin Məhəmməd bin Həsən Razi əl-Astarabadinin "Şərhu Radi alə əl-Kafiyyə fi ilmin nəhv va irab" əsəri haqqında bəzi dilçilərin mülahizələri // "Naxçıvan" Universitetinin Elmi əsərlər jurnalı, 2022, № 3 (27), s. 101-107.

[5] Yazquliyev A. Esterabadi ve Şerhul-kafiyesi işığında nahiv ilmindeki yeri. Bursa, 2005, 160 s.

[6] شرح الألفية لابن مالك. تأليف الحسن بن قاسم المرادي، تحقيق الدكتور فخر الدين قباوة، الجزء الأول، دار مكتبة المعارف للطِباعَة و النشر، بيروت – لبنان، الطبعة الأولى 2007 م – 1428هـ، 687 ص.

ORXON-YENİSEY ABİDƏLƏRİNDƏ ZƏRFLƏRIN TARİXİ-LİNQVİSTİK TƏHLİLİ

ƏFRANƏ HƏSƏNLİ
Bakı Dövlət Universiteti Qazax filialı
Filologiya/Azərbaycan
efrane.hesenova96@gmail.com
QAZAX, AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ

Türk dilinin ən qədim yazılı abidələri olan Orxon yazıları türk tarixinin və dilinin öyrənilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu yazılarda qədim türk dövlətçiliyi, ictimai-siyasi quruluş və mədəni dəyərlər əks olunmuşdur. Eyni zamanda abidələrin dili sadə, aydın və xarici təsirlərdən uzaq olması ilə seçilir. Məqalədə əsas diqqət zərflərin tədqiqinə yönəldilmişdir. Zərflər müxtəlif nitq hissələrini zaman, məkan, tərz və miqdar baxımından səciyyələndirən vahidlər kimi təqdim olunur. Araşdırmada Orxon yazılarında işlənən zərflər müəyyən edilərək təsnif edilmiş, onların semantik xüsusiyyətləri və funksional imkanları təhlil olunmuşdur. Eyni zamanda zərflərin tarixi inkişafı və etimologiyası elmi mənbələr əsasında izah edilmişdir. Nəticədə qədim türk dilində zərflərin işlənmə xüsusiyyətləri sistemli şəkildə ortaya qoyulmuşdur.

Açar sözlər: (Ən az 3 AÇAR SÖZ): Orxon abidələri-1, zərf-2, Qədim Türk dili-3

GIRIŞ

Türk dili və tarixi baxımından ən qədim yazılı mənbələr sırasında Orxon yazıları xüsusi yer tutur. Bu abidələr Mərkəzi Monqolustan ərazisində, Orxon çayının qədim məcrası yaxınlığında, Koşo-Çaydam gölü ətrafında ucaldılmış və 1889-cu ildə Yadrintsev tərəfindən aşkar edilmişdir. Kül Tigin və Bilgə xaqan yazıları arasında təxminən bir kilometr məsafə mövcuddur. Sözügedən abidələr müvafiq olaraq 732 və 735-ci illərdə tərtib olunmuşdur (Tekin 2017: 10).Orxon yazıları Bilgə xaqan və dövlət xadimi Tonyukuk tərəfindən qələmə alınmış və əsasən hərbi-siyasi hadisələri əks etdirən tarixi mənbə xarakteri daşıyır. Bu yazılar əsasında məlum olur ki, türklər hakimiyyətlərini qorumaq məqsədilə yalnız çinlilər, monqollar (kıtaylar), tangutlar kimi yad xalqlarla deyil, eyni zamanda oğuzlar, qırğızlar, uyğurlar və türgişlər kimi qohum tayfalarla da dəfələrlə mübarizə aparmışlar. Tonyukuk öz yazısında əsasən İlteriş xaqan və Bilgə xaqanın əmisi Kapqan xaqanın uğurlarını, eləcə də öz fəaliyyətini ətraflı şəkildə təqdim edir (Tekin 2017: 14).Bu abidələr yalnız tarixi məzmunu ilə deyil, həm də yüksək bədii ifadə xüsusiyyətləri ilə diqqət çəkir. Onlar sadəcə hadisələrin ardıcıl şəkildə təsvir olunduğu sıravi hərbi xronika deyil. Xüsusilə Bilgə xaqanın bəylərə və xalqa müraciət etdiyi, onları çinlilərin siyasətindən və ata yurdunu tərk etməyin doğura biləcəyi təhlükələrdən çəkindirdiyi hissələr güclü təsir gücünə malikdir. Bu baxımdan Orxon yazıları türk dilinin ən qədim və ən mükəmməl natiqlik nümunələrindən biri kimi qiymətləndirilir (Tekin 2017: 15).

Tədqiqatda türk dilinin ilkin yazılı nümunələri hesab olunan Orxon yazılarında işlənmiş zərf funksiyalı sözlər araşdırma predmetinə çevrilmişdir. Qrammatikanın mühüm bölmələrindən biri olan zərflərlə bağlı müxtəlif dilçilərin yanaşmaları və izahları nəzərdən keçirilmişdir. Zərflərin əsas mövqeyi feillərin önündə müşahidə olunsa da, onlar sifətlər və digər zərflərlə də əlaqəyə girə bilir. Ümumilikdə, dilçilikdə hərəkət və ya əlamətin icra tərzini, keyfiyyətini və ya miqdarını açıqlayan və ya dəyişdirən leksik vahidlər zərf kimi səciyyələndirilir. Zərfin formalaşması digər əsas nitq hissələrindən ayrılma prosesi ilə bağlı olub, onun isim və fel arasında keçid xarakterli mövqe tutması ilə səciyyələnir. Bu nitq vahidi müxtəlif leksik-qrammatik vasitələr əsasında, xüsusilə digər nitq hissələrinə aid sözlərin zərfləşməsi nəticəsində yaranır və məhz bu xüsusiyyətləri ilə fərqlənir. Orxon-Yenisey abidələrinin dilində həm artıq tam şəkildə zərf funksiyası qazanmış vahidlərə, həm də hələ iki müxtəlif nitq kateqoriyasının əlamətlərini qoruyub saxlayan sözlərə rast gəlinir. Ə.Şükürlü həmin sözləri üç qrupa bölmüşdür: əsli zərflər, düzəltmə zərflər, zərfləşən sözlər .Orxon yazılarında işlənmiş zərflər aşağıdakılardır ***Berü:*** "Berü / bərü" həm zaman, həm də məkan bildirən zərf kimi işlənir. Ümumilikdə "bu tərəfə", "bu tərəfdə" mənalarını ifadə edir. T. Tekin bu zərfin məşəyi haqqında qeyd edir: "Bəri, bu yana doğru" mənalarında işlənən bu zərfin mənşəyi bē ("ön") kökü ilə -rü şəkilçisinin birləşməsi kimi izah olunur (Tekin 2003: 140).

Bunta: "Bunda" zərfi qədim türk yazılı abidələrində "burada, bu yerdə" mənasında işlənən lokativ semantikalı bir vahid kimi çıxış edir. Tədqiqatçılar onun morfoloji quruluşunu işarə əvəzliyi olan "bu" komponenti, əvəzlik n-sı və yerlik-çıxışlıq hal şəkilçisi "-ta" əsasında formalaşmış mürəkkəb struktur kimi

izah edirlər. Orxon-Yenisey abidələrində bu söz "bunda", əlyazmalarda isə "munta" formasında qeydə alınmışdır. "bunta urtım,(burada yazdım) (Şükürlü, 270)
Orta türk dövrünün leksik materiallarında, xüsusilə "Divanü Lüğat-it-Türk" əsərində onun "munda" variantına rast gəlinir. Məsələn, Əmgəksizin turğu yok munda tamu (Əməksiz durmaq olmaz burada) (DLT-1, 416). Müasir Azərbaycan ədəbi dilində də burada variantında sabitləşib. Bu variantların müqayisəli təhlili sözün tarixi fonetik dəyişmələrə məruz qalaraq semantik sabitliyini qoruduğunu göstərir.
İlgərü: Rasenen (1969: 170), "il" sözünü "ön; doğu" mənasında izah edərək "ilgärü" zərfinin ilkin mərhələdə "öndə" mənası daşıdığını qeyd etmişdir. Bəzi türkoloqları isə bu vahidi ilkgerü forması kimi rekonstruksiya edərək onun morfoloji quruluşunu "ilk" kökü və yön bildirən şəkilçi əsasında formalaşmış zərf kimi şərh etmişdir. Tədqiqatçıların fikrincə, söz daxilindəki k səsinin tarixi fonetik proses nəticəsində düşməsi onun struktur dəyişməsinin əsas mərhələlərindən birini təşkil edir. Ən qədim dövrdə "önə doğru" mənasında işlənən bu zərf sonrakı inkişaf mərhələlərində semantik genişlənməyə məruz qalmışdır. Beləliklə, "ilgärü" vahidi zamanla "irəli, qabaq, əvvəl" kimi müxtəlif məna çalarları qazanmışdır. "İlgerü Şantun yazıka teği süledim" (KT c 3) "İrəli Şantun çölünə təki qoşun çəkdim". Bu söz Müasir Azərbaycan dilində irəli formasında yer zərfi kimi sabitləşmişdir.
Rasenen (1969: 41), *äm* sözünü "indi, bu an" şəklində izah edərkən *äm-ti* sözü ilə sinonim olduğunu ifadə etmişdir. Bu söz "indi" mənasını verən və **am-tı* formasında olan bir zaman zərfidir. Bəzi türkoloqlar isə *imdi* zərfinin "indi; buna görə" mənalarında istifadə olunduğunu qeyd etmişdir. Fonetik baxımdan Qədim Türk dili və Orta Türk dili dövrlərində *amtı > amdı > emdi > emti > imdi > indi* formasında bəzi səs dəyişikliklərinə uğramışdır. Müasir dövrdə *uş şimdi > şimdi* ön səsinin düşməsi nəticəsində yaranan *indi* ifadəsi işlədilməkdədir. Məsələn, *Ol amtı anığ yok(orada indi pis davranışlar yoxdur)* (KT G3), *İlliğ bodun ertim; ilim amtı kanı?(Eli olan xalq idim, indi elim hanı?)* (KT D9).Azərbaycan dialektlərində *imdi* ifadəsi hələ də işlədilməkdədir. Müasir Azərbaycan dilində isə indi formasında sabitləşmişdir.
Küntüz: Rasenen (1969: 309) bu sözü "gün" mənası ilə izah etmişdir. *Dîvânu Lugâti't-Türk*'də bu söz "gündüz işığı" kimi izah edilmişdir.Orxon Yazılarında *küntüz* sözü ilə yanaşı *kün* sözü də "gündüz" mənasında işlədilmişdir. *(Türk bodun üçün tün udımadım, küntüz olurmadım… "…Türk xalqı üçün gece yatmadım, gündüz oturmadım…" (BK D22) Ol sabığ eşidip tün udısıkım kelmedi, küntüz olursıkım kelmedi. (T G4) …kün yeme olursıkım kelmez erti.(T D5)*
Katıġdı:"Katığdı" sözü "sıx şəkildə, möhkəm, bərk formada" mənasında işlənən zərf kimi izah olunur və *katığ + -dı* tərkibindən formalaşdığı qeyd edilir. Etimoloji baxımdan bu vahidi bəzi türkoloqlar "kat-" (yığmaq, əlavə etmək) feil kökü üzərinə -ıg feildən isim düzəldən şəkilçi və daha sonra intensivlik bildirən -dı elementinin birləşməsi ilə yarandığını göstərirlər. Bu struktur nəticəsində "katı, sərt, güclü" mənası formalaşaraq zərf funksiyasında "çox möhkəm, bərk şəkildə" semantikasını qazanmışdır. (bu sabımın edgüti eşid katığdı tıñla. "…bu sözlərimi yaxşıca eşidin (və) diqqətlə dinləyin." (KT G2) Müasir Azərbaycan dilində bu zərf diqqətlə sözü kimi sabitləşmişdir.

TƏDQİQAT METODU

Bu araşdırmada əsasən **tarixi-müqayisəli metod** tətbiq olunmuşdur. Çünki Orxon-Yenisey abidələrində işlənmiş zərflər qədim türk dili materialları əsasında araşdırılır və onların müasir dillərlə (Azərbaycan türkcəsi və s.) müqayisəsi aparılır. Eyni zamanda sözlərin fonetik və semantik inkişaf mərhələlərinin izlənməsi də bu metodun tərkib hissəsidir. Bununla yanaşı, materialın toplanması və nümunələrin seçilməsi baxımından **təsviri (deskriptiv) metoddan** istifadə edilmişdir. Yazılardakı zərflərin funksiyası, mənası və işlənmə xüsusiyyətləri sistemli şəkildə təsvir olunur.

NƏTICƏ

Aparılan araşdırma göstərir ki, Orxon-Yenisey yazılı abidələri qədim türk dilində zərf kateqoriyasının sistemli şəkildə öyrənilməsi üçün mühüm və etibarlı mənbə rolunu oynayır. Təhlillər nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu abidələrdə işlənən zərflər həm morfoloji quruluş, həm də semantik baxımdan müxtəlif inkişaf mərhələlərini əks etdirir. Tədqiqat nəticələri onu da təsdiq edir ki, qədim türk dilində zərflərin bir qismi ilkin leksik vahid kimi formalaşmış, bir qismi isə zərfləşmə prosesi nəticəsində digər nitq hissələrindən inkişaf etmişdir. Bu vahidlərin müasir türk dillərində müxtəlif fonetik və semantik dəyişikliklərə məruz qalaraq yaşaması dilin tarixi inkişaf davamlılığını sübut edir. Ümumilikdə, Orxon-Yenisey abidələrində zərflərin işlənmə xüsusiyyətləri qədim türk dilinin qrammatik sisteminin öyrənilməsində mühüm elmi nəticələr əldə etməyə imkan verir.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1. Əliyev, Y. (2005). *Orxon-Yenisey abidələri və orta əsrlər türk ədəbi dili*. Bakı.
2. Əliyev, Y. V. (2004). *Qədim türk (runik) yazılı abidələrinin dili: Dərs vəsaiti*. Bakı: Nurlan.
3. Kaşgarlı, M. (2006). *Divanu lüğat-it-türk*. R. Əskər (tərc. və nəşrə hazırlayan). Bakı: Ozan. I–III cildlər.
4. Räsänen, M. (1969). *Türk dillərinin etimoloji lüğətinin təcrübəsi (layihəsi)*. Lexica Societatis Fenno-Ugricae XVII/1.
5. Rəcəbli, Ə. (2006). *Qədim türk yazısı abidələrinin dili* (I–II cild). Bakı: Nurlan.
6. Şükürlü, Ə. (2015). *Qədim türk yazılı abidələrinin dili*. Bakı: Maarif.
7. Tekin, T. (2003). *Orhon Türkçesi grameri*. Sanat Kitabevi.
8. Tekin, T. (2017). *Orhon yazıtları*. BilgeSu Yayınları.
9. Zeynalov, F. R. (1980). *Qədim türk yazılı abidələri (orta dövr)*. Bakı: ADU nəşriyyatı.

XX ƏSR AZƏRBAYCAN POEZİYASINDA MODERNİST POETİKANIN STRUKTUR-SEMANTİK XÜSUSİYYƏTLƏRİ

SEVINC ƏHMƏDOVA
ADPU, Filologiya
sevincasger@gmail.com
Bakı Azərbaycan

Xülasə

Bu məqalədə XX əsr Azərbaycan poeziyasında modernist poetikanın struktur-semantik xüsusiyyətləri geniş şəkildə araşdırılır. Tədqiqatın aktuallığı milli poeziyada modernizm estetikası ilə klassik ənənə arasında baş verən transformasiyaların sistemli şəkildə öyrənilməsinə olan ehtiyacla müəyyənləşir. Məqsəd modernist şeirdə forma yenilikləri, obraz və simvol sistemi, poetik dilin semantik tutumu və lirik subyektin dəyişən funksiyasını təhlil etməkdir. Elmi yenilik modernist poetikanın struktur və məna qatlarının qarşılıqlı əlaqədə, yerli ədəbi kontekst əsasında araşdırılmasındadır. Praktiki əhəmiyyət isə nəticələrin ali məktəblərdə poeziya nəzəriyyəsinin tədrisində və ədəbi tənqid praktikasında istifadəsi ilə bağlıdır. Nəticə göstərir ki, modernizm Azərbaycan poeziyasında poetik strukturu yenidən quraraq çoxqatlı və assosiativ semantik sistem formalaşdırmışdır.

Açar sözlər: modernizm, poetika, struktur-semantik təhlil, Azərbaycan poeziyası, sərbəst şeir, simvolizm

Structural-Semantic Characteristics of Modernist Poetics in Twentieth-Century Azerbaijani Poetry

Abstract

This article extensively examines the structural-semantic characteristics of modernist poetics in twentieth-century Azerbaijani poetry. The relevance of the research is determined by the need for a systematic study of the transformations that occurred between modernist aesthetics and classical tradition in national poetry. The aim of the study is to analyze formal innovations in modernist verse, the system of images and symbols, the semantic capacity of poetic language, and the changing function of the lyrical subject. The scientific novelty lies in investigating the structural and semantic layers of modernist poetics in their interrelation within the local literary context. The practical significance of the research is related to the application of its results in teaching poetry theory at higher educational institutions and in literary criticism practice.

The study concludes that modernism in Azerbaijani poetry reconstructed poetic structure and formed a multilayered and associative semantic system.

Keywords: modernism, poetics, structural-semantic analysis, Azerbaijani poetry, free verse, symbolism.

GİRİŞ

1. Mövzunun aktuallığı və elmi əhəmiyyəti

XX əsr Azərbaycan poeziyası ictimai-siyasi dəyişikliklər, ideoloji təzyiqlər və mədəni yeniləşmə prosesləri fonunda formalaşmışdır. Bu dövrdə modernizm cərəyanı klassik poetik ənənəyə alternativ estetik model kimi meydana çıxmışdır. Əgər XIX əsr və XX əsrin əvvəllərində poeziyada romantik və realist istiqamətlər üstünlük təşkil edirdisə, sonrakı mərhələdə fərdi şüur, daxili təlatüm, simvolik ifadə və forma eksperimentləri ön plana keçmişdir.

Modernist poetikanın araşdırılması milli poeziyanın inkişaf mərhələlərinin obyektiv qiymətləndirilməsi baxımından aktualdır. Bu mövzu yalnız ədəbi-estetik deyil, həm də mədəni-fəlsəfi mahiyyət daşıyır.

2. Problemin qoyuluşu və mövcud tədqiqatlar

Azərbaycan ədəbiyyatşünaslığında modernizm məsələsi müxtəlif aspektlərdən tədqiq olunmuşdur. Akademik ədəbiyyat tarixlərində və monoqrafiyalarda modernist meyillər qeyd edilsə də, struktur-semantik təhlil səviyyəsində kompleks araşdırmalar məhduddur.

Məsələn, Yaşar Qarayev Azərbaycan ədəbiyyatının mərhələli inkişaf konsepsiyasını irəli sürərək modernist düşüncənin formalaşmasını milli-mədəni transformasiya ilə əlaqələndirmişdir (Qarayev, 1999). Bəxtiyar Vahabzadə poeziyasında klassik forma ilə müasir məzmunun sintezi diqqətə çatdırılmışdır (Vahabzadə, 2005). Lakin modernist poetikanın struktur və semantik mexanizmlərinin sistemli təhlili ayrıca problem kimi qalmaqdadır.

3. Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri

Tədqiqatın əsas məqsədi XX əsr Azərbaycan poeziyasında modernist poetikanın struktur və semantik xüsusiyyətlərini müəyyənləşdirməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı vəzifələr yerinə yetirilmişdir:

- Modernist poetikanın nəzəri əsaslarının müəyyənləşdirilməsi;
- Şeir strukturunda forma və kompozisiya yeniliklərinin təhlili;
- Obraz və simvol sisteminin semantik yükünün araşdırılması;
- Lirik subyektin transformasiyasının müəyyənləşdirilməsi.

Tədqiqatda struktur təhlil, semantik analiz, müqayisəli poetika və kontekstual yanaşma metodlarından istifadə olunmuşdur.

4. Tədqiqatın strukturu

Məqalə giriş, əsas tədqiqat bölməsi, nəticə və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Əsas hissədə modernist poetikanın struktur və semantik xüsusiyyətləri mərhələli şəkildə araşdırılır.

3. Moderinist poetikanın struktur xüsusiyyətləri.

3.1. Sərbəst vəzn və kompozisiya qırılması

Modernist poeziyada ən mühüm struktur yenilik sərbəst şeir formasının geniş yayılmasıdır. Rəsul Rza yaradıcılığı bu baxımdan xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Onun şeirlərində klassik heca sistemindən uzaqlaşma, daxili ritm və intonasiya əsas kompozisiya prinsipinə çevrilir (Rza, 1984).

Fraqmentar kompozisiya və sintaktik qırılmalar modernist poetikanın mühüm struktur göstəricisidir. Bu xüsusiyyət şeirin məntiqi ardıcıllığını pozaraq oxucunu assosiativ düşüncəyə yönəldir.

3.2. Sintaktik və leksik eksperimentlər

Modernist poeziyada dil normativ çərçivədən çıxaraq eksperimental xarakter alır. Əli Kərim şeirlərində sintaktik inversiyalar və gözlənilməz metaforalar semantik gərginlik yaradır (Kərim, 1991).

Sözün semantik sərhədləri genişlənir, metafora və simvol əsas ifadə vasitəsinə çevrilir. Bu, şeirin mətnaltı qatını zənginləşdirir və çoxqatlı məna yaradır.

4. Moderinist poetikanın semantik xüsusiyyətləri.

4.1. Simvol və obraz sistemi

Modernist poeziyada obraz konkretlikdən abstraktlığa doğru inkişaf edir. Şəhər, zaman, yol, sükut kimi simvollar insanın daxili aləminin ifadə vasitəsinə çevrilir. Mikayıl Müşfiq poeziyasında romantik duyğular modernist simvolika ilə birləşir (Müşfiq, 1983).

Simvol artıq yalnız bədii təsvir vasitəsi deyil, fəlsəfi ümumiləşdirmə formasıdır.

4.2. Lirik “mən” və subyektivlik

Modernist poetikada lirik subyektin mövqeyi dəyişir. Klassik poeziyada ictimai və ya kollektiv “biz” üstünlük təşkil edirdisə, modernizmdə fərdi şüur ön plana keçir. Bəxtiyar Vahabzadə yaradıcılığında milli mövzu fərdi düşüncə ilə sintez edilir (Vahabzadə, 2005).

Bu transformasiya şeirin semantik qatını fərdiləşdirir və daxili monoloqu gücləndirir.

4.3. Zaman və məkanın semantik transformasiyası

Modernist şeirdə zaman xətti deyil, psixoloji xarakter daşıyır. Keçmiş, indi və gələcək bir mətn daxilində paralel mövcud ola bilir. Məkan isə konkret coğrafi göstəricidən daha çox mənəvi-psixoloji sahə kimi təqdim edilir.

5. Nəticə

Aparılan tədqiqat göstərir ki, XX əsr Azərbaycan poeziyasında modernist poetika struktur və semantik baxımdan köklü yeniliklər yaratmışdır. Sərbəst vəzn, sintaktik eksperimentlər, fraqmentar kompozisiya və simvolik obraz sistemi poetik mətnin çoxqatlı semantik quruluşunu formalaşdırmışdır. Modernizm milli poeziyada fərdi şüurun estetik ifadəsini gücləndirmiş, klassik ənənəni yeni məna kontekstində yenidən interpretasiya etmişdir.

Beləliklə, modernist poetika Azərbaycan poeziyasının inkişafında keyfiyyətcə yeni mərhələ təşkil edir və onun struktur-semantik xüsusiyyətləri milli ədəbi düşüncənin yenilənməsini əks etdirir.

Ədəbiyyat

Kərim, Ə. (1991). *Seçilmiş əsərləri*. Bakı: Yazıçı.
Müşfiq, M. (1983). *Əsərləri*. Bakı: Gənclik.
Qarayev, Y. (1999). *Azərbaycan ədəbiyyatı: XIX–XX əsrlər*. Bakı: Elm.
Rza, R. (1984). *Seçilmiş əsərləri*. Bakı: Yazıçı.
Vahabzadə, B. (2005). *Seçilmiş əsərləri*. Bakı: Şərq-Qərb.

SÜLEYMAN RƏHİMOV NƏSRİNDƏ DİL VAHİDLƏRİNİN ÜSLUBİ İMKANLARI

NILUFƏR OCAQLI
Azərbaycan Dillər Universitetinin magistrantı
Filologiya fakültəsi
BAKI, AZƏRBAYCAN
nilufarojagly@gmail.com
+9940507741012

Dos.QAFAR OCAQLI
Bakı Mühəndislik Universiteti
Ümumi fənlər kafedrasının müəllimi
Baku, Azerbaijan
qocaqli@beu.edu.az

Xülasə: Toponimlər və antroponimlər Azərbaycan dilinin leksikasında mühüm yer tutur və dilçilik, tarix, coğrafiya ilə sıx bağlıdır. Bədii ədəbiyyatda onlar hadisələrin baş verdiyi məkanı və obrazların kimliyini konkretləşdirir, oxucuda real və dolğun təsəvvür yaradır, eyni zamanda zaman və məkan göstəricisi kimi çıxış edir. Toponimlər obrazların mühitini açırsa, antroponimlər onların fərdi xüsusiyyətlərini, sosial mənsubiyyətini və daxili dünyasını üzə çıxarmağa kömək edir. Süleyman Rəhimovun əsərlərində müəllif həm real, həm də uydurma toponim və antroponimlərdən istifadə edir: real adlar hadisələrin inandırıcılığını artırır, uydurma adlar isə bədii mühit yaradır və ideyaların daha qabarıq ifadəsinə xidmət edir. Məkan və insan faktorunun vəhdətdə təqdim olunması süjetin qurulmasında və obrazların inkişafında mühüm rol oynayır. Toponimlər və antroponimlər emosional, mədəni və tarixi informasiya daşıyaraq mətni zənginləşdirir.

Açar sözlər: onomastik vahidlər, antroponim, psixoloji portret, tarixi və dini kontekst; toponim, məkan.

GİRİŞ

Dilçiliyin xüsusi sahəsi olan onomastik vahidlər dil sistemində istifadə olunan ad bildirən sözləri etimoloji, quruluş, semantik-struktur cəhətdən öyrənir. Şəxs adları, yer adları və digər ad bildirən sözlər mətn daxilində yanlız nominativ funksiya daşımır; onlar eyni zamanda mətnin ideya-bədii yükünü formalaşdıran üslubi vasitələr kimi mühüm rol oynayır. Onomastika dilçilik və ədəbiyyatşünaslığın ortaq sahəsi kimi müəllif üslubunu öyrənmək üçün olduqca əhəmiyyətlidir.

Realist nəsrin görkəmli nümayəndəsi olan S. Rəhimovun əsərləri bu tədqiqatın aparılması üçün olduqca qiymətli mənbələrdən biridir. Demək olar ki, onun hər bir əsərində işlənən antroponimlər, toponimlər və s. nominativ məna daşımaqla bərabər, müəyyən bir üslubi niyyətin göstəricisidir.Onomastik leksikanın müəyyənləşdirilməsi zamanı təkcə sözün etimoloji, morfoloji, leksik, fonetik cəhətlərinin araşdırılması ilə kifayətlənilməməli, sintaktik vasitələrin də üslubi rolu xüsusi tədqiq edilməlidir. [3, s6]

Antroponimlər təkcə xarakter və sosial statusu əks etdirmir, həm də estetik zövqün ifadəsi funksiyasına malikdir. Yazıçının yaratdığı adlar səsləşmə, ritm və mənaca harmoniyaya diqqət yetirilərək formalaşır; bu isə oxucuda müəyyən emosional təsir yaradır. Məsələn, sadə, ahəngdar səsləşən adlar sakitlik və təmizlik hissini ötürür, mürəkkəb, uzun və mürəkkəb fonetik quruluşlu adlar isə xarakterin gərginliyini və daxili mürəkkəbliyini vurğulayır. Beləliklə, Rəhimovun antroponimləri yalnız identifikasiya vasitəsi deyil, həm də bədii-estetik alət olaraq mətndə poetik atmosferin, obrazın daxili aləminin və müəllifin üslubi niyyətinin çatdırılmasına xidmət edir.

S. Rəhimovun əsərlərində adların seçimi bu baxımdan xüsusi əhəmiyyət daşıyır və onlar vasitəsilə müəllif obrazların daxili dünyasını, davranış xüsusiyyətlərini və cəmiyyətlə münasibətlərini incə şəkildə əks etdirir. Belə ki, bəzi adlar semantik xüsusiyyətlərinə görə həmin adı daşıyanın davranış tərzi və xarakteri ilə simvolik əlaqə yarada bilir. Bu, oxucuya obrazın xarakterinə dair əlavə məlumat verir və onun psixoloji portretini formalaşdırır.

Lakin Rəhimovun yaradıcılığında ad və obraz arasındakı əlaqə hər zaman müsbət uyğunluqdan ibarət olmur; bəzi hallarda adların mənası ilə obrazın davranışları arasında təzadlıq müşahidə olunur. Bu təzadlıq müəllifin bədii məqsədindən irəli gəlir və obrazın mürəkkəbliyini, insan psixikasının çoxqatlılığını göstərmək üçün istifadə olunur.

Məsələn, S. Rəhimovun "Mehman" povestində işlənmiş Məlikə adı simvolik olaraq nəciblik, zəriflik və incəlik mənalarını daşıyır. Məlikə xanım obrazı əsərdə bu simvolik mənaya uyğun şəkildə təqdim olunur. O, həm ailədə, həm də ictimai mühitdə hörmətli bir şəxsiyyət kimi çıxış edir, eyni zamanda maarifçi və maarifpərvər qadın kimi təsvir edilir. Məlikə xanımın nitqi, davranışları və başqalarına münasibəti onun adının daşıdığı simvolik yük ilə ahəngdardır. Bu, oxucuda onun şəxsiyyətinə dair təsəvvür formalaşdırır və obrazın etika, estetik və sosial prinsiplərini ön plana çıxarır.

Yazıçının "Məhtəban" povestində iştirak edən, baş qəhrəmanlardan biri olan Məhtəban obrazı da yuxarıda qeyd olunan nümunə ilə eynilik təşkil edir. Məhtəban obrazı həm gözəlliyi, həm də daxili dünyası ilə diqqəti çəkir. Məhtəban adı simvolik olaraq ay işığı, aylı gecə mənasını daşıyır ki, bu da onun xarici gözəlliyini vurğulayır. Qeyd etmək lazımdır ki, Məhtəban əsərdə çox gözəl qız kimi təsvir olunur. Onun gözəlliyi yalnız fiziki cizgilərlə məhdudlaşmır; incə davranışları, zərif nitqi onun cazibəsini artırır. Müəllif adıçəkilən obrazı belə təsvir edir – "*Dörd dirəkli damın orta bacasından düşən ay Məhtəbanın surətində bədirlənirdi"* [5, s.17]

S.Rəhimovun əsərlərindəki bəzi obrazların adı onların əməlləri, nitqi ilə ziddiyyət təşkil edir. Məsələn, müəllifin "Ana abidəsi" əsərindəki İnsaf Mürüvvətzadə obrazının adı ilə hərəkətləri bir-biri ilə təzadlıq təşkil edir. Müəllif həm adına, həm də soyadına zidd olan İnsaf Mürüvvətzadə obrazı vasitəsilə insan xarakterindəki ikililiyi, fərdi əxlaq və ictimai davranış arasındakı uyğunsuzluğu göstərir. Bu obraz oxucuya insanların yalnız adları və ya kənardan görünüşləri ilə dəyərləndirilə bilməyəcəyini, əslində əməllərin və davranışların insanın həqiqi mahiyyətini ortaya qoyduğunu nümayiş etdirir. Eyni zamanda müəllif ad ziddiyyətindən istifadə edərək cəmiyyətin fərdlərə yüklədiyi mənəvi və etik gözləntiləri vurğulayır və oxucuda obrazın davranışlarının analizini tələb edir. [4, s. 38]

Maraqlı məqamlardan biri də odur ki, müəllif əsərlərində bəzi adları tarixi şəxsiyyətlərlə əlaqələndirməklə oxucuya obrazların yalnız fərdi xüsusiyyətlərini deyil, həm də müəyyən ictimai, mədəni və tarixi kontekstdə formalaşan keyfiyyətlərini çatdırır. Bu üsul vasitəsilə adlar simvolik bir rol oynayır və obrazın xarakterini, əxlaqını və davranışlarını daha dərindən anlamağa imkan yaradır. Eyni zamanda müəllif tarixi referanslar vasitəsilə oxucuda əlaqəli düşüncə yaratmaqla, əsərin məzmununu sadə bədii hekayədən çıxarıb daha geniş mənəvi və intellektual müstəviyə qaldırır. Bu yanaşma obrazların həm fərdi, həm də

ümumbəşəri xüsusiyyətlərini vurğulayır, oxucuda tarixi yaddaş və bədii təxəyyül arasında əlaqə qurmağa şərait yaradır.

Məsələn, "Mehman" povestinin əsas qəhrəmanlarından biri olan Züleyxanın bəzi hərəkətləri bizə Həzrəti Yusifi əldə etməyə çalışan Züleyxanı xatırladır. Süleyman Rəhimovun əsərində Züleyxa obrazı Mehmanı əldə etmək üçün əlindən gələni edən, məqsədinə çatmaq üçün müxtəlif taktikalardan istifadə edən bir sima kimi təqdim olunur. Onun bu davranışı obrazın zəka və strateji bacarığını göstərir, oxucuya onun məqsədyönlü və qərarlı bir şəxs olduğunu çatdırır. Bu obrazı dini kontekstə, xüsusilə Hz. Yusifə aşiq olan Züleyxa ilə müqayisə etmək mümkündür. Quranın "Yusif" surəsində Züleyxa Yusifi özünə cəlb etmək üçün cəhdlər etsə də, Yusifin əxlaq və iman zənginliyi onu qoruyur. Rəhimovun Züleyxası ilə dini Züleyxa arasında paralellik ondadır ki, hər iki Züleyxa istədiklərinə nail olmağa çalışır. Lakin Rəhimovun obrazı daha realist və sosial kontekstdə işlənmişdir.

Eyni zamanda, ad və obraz arasındakı ziddiyyət və tarixi assosiasiyalar vasitəsilə müəllif insan xarakterinin mürəkkəbliyini və ictimai-mədəni kontekstdə formalaşan davranış nüanslarını ortaya qoyur. Bu yanaşma oxucuda mətni yalnız hadisələr silsiləsi kimi deyil, həm də mənəvi və intellektual təhlil obyektinə çevirməyə şərait yaradır.

Rəhimovun onomastik seçimləri onun realist üslubunun mühüm göstəricisidir. Müəllif obrazların adlarını məqsədyönlü şəkildə seçərək, bir tərəfdən xalqın dil zənginliyini və milli düşüncə tərzini nümayiş etdirir, digər tərəfdən isə adlar vasitəsilə ideya və mənəvi məzmunu dərinləşdirir. O, bəzən adla obraz arasında uyğunluq yaratmaqla oxucuda harmoniya və tamlıq hissi formalaşdırır, bəzən isə ad və davranış arasında ziddiyyət yaradaraq insanın daxili təbəqələrini və mənəvi ikililiyini açır.

Bu xüsusiyyətlər Süleyman Rəhimovun bədii üslubunun orijinallığını və dilə münasibətindəki yaradıcı yanaşmanı göstərir. Yazıçının əsərlərində onomastik vahidlər təkcə nominativ vasitə deyil, həm də bədii-estetik alət, psixoloji açar və mədəni simvol funksiyasını yerinə yetirir. Nəticə etibarilə, Rəhimovun onomastik sistemi onun realizminin və milli ruhunun ifadə vasitəsidir, bu isə onun yaradıcılığını Azərbaycan ədəbiyyatında özünəməxsus edən əsas cəhətlərdən biridir.

Azərbaycan dilinin lüğət tərkibinin müəyyən bir hissəsini təşkil edən toponimlər bir çox dilçilərin tədqiqat obyekti olmuşdur. Toponimlərin xüsusi olmasının səbəbi onun təkcə dilçilik elmi ilə bağlı olmayıb həmçinin coğrafiya və tarixlə sıx əlaqələnməsidir. Ölkəmiz tarix boyu müxtəlif xalqların və tayfaların yaşadığı ərazi olduğuna görə, dilimizin toponimlər lüğəti də olduqca zəngindir. Toponimlərin yaranması təsadüfi bir proses deyil – hər bir toponim müəyyən bir qanunauyğunluq əsasında yaranır.

Toponimlər bədii əsərlərdə yalnız yer adlarının çəkilməsi deyil, mətndə mühüm məzmun və forma funksiyası daşıyan dil vahidləridir. Yazıçının toponimlərdən istifadə etməsi əsərdə təsvir olunan mühiti daha real göstərir və oxucunun hadisələri daha canlı təsəvvür etməsinə kömək edir. Bədii məkana konkretlik verən toponimlər əsərin inandırıcılığını artırır və oxucu ilə mətn arasında əlaqəni gücləndirir.

Hər bir bədii əsərdə hadisələrin baş verdiyi məkan müəyyən şəkildə modelləşdirilir. Konkret şəhər, kənd, dağ və ya bölgə adlarının çəkilməsi mətni abstraktdan uzaqlaşdırır və oxucunun yaddaşında aydın təsvir yaradır. Məsələn, "Şuşa", "Gəncə" və ya "Quba" kimi adlar oxucuya bu yerlərlə bağlı xüsusi tarixi və mədəni təsəvvürləri xatırladır. Beləliklə, toponimlər məkana aydınlıq gətirməklə yanaşı, onun emosional və mədəni mənalarını da canlandırır.

Toponimlər bədii mətnin zaman göstəricisi kimi də çıxış edir. Tarixi romanlarda və memuar xarakterli əsərlərdə müəyyən bölgə adlarının işlənməsi hadisələrin hansı dövrdə cərəyan etdiyini anlamağa imkan yaradır. Tarixi-coğrafi adlanma forması oxucuya dövrün ictimai-siyasi şəraitini, regional xüsusiyyətləri və həmin məkanın keçmişini daha yaxşı qavramağa yardım edir. Bu baxımdan toponimlər həm məkan, həm də zaman haqqında məlumat daşıyır.

Toponimlər obrazın mənsub olduğu mühiti müəyyənləşdirməklə onun xarakterini anlamağa şərait yaradır. Müxtəlif bölgələr insanlarının davranış və mentalitet xüsusiyyətləri ilə seçildiyi üçün yazıçı obrazın haralı olduğunu göstərməklə onun daxili dünyasına da işıq salır. Məsələn, "Bakıdan gəlmiş müəllim" və ya "Qarabağdan olan bir kəndli" ifadələri oxucuda təsəvvür yaradır və obrazın daha dolğun qavranılmasına kömək edir.

Toponimlər xalqın tarixi yaddaşını özündə yaşadan dil vahidləridir. Bədii əsərlərdə onların işlədilməsi tarixi-coğrafi məlumatların, unudulmaqda olan yaşayış məskənlərinin, qədim adların qorunmasına xidmət edir. Bu xüsusiyyət xüsusilə regional mövzulara həsr olunmuş əsərlərdə daha qabarıqdır. Yazıçılar toponimlər vasitəsilə bir bölgənin həyat tərzini, mədəni irsini və ənənələrini mətnə daşıyırlar.

Bəzi toponimlər bədii mətnlərdə simvolik məna daşıyır. Müəyyən məkan adı mətndə yalnız real coğrafi yer deyil, həm də hisslərin, xatirələrin və ya ideyaların rəmzi kimi təqdim oluna bilər. "Dağlar", "oba", "sahil"

kimi toponimlər bir çox hallarda nostalgiya, vətən sevgisi və ya mənəvi bağlılıq kimi duyğuları ifadə edir. Bu cür istifadələr əsərin emosional təsirini gücləndirir.

Toponimlər bədii əsərlərdə həm məkan və zaman göstəricisi, həm obrazların xarakterini açan vasitə, həm də milli-mədəni məlumat daşıyıcısı kimi çıxış edir. Onların funksional imkanları genişdir və bu səbəbdən toponimlər ədəbi tədqiqatlarda xüsusi əhəmiyyət kəsb edən məsələlərdən biridir.

Bədii əsərləri toponimsiz təsəvvür etmək, şübhəsiz ki, mümkün deyil. Çünki toponimlər əsərin məkan aspektini dəqiqləşdirir, hadisələrin coğrafi çərçivəsini müəyyənləşdirir və oxucuda real təsəvvür yaradır. Bu baxımdan görkəmli yazıçı S. Rəhimovun yaradıcılığı da istisna təşkil etmir. Onun bir çox əsərlərinin adlarının məhz toponimlər əsasında formalaşması – *"Arpaçay əfsanəsi", "Ağbulaq dağlarında", "Mozalan kəndi"* və digər nümunələr – yazıçının məkana nə dərəcədə xüsusi həssaslıqla yanaşdığını göstərir.

Ədəbiyyatda adlandırma prinsiplərinə görə, adətən, antroponimlə adlandırılan əsərlərdə antroponimlər, toponimlə adlandırılan əsərlərdə isə toponimlər üstünlük təşkil edir. Lakin S. Rəhimovun yaradıcılığında bu prinsip müəyyən qədər dəyişir. Yazıçı hər iki adlandırma modelindən istifadə etsə də, mətnlərin daxilində toponimlərin funksional ağırlığı kifayət qədər böyükdür. Bu isə onun bədii düşüncəsində məkan təsvirinin aparıcı rol oynadığını göstərir.

S. Rəhimovun əsərlərində işlənən toponimləri ümumilikdə iki qrupa ayırmaq mümkündür:

Konkret əraziləri bildirən toponimlər

Qeyri-dəqiq və ümumi məkan təsəvvürü yaradan toponimlər

Birinci qrupa daxil olan toponimlər müəyyən coğrafi əraziləri, konkret yaşayış məntəqələrini və ya dağ-çay kimi təbii obyektləri ifadə edir. Yazıçı bu tip toponimlərlə hadisələri real məkana bağlayır, obrazların fəaliyyətini həyati zəminə oturdur. [3, s.88]

İkinci qrupda isə məkan tam dəqiqləşdirilmir. Bəzi əsərlərdə hadisənin konkret hansı ərazidə baş verdiyini müəyyənləşdirmək olmur. Məsələn, *"Mehman", "Saçlı"* kimi əsərlərdə məkana dair qeyri-müəyyənlik saxlanılır. Bu cür toponimlər daha çox ümumi fon funksiyasını daşıyır, məkanın dəqiqliyindən çox, hadisələrin xarakterinə uyğun emosional və situativ fon yaradır.

Qeyd edilməlidir ki, Süleyman Rəhimovun yaradıcılığında toponimlərin işləkliyi kifayət qədər yüksəkdir və bu, təsadüfi deyil. Yazıçı təkcə əsərlərin adlarında deyil, həmçinin onların daxili məzmununda, xüsusilə də fəsil başlıqlarında, məkan təsvirlərində toponimlərdən fəal şəkildə istifadə etmişdir. Bu fakt onun bədii təfəkküründün məkana xüsusi həssaslıqla yanaşdığını, məkanı yalnız dekorativ təsvir vasitəsi kimi deyil, süjetin qurulması və xarakterlərin inkişafında aparıcı struktur komponenti kimi qiymətləndirdiyini göstərir.

Rəhimovun əsərlərində daha çox konkret bir əraziyə məxsus olan toponimlərin işlənməsi diqqət çəkir. *Şehli kəndi, Xoruzlu, Mozalan kəndi, Köndələn çay, Anaqaya, Alçalı obası, Cıdır bulaq, Danzovar kəndi, Pəri çınqılı, Dağətəyi kəndi, Ceyranlı, Eloğlu kəndi* və digər oxşar adlar buna nümunə göstərilə bilər. Bu tip toponimlər oxucuda real coğrafi təsəvvür yaradır, hadisələri müəyyən məkana bağlayır və obrazların həyat tərzi ilə bağlı konkretlik formalaşdırır.

Lakin burada bir məqama xüsusi diqqət yetirmək lazımdır. Sadalanan bu toponimlərin əksəriyyəti qondarma, yəni süni yaradılmış toponimik vahidlərdir. Yazıçının *"Şamo" və "Ağbulaq dağlarında*" kimi əsərlərində bu cür xəyali məkan adlarına tez-tez rast gəlinir. A. Qurbanovun fikrinə görə, müəllif real coğrafi adlarla məhdudlaşmadan özü üçün yeni məkan modelləri yarada bilər. Bu cür toponimlər S. Rəhimovun yaradıcılığında daha geniş yer tutur. *Səfiqulular kəndi, Əncirliqala, Alxaslı kəndi, Pircahan kəndi, Qartal dağı* və digər süni yaradılmış məkan adları müəllifin bədii təxəyyülünün məhsuludur.

Bununla belə, bu fakt yazıçının bütün toponimlərinin qondarma olduğu anlamına gəlmir. Əksinə, Rəhimovun əsərlərində real toponimlər süni toponimlərdən say etibarilə daha çoxdur. Yazıçı real coğrafi adlardan istifadə etməklə məkanın reallığını qoruyur, süni toponimlərdən isə daha çox bədii məqsədlərlə — hadisələri sərbəst şəkildə modelləşdirmək, xüsusi atmosfer yaratmaq və ya müəyyən ideyanı vurğulamaq üçün yararlanır. Bu da onun məkan quruculuğunun həm realist, həm də bədii-təxəyyüli xarakter daşıdığını göstərir. [3, s.107]

Süleyman Rəhimovun yaradıcılığında toponimlər əsərlərin bədii məkanının qurulmasında və süjetin inkişafında aparıcı rol oynayır. Yazıçı həm real, həm də süni yaradılmış məkan adlarından istifadə edərək hadisələrin konkretliyini təmin edir, obrazların xarakterini və sosial-mədəni kontekstini göstərir. Toponimlər vasitəsilə Rəhimov həm oxucuda canlı təsəvvür yaradır, həm də tarixi, mədəni və emosional qatları bədii mətnə daxil edir. Bu yanaşma onun əsərlərində məkanın yalnız dekorativ element olmadığını, eyni zamanda süjet və obrazların inkişafında struktur komponent kimi funksional olduğunu göstərir.

Beləliklə, Süleyman Rəhimovun toponim istifadəsi onun bədii təxəyyülü və realizm anlayışının harmonik birləşməsini nümayiş etdirir.

TƏDQİQAT METODU

Tədqiqat zamanı təsviri, semantik təhlil metodu, kontekstual analiz və müqayisəli metoddan istifadə olunmuşdur.

NƏTİCƏ

Rəhimovun onomastik seçimləri onun realist üslubunun mühüm göstəricisidir. Müəllif obrazların adlarını məqsədyönlü şəkildə seçərək, bir tərəfdən xalqın dil zənginliyini və milli düşüncə tərzini nümayiş etdirir, digər tərəfdən isə adlar vasitəsilə ideya və mənəvi məzmunu dərinləşdirir. O, bəzən adla obraz arasında uyğunluq yaratmaqla oxucuda harmoniya və tamlıq hissi formalaşdırır, bəzən isə ad və davranış arasında ziddiyyət yaradaraq insanın daxili təbəqələrini və mənəvi ikililiyini açır.

Bu xüsusiyyətlər Süleyman Rəhimovun bədii üslubunun orijinallığını və dilə münasibətindəki yaradıcı yanaşmanı göstərir. Yazıçının əsərlərində onomastik vahidlər təkcə nominativ vasitə deyil, həm də bədii-estetik alət, psixoloji açar və mədəni simvol funksiyasını yerinə yetirir. Nəticə etibarilə, Rəhimovun onomastik sistemi onun realizminin və milli ruhunun ifadə vasitəsidir, bu isə onun yaradıcılığını Azərbaycan ədəbiyyatında özünəməxsus edən əsas cəhətlərdən biridir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. A. Qurbanov. Azərbaycan onomologiyasının əsasları, I cild, Bakı: AMEA, 2019, 280 s.
2. A. Qurbanov. Azərbaycan onomologiyasının əsasları, II cild, Bakı: AMEA, 2019, 432 s.
3. Ə.N.Mikayılova. Onomastik vahidlərin üslubi imkanları (XIX əsrin ikinci yarısında yaranmış nəsr əsərlərinin materialları əsasında linqvistik tədqiqat), Memar Nəşriyyat-Poliqrafiya, Bakı, 2008, 302 s.
4. F. B. Bağırova. S.Rəhimovun əsərlərinin onomastik leksikası. Bakı: 1995
5. S.Rəhimov. Seçilmiş əsərləri, I cild, Bakı, Şərq-Qərb, 2005, 288 s.
6. S.Rəhimov. Seçilmiş əsərləri, II cild Bakı, Şərq-Qərb, 2005, 312 s.

SƏMƏD VURĞUNUN POETİK DİLİNDƏ ATALAR SÖZÜ VƏ MƏSƏLLƏRİN LEKSİK-SEMANTİK XÜSUSİYYƏTLƏRİ

ƏFRANƏ HƏSƏNLİ
Bakı Dövlət Universiteti Qazax filialı
Filologiya/Azərbaycan
efrane.hesenova96@gmail.com
QAZAX, AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ

Səməd Vurğunun poetik dilində atalar sözləri və məsəllər leksik-semantik zənginlik yaradır. Şair xalq düşüncəsini və mənəvi dəyərlərini əks etdirmək üçün əsərlərində təbii olaraq bu paremioloji vahidlərdən istifadə edir. Məsəllər poeziyasında fikirləri daha dəqiq və təsirli şəkildə ifadə etməyə xidmət etməklə yanaşı, milli kimliyin möhkəmlənməsinə də töhfə verir. Vurğun bu vahidləri orijinal formada qoruyub saxlayır, lakin bəzən kontekstual dəyişikliklərə də yol verir. Məsəllər poetik təsviri vasitələr kimi fəaliyyət göstərir və obrazlar yaradır. Beləliklə, paremioloji vahidlər Vurğunun yaradıcılığında xalq ruhuna və bədii təsirə nail olmaq üçün mühüm rol oynayır.

AÇAR SÖZLƏR: Səməd Vurğun-1, atalar sözləri-2, üslub-3

GIRIŞ

Səməd Vurğun, Azərbaycan poeziyasının simvolik zirvələrindən biri olaraq, şeirlərində vətən sevgisini, azadlıq arzusunu və insanlıq idealını ustalıqla birləşdirmişdir.Onun "Azərbaycan"şeiri milli kimliyin poetik manifestinə çevrilərək, hər bir Azərbaycanlıda vətənpərvərlik hisslərini coşdurmağa davam edir.Vurğunun dramaturgiya sahəsindəki yenilikçi yanaşmaları, xüsusilə "Vaqif" və "Fərhad və Şirin" pyesləri,

Azərbaycan teatr sənətinin inkişafında dönüş nöqtəsi rolunu oynamışdır.Səməd Vurğunun irsi, milli-mənəvi dəyərlərimizin qorunub saxlanması və gələcək nəsillərə ötürülməsi baxımından hələ də aktual bir araşdırma sahəsi olaraq qalmaqdadır. Vurğunun dilçilik fəaliyyəti, xüsusilə əcnəbi mənşəli sözlərə qarşı apardığı mübarizə, Azərbaycan ədəbi dilinin saflığının qorunmasında mühüm tarixi missiya yerinə yetirmişdir.Şairin müharibə illərində yazdığı "Şairin andı", "Bakının ulduzları" və digər poemaları onun vətəndaşlıq mövqeyinin, cəsarətinin və xalqına bağlılığının parlaq nümunələri kimi ədəbi yaddaşda yaşayır. Səməd Vurğunun yaradıcılığı, sadəcə bədii əhəmiyyət daşımır, həm də milli tarixin müxtəlif dövrlərinin, ictimai-siyasi proseslərin poetik əks etdirildiyi mürəkkəb və çoxqatlı bir mətn kimi dəyərləndirilməlidir.Onun irsinin tədqiqi, həm də müasir Azərbaycan ədəbiyyatşünaslığının metodoloji yenilənməsi, yeni təhlil yanaşmalarının tətbiqi baxımından zəngin imkanlar açır.Səməd Vurğunun yaradıcılığı yazılı ədəbiyyatla şifahi xalq sənətinin vəhdətinin ən uğurlu nümunələrindən biri kimi dəyərləndirilə bilər. Onun şeirlərinin fərqləndirici cəhəti emosional səmimiyyət, xalqa yaxınlıq, sadə ifadə tərzi, təbii fikir axını və aydın dildir. Vurğunun bədii aləminin gücü xalqın daxili dünyasından və düşüncə tərzindən qaynaqlanır. Şifahi xalq ədəbiyyatı sadə görünməsinə baxmayaraq, dərin hikmət və fəlsəfi məzmun daşıyır. Məhz bu xüsusiyyət – xalq sənətinə sadiqlik – Səməd Vurğunun poeziyasını möhtəşəmləşdirir. Məsələn, şairin "Komsomol" poemasında bir neçə nümunəni nəzərdən keçirə bilərik;

"Fəqət nə etmək ki, belədir insan
Əziz dostlarından küsər bir zaman" (Vurğun, 2005).

Bu nümunədəki paremioloji vahid şifahi xalq ədəbiyyatında intensiv rast gəldiyimiz "uman yerdən küsərlər" ifadəsdir.

-*"Xeyr! Bu dünyada hər şeydən qabaq*
İgidə ehtiyat və inad gərək"... (Vurğun, 2005).

Bu nümunədəki diqqətə çatdırılmış məna isə "Ehtiyat igidin yaraşığıdır" paremioloji vahidindəki məna ilə eynilik təşkil edir.

-"Cəlal: İki qılınc bir qına sığmaz,
Bütün vəziyyəti ölçüb biç, bir az"... (Vurğun, 2005).

Bu misrada verilən fikir isə *"İki qoçun başı bir qazanda qaynamaz"* atalar sözü ilə uyğunlaşır.

Şifahi xalq yaradıcılığının bir qolu olan paremioloji vahidlər yazılı ədəbiyyatda fikirlərin daha ifadəli və aydın çatdırılmasına imkan yaradır. Atalar sözləri söz və frazeoloji birləşmələr kimi stabil quruluşa malikdir – hazır şəkildə işləndikləri üçün frazeoloji vahidlərlə paralellik təşkil edirlər. Dilimizdə atalar sözlərinin yalnız az bir qismi struktur və mənaca modifikasiya edilərək nitq vahidi və ya dil vahidi formasına salınmışdır. Belə xüsusiyyətlərə malik paremioloji vahidlər Azərbaycan dilinin frazeoloji fondunun zənginləşməsinə töhfə verən əsas komponentlərdən biri hesab olunmalıdır. Aydın görünür ki, Səməd Vurğunun bədii irsi təkcə forma və məzmun baxımından deyil, həm də xalqiliyə bağlılığı, ictimai dilə sadiqliyi və milli ruhu əks etdirməsi ilə seçilir. Belə universal düşüncə tərzinə malik şairin sevgi dolu lirikası, folklor ənənələrindən qüvvət alan istedadı və bu istedadın təzahürü olan mənalı, təmiz, nəğməli və eyni zamanda sadə xalq dilindəki yaradıcılığı onu əbədi şairlik zirvəsinə yüksəltmişdir. Atalar sözləri və məsəllər Səməd Vurğunun əsərlərinə xüsusi çalar qatmışdır. Fikrimizcə, şairi xalqın sevgisini qazandıran əsas amil məhz onun sənətindəki sadəlik və xalqa yaxınlıq olmuşdur. "Atalar sözləri və məsəllər onu yaradan və qoruyub saxlayan xalqın tarixini, arzu və istəyini, inam və etiqadını, bütün mənəvi dəyərlərini özünəxas bir formada əks etdirən xüsusi dəyərə sahib bir xəzinədir" (Əlizadə,1985).

Xalqın əsrlər boyu yığılmış təcrübəsi, həyat mübarizəsi, zəhməti, düşüncələri və həyata baxışı atalar sözlərində geniş və dərin məzmunla ifadə olunmuş ədəbi janr nümunələridir. Bu paremioloji vahidlərin kökündə xalqın mədəni irsi, düşüncə tərzi, eləcə də aid olduğu dövrün ictimai-siyasi durumu və insan münasibətlərinin mahiyyəti dayanır. Məhz bu səbəbdən atalar sözləri yalnız milli dünyagörüşünün bədii əksi deyil, həm də tarixi arxiv funksiyası daşıyır. Nümunə olaraq, Səməd Vurğunun şeirlərindən aşağıdakı misralara nəzər salaq:

"Taleyinin suyu bulanıb başdan,
Qohumdan qonşudan, yaxın yoldaşdan.
Etibar görməyib bu yazıq qarı,
Nökərin canıdır, ağanın varı" (Vurğun, 2005).

"Bu misralardakı "Nökərin canıdır, ağanın varı" atalar sözü elə ağa-nökər münasibətləri dövrünün bədii formada ifadəsidir". Paremioloji vahidlərin obyektləri müxtəlif olur. Amma çoxmənalı paremioloji

vahidlərdə semantik oxşarlıq daha çox diqqəti cəlb edir. Bu semantik bənzərlik isə müxtəlif paremioloji vahidləri bir mərkəzdə topla bilir.

"Qulaq as, gör anan nə öyüd verir;
Şərəflə, vüqarla yaşayın ancaq.
Unudulmaz el yolunda canı qurban olanlar;
Bir anlıq səadət bir qərinədir.
Olmazmı qılıncda ağıl tədbiri
Ağılda bir qılınc kəsəri ola?
Daşlar atılanda meyvə kal düşər" (Vurğun, 2005).
"Nökərdən şah olmaz!"- "Deyərək getdi.
Qarışıb tünlüyə gözümdən itdi"... (Vurğun, 2005).
Hər zamanın bir hökmü var öz oğluna:
Baş əyməmək, basılmamaq fitrətdədir! (Vurğun, 2005).

"Çoxmənalı sözlərdə olduğu kimi, paremiyalarda da məcazi xüsusiyyət əsas sayılır. Məcazilik müxtəlif poetik fiqurlarla yaranır. Qeyd etmək lazımdır ki, paremiyaların məcaziliyində məcazlardan, tropların bütün növlərindən istifadə edilir. Lakin paremiyalarda çoxmənalılığı səciyyələndirən, onu daha qabarıq ifadə edə bilən –tropun metafora növüdür" (Əlizadə,1985).

TƏDQİQAT METODU

Qarşıya qoyulmuş məsələni həll etmək üçün istifadə edilmiş metod və materiallar göstərilir. Aparılmış elmi təcrübələr nəticəsində əldə edilən cədvəllər, blok-sxemlər, qrafiklər göstərilir. Bu bölmədə tədqiqat işinin səmərəliliyi açıqlanmır, ancaq aparılmış təcrübələr və onların nəticəsi açıqlanır. İlk növbədə, **təsviri (deskriptiv) metod**dan istifadə olunmuşdur. Məqalədə Səməd Vurğunun yaradıcılığı, onun poetik dili, paremioloji vahidlərdən istifadəsi geniş şəkildə təsvir edilir və faktlar ardıcıl şəkildə təqdim olunur.Bununla yanaşı, **leksik-semantik təhlil metodu** əsas aparıcı metodlardan biridir. Atalar sözləri və məsəllərin məna xüsusiyyətləri, onların kontekst daxilində qazandığı semantik çalarlar, çoxmənalılıq və məcazilik xüsusiyyətləri təhlil edilir.Məqalədə həmçinin **müqayisəli metod**dan istifadə edilmişdir. Məsələn, şairin misralarında işlədilən ifadələr xalq arasında mövcud olan atalar sözləri ilə müqayisə olunur ("İki qılınc bir qına sığmaz" – "İki qoçun başı bir qazanda qaynamaz" və s.).Digər mühüm yanaşma isə **kontekstual təhlil metodudur**. Paremioloji vahidlərin konkret poetik mühitdə necə işlədiyi, hansı funksiyanı yerinə yetirdiyi məhz kontekst daxilində araşdırılır.Ümumiyyətlə, bu tədqiqatın metodoloji bazasını təsviri, leksik-semantik, müqayisəli və kontekstual təhlil metodlarının sintezi təşkil edir.

NƏTİCƏ

Tədqiqat göstərir ki, Səməd Vurğunun poetik dilində atalar sözləri və məsəllər leksik-semantik xüsusiyyətləri ilə seçilən mühüm bədii vasitələrdir. Şair bu paremioloji vahidləri əsərlərində təbii və səmərəli şəkildə işlədərək xalq təfəkkürünü, mənəvi dəyərləri və milli dünyagörüşünü əks etdirmişdir. Atalar sözləri Vurğunun şeirlərində fikrin daha dəqiq, qısa və təsirli ifadəsinə xidmət edir, həmçinin milli kimliyin güclənməsinə və xalq mədəniyyətinin qorunub saxlanmasına töhfə verir. Vurğun atalar sözlərini əsasən orijinal formada saxlamaqla yanaşı, bəzən yaradıcılıq kontekstinə uyğun olaraq semantik və struktur dəyişikliklərə də yol vermişdir. Bu yanaşma onun folklor irsinə dərin bələdliyini və bədii istedadını nümayiş etdirir. Paremioloji vahidlərin şairin dilində işlənməsi onun yaradıcılığının xalqiliyini, sadəliyini və eyni zamanda bədii təsir gücünü artıran amillərdəndir.Beləliklə, Səməd Vurğunun poetik dilində atalar sözləri və məsəllər yalnız leksik baxımdan deyil, həm də semantik cəhətdən əsərlərin bütövlüyünə və estetik dəyərinə xidmət edən mühüm komponentlərdir. Bu vahidlərin tədqiqi şairin xalq yaradıcılığı ilə əlaqələrinin, eləcə də Azərbaycan poeziyasının inkişaf xüsusiyyətlərinin daha dərindən öyrənilməsinə imkan yaradır.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1.Adilov, M.İ. Qanadlı sözlər /M.İ.Adilov. – Bakı: Elm və təhsil, –2019. – 456
2.Əlizadə Z.Ə. Azərbaycan atalar sözlərinin həyatı / Z.Ə.Əlizadə. – Bakı: Yazıçı, – 1985. – 245 s.
3.Vurğun, S. Seçilmiş əsərləri: [5 cilddə] / S. Vurğun. – Bakı: Şərq-Qərb, – c.1. – 2005. – 264 s.
4. Vurğun, S. Seçilmiş əsərləri: [5 cilddə] / S. Vurğun. – Bakı: Şərq-Qərb, – c.2. – 2005. – 248 s.
5. Vurğun, S. Seçilmiş əsərləri: [5 cilddə] / S. Vurğun. – Bakı: Şərq-Qərb, – c.3. – 2005. – 424 s.

TELEVİZİYA MƏKANINDA FORMAT ADAPTASİYASI VƏ MÜƏLLİF HÜQUQU
FORMAT ADAPTATION IN TELEVISION LANDSCAPE AND COPYRIGHT

AYNURƏ HÜSEYNOVA
Azərbaycan Dillər Universiteti/Filologiya
/ Beynəlxalq jurnalistika/fil.f.d., dos.
huseynova.aynure@adu.edu.az
BAKI, AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ

Televiziya proqram formatları qlobal media bazarında yüksək iqtisadi dəyərə malik əqli mülkiyyət obyektlərindən biri kimi çıxış edir. Formatların müxtəlif ölkələrə satılması və milli televiziya məkanına uyğunlaşdırılması müəllif hüquqlarının tətbiqi ilə bağlı hüquqi mübahisələri aktuallaşdırmışdır. Müəllif hüququnun əsas prinsiplərinə görə ideya deyil, onun konkret ifadə forması qorunur. Bu səbəbdən televiziya formatının hansı hallarda müəllif hüququnun obyekti sayılması məsələsi nəzəri və praktik baxımdan mühüm əhəmiyyət daşıyır. Məqalədə televiziya formatlarının hüquqi mahiyyəti, beynəlxalq təcrübədə tətbiq olunan hüquqi yanaşmalar və Azərbaycan televiziya məkanında xarici formatların adaptasiya prosesi təhlil edilir. Araşdırma göstərir ki, Azərbaycan televiziya kanallarında yayımlanan bir sıra əyləncəli və intellektual proqramlar beynəlxalq formatların lisenziyalı və ya qeyri-rəsmi adaptasiyası əsasında hazırlanmışdır.

Açar sözlər: televiziya formatı, müəllif hüququ, ideya-ifadə prinsipi, adaptasiya, lisenziya, Azərbaycan televiziyası

Abstract

Television program formats constitute one of the most valuable intellectual property assets in the global media market. The international trade and adaptation of television formats have raised significant legal debates concerning copyright protection. According to the fundamental principles of copyright law, ideas are not protected; only their concrete expression is safeguarded. Therefore, determining under what circumstances a television format qualifies as a copyrightable work remains a crucial theoretical and practical issue. This article examines the legal nature of television formats, international legal approaches to their protection, and the adaptation of foreign formats within the Azerbaijani television landscape. The study reveals that several entertainment and quiz programs broadcast in Azerbaijan have been developed based on licensed or informal adaptations of internationally successful television formats.

Keywords: television format, copyright, idea-expression dichotomy, adaptation, licensing, Azerbaijani television

GIRIŞ

Qloballaşma prosesi televiziya sənayesində format ticarətinin sürətli inkişafına səbəb olmuşdur. XX əsrin sonlarından etibarən televiziya proqramlarının yalnız hazır məhsul kimi deyil, həm də "format" şəklində ixracı geniş yayılmışdır (Moran, 2009). Format ticarəti televiziya bazarının kommersiyalaşmasını gücləndirmiş və beynəlxalq lisenziya münasibətlərini formalaşdırmışdır.

Müəllif hüququ nəzəriyyəsində əsas prinsip ideya ilə ifadə arasındakı fərqin qorunmasıdır. Hüquqi qoruma yalnız konkret ifadə formasına şamil olunur (WIPO, 1996). Bu isə televiziya formatlarının qorunması məsələsini mürəkkəbləşdirir, çünki format əksər hallarda ideya, konsept və struktur elementlərinin kombinasiyasıdır. Televiziya (TV) formatları ilə bağlı müxtəlif ölkələrdə bir sıra mühüm məhkəmə işləri olmuşdur. Bu işlər əsasən ideya-ifadə prinsipi, orijinallıq meyarı, əhəmiyyətli oxşarlıq testi və formatın müəllif hüququ obyekti olub-olmaması məsələlərini əhatə etmişdir.

1. Televiziya formatlarının hüquqi mahiyyəti

Televiziya proqram formatı təkrarlana bilən struktur və dramaturji sxemə malik proqram modelidir. Format aşağıdakı elementləri əhatə edə bilər:

- proqramın adı və vizual identifikasiyası
- aparıcının rolu və funksiyası
- studiya dizaynı və səhnə quruluşu
- iştirakçı seçimi mexanizmi
- oyun qaydaları və mərhələlər

- ssenari strukturu
- musiqi və qrafik elementlər

Beynəlxalq praktikada formatın qorunması əsasən müqavilə hüququ və lisenziya mexanizmləri vasitəsilə həyata keçirilir (Marshall, 2004). Müəllif hüququ yalnız o halda tətbiq olunur ki, format konkret və orijinal ifadə formasında sabitləşdirilmiş olsun.

2. Beynəlxalq təcrübə

ABŞ və Avropa məhkəmə təcrübəsində televiziya formatlarının qorunması məsələsi bir neçə dəfə mübahisə predmeti olmuşdur. ABŞ-da məhkəmələr əsasən "idea-expression dichotomy" prinsipinə əsaslanır (Goldstein, 2011). Avropa hüquq sistemində isə orijinallıq meyarı əsas götürülür (Mazziotti, 2012).

Qlobal televiziya sənayesində formatların qorunması üçün FRAPA (Format Recognition and Protection Association) kimi təşkilatlar fəaliyyət göstərir (FRAPA, 2014).

3. Azərbaycan televiziya məkanında format adaptasiyası

Azərbaycan televiziya məkanında 2000-ci illərdən etibarən beynəlxalq formatların adaptasiyası geniş yayılmışdır. Bu adaptasiyalar əsasən əyləncə, musiqi və intellektual yarış proqramlarını əhatə etmişdir.

3.1. "Kim milyoner olmaq istəyir?"

Bu proqram "Who Wants to Be a Millionaire?" (Böyük Britaniya, 1998) formatının Azərbaycan versiyasıdır. Layihə ITV Studios tərəfindən yaradılmışdır və bir çox ölkədə lisenziyalı şəkildə yayımlanmışdır (Moran, 2009). Bu şou 2000-ci illərin sonlarından başlayaraq Azərbaycan efirində yayımlanmağa başlamışdır və əsas məqsədi iştirakçıların suallara cavab verərək yüksək pul mükafatı qazanmasıdır. Verilişin əvvəlki adı Azərbaycan televiziya auditoriyası üçün uyğunlaşdırılmış "Milyonçu" idi. 2021-ci ildən etibarən format yenidən yayıma qayıdarkən adı "Milyonların Şousu" olaraq dəyişdirildi. Lakin Azərbaycan kontekstində real pul dəyərləri fərqli olduğundan, adın dəyişdirilməsi formatın yerli şəraitə uyğunlaşdırılması məqsədi daşıyır – real mükafat məbləğinə baxmayaraq tamaşaçıya daha bərabər və cəlbedici təəssürat yaratmaq üçün "Milyonların Şousu" ifadəsi istifadə olunur Azərbaycan versiyası əsasən lisenziyalı şəkildə hazırlanıb və beynəlxalq formatın əsas strukturu qorunub, yalnız milli kontekstə uyğun elementlər əlavə olunub. İTV kanalında yayımlanan "Milyonların Şousu" verilişin aparıcısı DJ Fatehdir (Məmmədəli Məmmədov).

3.2. "Səs Azərbaycan"

"The Voice" (Niderland, 2010) formatının Azərbaycan adaptasiyasıdır. Format Talpa Media tərəfindən yaradılmış və qlobal miqyasda lisenziyalaşdırılmışdır (Mazziotti, 2012). Şou 2011-ci ildən Azərbaycan televiziyalarında yayımlanmağa başlayıb. İTV-də yayımlanan "Səs Azərbaycan" beynəlxalq formatın lisenziyalı adaptasiyası olduğu üçün müəllif hüquqları qorunmuşdur.

3.3. "Maşın Şou"

"Big Brother" və interaktiv SMS səsvermə mexanizminə əsaslanan realiti-şou modellərinin elementlərini özündə birləşdirən layihə kimi qiymətləndirilə bilər (Moran, 2009). "Maşın Şou" Azərbaycanda ilk dəfə 2010-cu illərin əvvəllərində "Lider TV"yayımlanıb və aparıcısı Murad Dadaşov idi.

3.4. "Survivor Azərbaycan" tipli layihələr

"Survivor" (İsveç, 1997; daha sonra ABŞ və Türkiyə versiyaları) formatına əsaslanan layihələr regional televiziya bazarına təsir göstərmişdir (Marshall, 2004). 2005-ci ildə ATV kanalında yayımlanan "Qəfəs" formatı iştirakçıların müəyyən müddət qapalı məkanda yaşadığı və müxtəlif sınaqlardan keçdiyi realiti-şou modelidir. Bu layihə konseptual olaraq "Big Brother" tipli realiti-şoulara bənzəyir və Azərbaycan televiziya məkanında adaptasiya edilmişdir. Formatda studiya dizaynı, kameraların yerləşdirilməsi, iştirakçıların gündəlik fəaliyyətlərinin izlənməsi və interaktiv səsvermə mexanizmi müəllif hüququ ilə qorunan elementlərə aiddir. Ancaq "Qəfəs" realiti-şousu ATV-də müəyyən dövrdə yayımlanmış, lakin tənqidlər və ictimai rəylər fonunda sonradan dayandırılmış bir layihə idi.

3.5. Musiqi və istedad yarışmaları

"Pop Idol", "X Factor", "Got Talent" kimi formatların konseptual təsiri Azərbaycan televiziya layihələrində müşahidə olunur (Moran, 2009). 2000-ci illərdə yayımlanan "Ulduz / Azeri Star" formatı əsasən gənc və istedadlı ifaçıların seçimi, məşqlər və səhnə performansları üzərində qurulan yarışmadır. Bu tip layihələr iştirakçıların vokal qabiliyyətlərini nümayiş etdirməsinə, həm peşəkar münsiflərə, həm də tamaşaçı səsverməsinə əsaslanaraq irəliləməsinə şərait yaradır.

3.6. **"Səni Axtarıram / Жди Меня"**

Uzun müddət əlaqəsi kəsilmiş insanları tapmaq və yenidən bir araya gətirməyə yönəlmiş realiti-şou formatıdır. Orijinal format Rusiya "Первый канал" tərəfindən yaradılmışdır. Azərbaycan versiyası

Xoşqədəm Hidayətqızı tərəfindən aparılmış və milli auditoriyaya uyğunlaşdırılmışdır. Adaptasiya vizual təqdimat, ssenari strukturu və aparıcının rolu ilə fərqlənir. Hüquqi baxımdan qoruma yalnız konkret vizual, ssenari və interaktiv elementlərə şamil olunur

4. Hüquqi qiymətləndirmə

Yeni televiziya şousunun yaradılması prosesində ümumi elementlərdən istifadə ilə digər formatlardan xüsusi elementlərin kopyalanması arasında həmişə qeyri-müəyyən bir sərhədd mövcuddur. Nəticədə, TV formatlarının qanuni kopyalanması və müəllif hüquqlarının pozulması üçün beynəlxalq hüquqi çərçivə yoxdur və bu məsələ ilə bağlı məhkəmə təcrübəsi qeyri-bərabər olur. "Survive!" və Big Brother formatları ilə bağlı məhkəmə işi 2001-2004-cü illərdə Niderland məhkəmələrində baxılmış və televiziya formatlarının müəllif hüququ ilə qorunması sahəsində mühüm presedent formalaşdırmışdır. Mübahisə "Castaway Television Productions" ilə "Endemol" arasında baş vermişdir.

Televiziya tarixində "format oğurluğu" ilə bağlı bir neçə mübahisə olmuşdur, lakin ən çox müzakirə edilən işlərdən biri "Survive!" – Big Brother işi hesab olunur. İddiaçı tərəf "Survive!" formatının struktur elementlərinin "Big Brother" layihəsində qanunsuz şəkildə istifadə edildiyini iddia etmişdir. Məhkəmə isə müəyyən etmişdir ki, televiziya formatı ideyadan artıq, konkret və strukturlaşdırılmış konsepsiya şəklində təqdim olunduğu halda müəllif hüququ ilə qoruna bilər. Bununla belə, iş üzrə qərarda vurğulanmışdır ki, realiti-şou janrına xas ümumi elementlərin oxşarlığı müəllif hüququ pozuntusu yaratmır və pozuntu yalnız qorunan elementlərin spesifik və orijinal kombinasiya səviyyəsində kopyalanması sübuta yetirildikdə mümkündür.

2004-cü ildə Ali Məhkəmənin qərarı ilə iddia rədd edilmiş və beləliklə, televiziya formatlarının hüquqi müdafiəsində ideya–ifadə fərqləndirməsi prinsipinin tətbiqi bir daha təsdiq olunmuşdur.

Azərbaycan Respublikasının "Müəlliflik hüququ və əlaqəli hüquqlar haqqında" Qanununa əsasən ideyalar müəllif hüququ ilə qorunmur. Bu baxımdan televiziya formatının qorunması üçün onun konkret və orijinal ifadə formasında təsbit edilməsi vacibdir.

Format adaptasiyası aşağıdakı hallarda hüquq pozuntusu yarada bilər:

Strukturun tam surətdə köçürülməsi

Oyun mexanizminin dəyişdirilmədən istifadəsi

Vizual və ssenari elementlərinin eyniliyi

Lisenziyalı adaptasiya isə hüquqi baxımdan legitim hesab olunur (WIPO, 1996).

Nəticə

Televiziya proqram formatları müasir media sənayesində mühüm iqtisadi və hüquqi əhəmiyyətə malikdir. Müxtəlif yurisdiksiyalardan olan qərarlar işığında TV formatının müəllif hüququnun pozulub-pozulmadığını müəyyənləşdirmək üçün 4 mərhələli testdən istifadə edilə bilər. Birincisi, iddiaçının formatı müəllif hüququ əsəri kimi müəyyənləşdirilə bilməsi üçün araşdırılmalıdır, sonra mübahisəli formatların hər biri əsas elementləri üçün araşdırılacaq və həmin əsas elementlər hansılarının üst-üstə düşdüyünü görmək üçün müqayisə ediləcək. Üçüncü mərhələ olaraq oxşar əsas elementlərin unikallığı qiymətləndirilməlidir. Nəhayət, oxşar elementlərin miqdarı və keyfiyyəti bütövlükdə format işığında qiymətləndirilməlidir. Mübahisədə bütün mərhələlər keçirilibsə, TV formatının müəllif hüququnun pozulması olduğunu deyə bilərik.

Azərbaycan televiziya məkanında xarici formatların adaptasiyası qlobal televiziya sənayesinin təsirini göstərir. Lakin hüquqi baxımdan ideya ilə ifadə arasındakı sərhədin qorunması, lisenziya mexanizmlərinin şəffaf tətbiqi və milli hüquqi bazanın təkmilləşdirilməsi vacibdir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI:

FRAPA. (2014). The FRAPA report 2014: TV formats to the world. Cologne: Format Recognition and Protection Association.

Goldstein, P. (2011). International copyright: Principles, law, and practice (3rd ed.). Oxford University Press.

Marshall, P. D. (2004). New media cultures. London: Arnold.

Mazziotti, G. (2012). Copyright in the EU digital single market. Springer.

Moran, A. (2009). New flows in global TV. Intellect Books.

WIPO. (1996). WIPO Copyright Treaty (WCT). Geneva: World Intellectual Property Organization.

POLITICAL DIALOGICAL DISCOURSE IN THE COGNITIVE ASPECT

RAHIMLI AYTEN MUZAFFAR
Azerbaijan University of Languages
Department of English Stylistics phd student
E-mail: rehimliayten2@gmail.com

Abstract. This article examines how discourse operates at the cognitive level in political dialogue. The study argues that political discourse is not only a means of transmitting information, but also an important mechanism for reshaping cognitive structures. It is essential to combine experimental methods and data analysis to investigate the specific effects of political discourse on cognition.
To understand political discourse more comprehensively, interdisciplinary approaches should be used, using empirical methods such as behavioral experiments, brain imaging, and big data analysis alongside qualitative analyses. Such an approach can lead to a more precise identification of the mechanisms by which political discourse influences cognitive structures and, consequently, social and political actions.
Keywords: *political discourse, cognitive linguistics, discourse analysis, conceptual metaphor.*

I. INTRODUCTION

In the modern information society, political dialogue is no longer limited to traditional parliamentary or official events, but is widely present in the media, social platforms and everyday communication. With the development of communication technologies, the scope and speed of political discourse have expanded significantly. In traditional studies, political discourse has been analyzed mainly in terms of rhetoric or communication effects, while in recent years the development of cognitive linguistics is characterized by new theoretical tools for understanding political dialogue. Political dialogic discourse not only reflects reality, but also constructs the reality through cognitive mechanisms.
Cognitive linguistics is based on the formation of meaning not in an abstract way, but in interaction with real experiences, social contexts and mental structures. Thus, political discourse can be understood as a process in which political actors use linguistic resources to create certain understandings and interpretations in the minds of their audiences. In addition, the role of conceptual metaphors in political language is very important. Metaphors help people understand complex and abstract concepts through concrete experiences. As a result, the purposeful use of metaphors can lead to the formation of political attitudes and even behaviors. Therefore, examining political discourse from a cognitive perspective not only helps to better understand the mechanisms of language, but also allows for a deeper analysis of how political beliefs, attitudes and decisions are formed. This approach, by creating a bridge between linguistic analyses and cognitive empirical research, can ultimately lead to the development of theoretical frameworks in the study of political discourse.

II. THE COGNITIVE NATURE OF POLITICAL DISCOURSE

Political discourse is one of the most important areas of social interaction in which individuals, groups, and institutions exchange ideas, interests, and values. Examining this type of discourse from a cognitive perspective helps us understand how the human mind processes political information, how meaning is constructed, and how beliefs and decisions are formed. “Any discourse, including political discourse, is essentially a cognitive phenomenon, since it is associated with the reproduction and transmission of knowledge” [1, 1620] .
Political dialogue is not only about the transmission of information, but also about emotional expression. Political discourse manifests itself in two aspects at the cognitive level.On the one hand, it helps to simplify complex information and makes it easier for the public to understand. On the other hand, this factor also leads to the emergence of biases and information manipulation. Therefore, the process of improving critical thinking is very important for understanding political discourse.
Finally, cognitive analysis of political discourse suggests that awareness of mental processes is essential to improving the quality of that discourse. Teaching critical thinking, reducing cognitive biases, and encouraging active listening can help create a healthier space for the exchange of ideas. In such a space, people not only express their own ideas but also try to understand the ideas of others.
In general, the cognitive approach to political discourse opens up new horizons for understanding the complexity of human communication and shows that politics is not just an arena of power, but a field of interaction of minds and meanings. “Political discourse consists not only of speeches of political leaders,

but also it plays the role of the main tool for influencing public opinion, ensuring the spread of political ideologies and presenting different ideological frames to society" [2, 118] . The cognitive mechanisms of political discourse differ depending on cultural backgrounds. For example, the concept of power, the collective and the individual affect how discourse is interpreted. Cross-cultural studies help to reveal the universality and specificity of political discourse. In public policy discussions, different political actors fight for the right to interpret politics through competing framings. During elections, political discourse often enhances emotional expression in order to increase support and participation.

III. POLITICAL DIALOGUE IN COGNITIVE LINGUISTICS

Cognitive linguistics posits that language and thought are inseparable. People organize experience through language and understand the world through cognitive structures. "The main goal of cognitive linguistics is to determine the contribution of language in order to mental processes. Therefore, cognitive linguistics has both general and specific goals and various tasks to achieve these goals" [3, 1250] . In political contexts, language becomes an important tool for the formation of political reality. Social cognitive theory emphasizes the interaction between individual cognition and the social environment. Political dialogue is not only an individual expression, but also a reflection and repetition of the cognitive structure of a social group. The public, faced with complex political information, often relies on heuristics for judgment. Political discourse reduces comprehension costs and increases information uptake by simplifying expressions and repeating key words.

People tend to accept information that is consistent with their existing views. Political discourse often uses this to reinforce existing beliefs. Traditional media play a significant role in shaping discourse and agenda-setting, and their modes of expression influence public perception. Social media are changing the structure of political dialogue, making discourse more fragmented and emotional, while also reinforcing the echo chamber effect.

From a cognitive perspective, language is not simply a means of transmitting information, but rather a reflection of individuals' mental structures and ways of thinking. In political dialogue, vocabulary, metaphors,- and conceptual frames play an important role in shaping the audience's understanding. A key concept in this area is related to cognitive framing. People interpret information in terms of the frames they already have in their minds. These frames are shaped by personal experiences, culture, media, and education. Thus, in political discourse, two people can perceive the same message very differently because they have different cognitive frames. In addition, cognitive biases play an important role in political discourse. Bias causes people to pay more attention to views that are consistent with their beliefs and to resist opposing views. This can lead to the polarization of society and a decrease in the quality of discourse. Memory also plays a key role in this process. People selectively remember political information and often forget details that are inconsistent with their beliefs. This always accompanies some kind of distortion in the reconstruction of reality in people's minds. From a cognitive perspective, emotions are also an integral part of political discourse. Emotions such as fear, anger, or hope can influence the way information is processed and even overshadow rational decision-making. Politicians and the media are often aware of this and use emotional messages to achieve greater impact.

IV. THE ROLE OF COGNITIVE METAPHOR IN POLITICAL DISCOURSE

Metaphors can simplify complex concepts and make abstract political issues concrete. In the context of modern linguistics and cognitive science, metaphor is no longer seen as a mere rhetorical device, but rather as an essential mode of human cognition. Cognitive linguistics proposes that people understand complex concepts by relating familiar domains of experience to abstract domains, a process called cognitive metaphor. Conceptual metaphor is a way of understanding one abstract domain in terms of another familiar domain. "The basis of this theory is the proposition that metaphor, by its very nature, is a primary mechanism by which we understand abstract concepts and conceive abstract ideas and judgments" [4, 48-49] .

Political discourse, as a highly abstract and complex system of expression in social life, relies extensively on metaphor to construct meaning, disseminate ideas, and influence public perception. Therefore , it is crucial to examine the role of cognitive metaphor in political discourse in order to understand the mechanisms of political communication. In political contexts, many key concepts (e.g., power, institutions, and development) are inherently abstract, making metaphor an indispensable cognitive tool. Political issues often involve complex domains such as economics, law, and international relations that are difficult for the general public to directly understand. Metaphors can transform these abstract concepts into concrete and vivid images, making them more easily accepted. Metaphors not only convey information, but also shape

how people understand issues, a phenomenon known as the "framing effect." Different metaphors activate different cognitive patterns and thus influence public judgment.

Metaphors can evoke emotions in the audience through vivid expression, thereby increasing persuasiveness. "Metaphor is a universal phenomenon in all languages and has high application value. It can visualize abstract concepts and make boring language interesting" [5, 89] . Cognitive metaphors gradually become certain ways of thinking through long-term use, thereby influencing social ideology. In political competition, different groups often build different metaphorical systems around the same issue in order to fight for discourse dominance. Different metaphors correspond to different policy positions. Through the selection and dissemination of metaphors, each side tries to influence public perception and thus gain support.

In general, cognitive metaphors play an indispensable role in political discourse. They not only help people understand complex political realities, but also have a profound impact on public perception and social opinion by constructing cognitive frames, evoking emotions, and shaping ideologies. In today's information-driven world, cognitive metaphors have become an important tool for political communication. However, their manipulative potential and limitations remind us that we need to develop our ability to discern the meaning and intent behind metaphors and rationally analyze them when receiving political information. Future research could further explore the differences in cognitive metaphors and their impact in different cultural and media environments.

V. CONCLUSION

In examining political dialogic discourse from a cognitive perspective, mental processes and perceptual mechanisms play a fundamental role in the formation, interpretation and reproduction of meaning in political interactions. In this discourse, language is not only a means of transmitting messages, but also a constructor of social and political reality, through which political actors give meaning to the world within certain frameworks. Political dialogue is effective when it is based on mutual understanding, acceptance of the other and cognitive interaction between the parties; otherwise, discourse becomes a means of exerting power and reproducing ideology. On the other hand, the cognitive dimension of political discourse emphasizes that meaning is not fixed, but rather constantly changing and reinterpreted under the influence of social, cultural and mental contexts.

Finally, it can be concluded that cognitive analysis of political discourse allows for a deeper understanding of how relationships, decisions, and political interactions are formed and can help improve the quality of political communication, reduce misunderstandings, and strengthen a culture of dialogue in societies.

REFERENCES

1. Sagadiyeva, Z., Satenova, S., Yeskindirova, M., Alshinbayeva, Z., & Konyratbayeva, Z. (2021). Political discourse: the translation aspect. Journal of Language and Linguistic Studies, 17(3), 1615-1627. Doi: 10.52462/jlls.117
2. Habibova, K. (2025). Modern society and the transformation of language: Manipulation and argumentation in political discourse. Silk Road, (2), 114–124. https://doi.org/10.30546/SI.2025.2.5.245
3. Dohman, Ü. (2022). Cognitive linguistics with its theoretical aspects. Uludağ University Faculty of Arts and Sciences Social Sciences Journal, 23(43), 1235-1259. DOI: 10.21550/sosbilder.1037676
4. Quliyeva, G. (2024). Metaphor in cognitive linguistics. Scientific Work: International Scientific Journal, 18(2), 48–53. https://doi.org/10.36719/2663-4619/99/48-53
5. Chen, Y., & Zhang, Y. (2020). Cognitive-pragmatic strategies for English translation of colloquial metaphors in political discourse. International Journal of Applied Linguistics and Translation, 6(3), 89–95. https://doi.org/10.11648/j.ijalt.20200603.16

THE EMBODIED SEMANTICS OF POLITENESS IN AZERBAIJANI: A COGNITIVE LINGUISTIC ANALYSIS

HEYDAR GULIYEV
Humanities and Social Sciences/Translation and Philology
Heydar.Guliyev@au.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract: This study explores how politeness in the Azerbaijani language is constructed through embodied cognitive mechanisms, integrating insights from cognitive linguistics and politeness theory. By analyzing linguistic expressions and non-verbal behaviors, the research reveals that Azerbaijani politeness strategies are deeply rooted in embodied experiences and cultural contexts. Utilizing a qualitative methodology, the study examines authentic conversational data, focusing on conceptual metaphors, image schemas, and deixis. Findings indicate that politeness in Azerbaijani is not merely a set of social conventions but reflects underlying cognitive structures shaped by bodily experiences and cultural norms. This research contributes to the broader understanding of how language, cognition, and culture interact in the construction of politeness.
Keywords: Politeness, Azerbaijani language, Embodied cognition, Cognitive linguistics, Conceptual metaphor, Image schema, Deixis, Cultural pragmatics

INTRODUCTION

Politeness is a fundamental aspect of human communication, facilitating social harmony and interpersonal relationships. While traditional studies have approached politeness from pragmatic and sociolinguistic perspectives, recent developments in cognitive linguistics offer new insights into how politeness is conceptualized and expressed. This study investigates the embodied semantics of politeness in the Azerbaijani language, aiming to uncover the cognitive and cultural underpinnings of polite expressions and behaviors.

The research addresses the following questions:

1. How are politeness strategies in Azerbaijani grounded in embodied cognitive structures?
2. What conceptual metaphors and image schemas underlie polite expressions in Azerbaijani?
3. How do cultural norms influence the embodiment and expression of politeness in Azerbaijani?

By exploring these questions, the study seeks to contribute to the understanding of the interplay between language, cognition, and culture in the construction of politeness.

METHODOLOGY

This qualitative study employs a cognitive linguistic approach to analyze politeness in Azerbaijani. The research integrates theoretical frameworks from cognitive linguistics, such as conceptual metaphor theory and image schema theory, with insights from politeness theory.

Data Collection

Data were collected from authentic Azerbaijani conversations, including:

- Recorded dialogues in various social settings (e.g., family gatherings, workplace interactions).
- Transcripts from Azerbaijani television programs and interviews.
- Literary texts and online forums.

The selection focused on instances where politeness strategies were prominently employed.

Data Analysis

The analysis involved identifying and categorizing politeness expressions, examining their linguistic structures, and interpreting them through the lens of cognitive linguistic theories. Particular attention was given to the use of conceptual metaphors, image schemas, and deixis in conveying politeness.

Conceptual Metaphors in Politeness

The analysis revealed several conceptual metaphors underlying polite expressions in Azerbaijani:

- RESPECT IS DISTANCE: Using the formal “siz” instead of the informal “sən” to maintain social distance and show respect.
- POLITENESS IS SOFTNESS: Employing mitigating phrases like “zəhmət olmasa” ("if it's not too much trouble") to soften requests.
- SOCIAL HIERARCHY IS VERTICALITY: Expressions like “yuxarı başa keçin” (“please take the upper seat”) metaphorically elevate the addressee's status.

Image Schemas and Embodied Experience

Politeness expressions in Azerbaijani often reflect embodied experiences through image schemas:

- CONTAINER Schema: Using phrases that encapsulate requests or commands within polite forms.
- UP-DOWN Schema: Associating higher physical positions with greater respect or authority.

Deixis and Social Relationships

The use of deictic expressions, particularly pronouns, plays a significant role in signaling politeness:

- "Siz" vs. "sən": The choice between formal and informal second-person pronouns indicates the level of respect and social distance.
- Spatial deixis: Terms indicating proximity or distance are used metaphorically to express social closeness or detachment.

Multimodal Expressions of Politeness

Non-verbal behaviors complement verbal politeness strategies:

- Offering tea or food as a gesture of hospitality and respect.
- Standing up when greeting elders to show deference.
- Placing a hand on the chest as a sign of sincerity.

DISCUSSION

The findings of this study reveal that politeness in Azerbaijani is not merely a surface-level sociolinguistic strategy but a deeply embodied and cognitively grounded phenomenon. Drawing on the principles of cognitive linguistics—particularly embodiment (Evans, 2019), conceptual metaphor theory, and mental simulation—it becomes evident that polite expressions in Azerbaijani are structured by culturally shared cognitive schemas.

One of the central insights relates to the use of deictic pronouns such as "siz" (formal 'you') and "sən" (informal 'you'), which serve as linguistic markers of social distance, status, and respect. Their function aligns with the CONTAINER schema, where social proximity is metaphorically mapped onto spatial closeness or distance (Lakoff & Johnson, 1980). Addressing someone as "siz" places them at a respectful cognitive distance, maintaining boundaries associated with hierarchy or unfamiliarity. This finding is consistent with cross-linguistic studies in politeness where deictic choices are shown to reflect spatially metaphorized social hierarchies.

Furthermore, conceptual metaphors such as RESPECT IS ELEVATION and ANGER IS HEAT were identified in polite mitigation strategies, particularly in indirect speech acts and softened requests. For instance, expressions that metaphorically raise the addressee's status (e.g., honorifics, deferential verbs) can be interpreted through the UP IS GOOD metaphor, wherein higher spatial positioning equates with greater social value (Kövecses, 2010).

The role of ritualized politeness acts, like offering tea, also reflects the embodied nature of meaning-making. These acts engage not only linguistic but also sensorimotor and cultural cognition, reinforcing the idea that meaning is multimodal. Such routines are mentally simulated as acts of generosity and humility, thereby grounding abstract social intentions in concrete, bodily actions.

Additionally, mental spaces theory helps explain how speakers manage face and politeness dynamically by projecting alternative interactional realities—such as hypothetical politeness scenarios—through indirect or conditional structures. These projections reduce face threat while maintaining communicative intent, aligning with politeness theories (Brown & Levinson, 1987) and dynamic cognitive models (Fauconnier & Turner, 2002).

In sum, the Azerbaijani data confirm that politeness is a culturally embedded cognitive strategy that functions across linguistic, paralinguistic, and embodied channels. It operates through conceptual blending, metaphor, image schemas, and socio-cultural scripts, highlighting the need to study politeness beyond pragmatics alone and within an integrated cognitive-discursive framework.

This study has explored the phenomenon of politeness in the Azerbaijani language through the lens of cognitive linguistics, particularly focusing on embodied semantics and conceptualization. By analyzing how politeness is not simply a set of conventional phrases but a deeply embedded cognitive and cultural construct, the research provides an enriched understanding of how meaning is dynamically constructed in social interaction.

CONCLUSION

The analysis demonstrated that expressions of politeness in Azerbaijani—such as the use of formal and informal pronouns (siz vs. sən), indirect speech, mitigation strategies, and culturally grounded non-verbal acts like offering tea—are all manifestations of embodied cognitive processes. These linguistic forms

reflect image schemas (e.g., CONTAINER, PATH, SCALE), conceptual metaphors (e.g., RESPECT IS DISTANCE, STATUS IS ELEVATION), and cultural scripts that help speakers navigate social hierarchies, maintain harmony, and negotiate identities.

Importantly, the findings show that politeness is not solely rule-based or pragmatically learned but also shaped by bodily experience, mental simulation, and socio-cultural cognition. This supports the broader cognitive linguistic claim that language is a reflection of thought and social experience rather than a neutral coding system. The role of mental spaces and conceptual blending further reveals how Azerbaijani speakers construct polite meanings by mentally simulating alternative scenarios, thus managing face and intention with cognitive flexibility.

By situating politeness at the intersection of language, thought, and culture, this research contributes to the growing body of work in sociocognitive linguistics and provides a valuable framework for analyzing lesser-studied languages like Azerbaijani. It also highlights the need for future studies to incorporate multimodal data (gesture, tone, interactional rituals) and cross-linguistic comparisons to further unpack how embodied cognition operates in politeness systems across cultures.

Ultimately, the study confirms that politeness in Azerbaijani is both a product of culturally shaped cognition and a tool for shaping social experience, reinforcing the view that meaning is co-constructed, embodied, and deeply situated in everyday human interaction.

REFERENCES

1. Brown, P., & Levinson, S. C. (1987). Politeness: Some Universals in Language Usage. Cambridge University Press.
2. Evans, V. (2019). Cognitive Linguistics: A Complete Guide. Edinburgh University Press.
3. Fauconnier, G., & Turner, M. (2002). The Way We Think: Conceptual Blending and the Mind's Hidden Complexities. Basic Books.
4. Kövecses, Z. (2010). Metaphor: A Practical Introduction (2nd ed.). Oxford University Press.
5. Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). Metaphors we live by. Chicago: University of Chicago Press.

GÜNEY AZƏRBAYCAN FOLKLORUNUN ÖYRƏNİLMƏSİNDƏ MƏHƏMMƏDƏLİ FƏRZANƏNİN ROLU

LALƏ ŞABANOVA
AMEA Folklor İnstitutu, Baku, Azerbaijan
0000-0003-3266-2917

Xülasə: *Məhəmmədəli Fərzanə Azərbaycan folklorşünaslığında, xüsusilə Güney Azərbaycan mühitində mühüm iz qoymuş alimlərdən biridir. Onun fəaliyyəti əsasən folklor nümunələrinin toplanması, sistemləşdirilməsi, nəşri və elmi şəkildə tədqiqinə yönəlmişdir. Fərzanə folkloru yalnız ədəbi material kimi deyil, xalqın tarixi yaddaşını, dünyagörüşünü və milli-mənəvi dəyərlərini əks etdirən canlı irs kimi qiymətləndirmişdir. Bu yanaşma onun tədqiqatlarına dərin elmi və ideya məzmunu qazandırmışdır.*

Alimin folklora marağı uşaqlıq illərindən formalaşmış, xüsusilə anasının zəngin şifahi xalq yaradıcılığı bilikləri onun dünyagörüşünə güclü təsir göstərmişdir. Bu mühit Fərzanənin gələcək elmi istiqamətini müəyyənləşdirmiş və onu folklorşünaslıq sahəsinə yönəltmişdir. O, topladığı materialları yalnız qorumaqla kifayətlənməmiş, onları elmi dövriyyəyə daxil edərək geniş tədqiqat imkanları yaratmışdır.

Məhəmmədəli Fərzanə həmçinin milli azadlıq hərəkatında iştirak etmiş, bu dövrdə ədəbiyyat və folklor sahəsində fəal yaradıcılıq göstərmişdir. O, qısa müddət ərzində çoxsaylı məqalələr yazaraq Azərbaycan şifahi xalq ədəbiyyatının müxtəlif sahələrini işıqlandırmışdır. Xüsusilə "Kitabi-Dədə Qorqud" dastanının tanıdılması və yayılmasında mühüm rol oynamışdır.

Bütün bunlarla yanaşı, dövrün siyasi və mədəni çətinliklərinə baxmayaraq, Fərzanə milli irsin qorunması uğrunda mübarizə aparmışdır. Onun fəaliyyəti Azərbaycan folklorunun öyrənilməsi və gələcək nəsillərə çatdırılması baxımından böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Açar sözlər: *Fərzanə, folklor, Güney Azərbaycan, ədəbiyyat, AzərbaycanKeywords: information processing, intelligent system, evaluation of results, image processing*

THE ROLE OF MOHAMMADALI FARZANEH IN THE STUDY OF SOUTH AZERBAIJANI FOLKLORE

Abstract: *Mohammadali Farzaneh is one of the prominent scholars who has made a significant contribution to Azerbaijani folkloristics, particularly within the context of South Azerbaijan. His scholarly activity was mainly directed toward the collection, systematization, publication, and scientific study of folklore materials. Farzaneh approached folklore not merely as literary material, but as a living heritage reflecting the historical memory, worldview, and national-spiritual values of the people. This perspective endowed his research with profound academic and conceptual depth.*

The scholar's interest in folklore was shaped from an early age, with his mother's rich knowledge of oral folk traditions exerting a strong influence on his intellectual development. This environment played a decisive role in determining Farzaneh's future academic direction and led him toward the field of folkloristics. He did not limit himself to preserving collected materials; rather, he introduced them into academic circulation, thereby creating broader opportunities for scholarly research.

Mohammadali Farzaneh also participated in the national liberation movement and remained actively engaged in literary and folkloric scholarship during this period. Within a short time, he authored numerous articles covering various aspects of Azerbaijani oral folk literature. He played a particularly important role in the introduction and dissemination of the epic "The Book of Dede Korkut."

Despite the political and cultural challenges of his time, Farzaneh consistently struggled for the preservation of national heritage. His work holds great significance in terms of studying Azerbaijani folklore and transmitting it to future generations.

Keywords: *Farzaneh, folklore, South Azerbaijan, literature, Azerbaijan*

Giriş

Azərbaycan xalqının zəngin mənəvi irsinin mühüm tərkib hissələrindən biri olan folklor əsrlər boyu milli yaddaşın daşıyıcısı funksiyasını yerinə yetirmişdir. Xüsusilə Güney Azərbaycan folkloru həm tarixi şərait, həm də siyasi-mədəni məhdudiyyətlər səbəbindən spesifik inkişaf yolu keçmiş və uzun müddət sistemli şəkildə tədqiq olunmamışdır. Bu baxımdan, Güney Azərbaycan folklorunun toplanması, qorunması və elmi şəkildə öyrənilməsi məsələsi aktual elmi problemlərdən biri kimi çıxış edir.

Məhz bu istiqamətdə fəaliyyət göstərən tədqiqatçılar arasında Məhəmmədəli Fərzanənin xüsusi yeri vardır. O, folklor nümunələrinin toplanması və sistemləşdirilməsi ilə yanaşı, onların elmi təhlilinə də mühüm töhfələr vermişdir.

Məhəmmədəli Fərzanənin həyat və yaradıcılığı

Məmmədəli Qövsi Fərzanə altmış ildən artıq bir müddətdə ədəbiyyatşünas, tənqidçi və ictimai xadim kimi tanınmış görkəmli şəxsiyyətlərdən biridir. O, 1923-cü ildə elm və mədəniyyət mərkəzlərindən biri sayılan Təbriz şəhərində, çoxuşaqlı və maddi baxımdan çətin şəraitdə yaşayan bir ailədə dünyaya gəlmişdir. Ailənin iqtisadi imkanları məhdud olsa da, mənəvi mühiti olduqca zəngin idi. Məhz bu mühit gələcək alimin formalaşmasında mühüm rol oynamış, onun dünyagörüşünün və milli kimliyinin əsasını qoymuşdur. Fərzanə ilk bilik və tərbiyəni məhz ailə daxilində almış, burada ana dilinin incəliklərini dərindən mənimsəmişdir. Uşaqlıq illərindən etibarən doğma dilə qarşı xüsusi həssaslıq göstərən Fərzanə, bu dilin zənginliyini və ifadə imkanlarını erkən yaşlarından dərk etmiş, sonrakı elmi və yaradıcılıq fəaliyyətində də bu bağlılığı qoruyub saxlamışdır. Onun ana dilinə olan bu dərin münasibəti gələcəkdə folklor və ədəbiyyat sahəsində apardığı tədqiqatların əsas istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir.

Məhəmmədəli Fərzanənin təhsil yolu ilk olaraq fars dilində başlamışdır. O, mədrəsədə təhsil aldığı illərdə rəsmi olaraq fars dilində oxusa da, eyni zamanda ana dilinə xüsusi maraq göstərmiş, bu dildə oxumağa və yazmağa meyil etmişdir. Bu maraq onun gələcək elmi və ədəbi fəaliyyətinin əsas istiqamətlərindən birini təşkil etmişdir. Xüsusilə XVII əsr Azərbaycan şairi Əlican Qövsi Təbrizinin yaradıcılığı Fərzanəyə dərin təsir göstərmiş, onun poetik dünyagörüşünün formalaşmasında mühüm rol oynamışdır.

Gənclik illərində o, artıq yaradıcılıq fəaliyyətinə başlamış və "Qövsi" təxəllüsü ilə şeirlər qələmə almışdır. Bu fakt onun klassik ədəbi ənənəyə bağlılığını və milli ədəbi irsə marağını göstərir. Daha sonra Fərzanə Təbriz Universitetinin pedaqoji kurslarında təhsilini davam etdirmiş, burada da tədris prosesi əsasən fars dilində aparılmışdır. Təhsilini başa vurduqdan sonra mədrəsədə müəllim kimi fəaliyyət göstərməsi onun pedaqoji sahəyə də bağlı olduğunu göstərir. 1942-ci ildə isə o, Təbrizdə kitabxanada işləməyə başlamış və bu fəaliyyət onun elmi dünyagörüşünün daha da genişlənməsinə şərait yaratmışdır. Kitabxanada çalışdığı dövrdə latın və kiril əlifbalarını öyrənməsi Fərzanənin müxtəlif mənbələrə çıxış imkanlarını artırmış, onu daha geniş elmi mühitlə əlaqələndirmişdir.

Məhəmmədəli Fərzanənin formalaşmasında ailə mühiti xüsusi əhəmiyyət daşımışdır. Onun atası Təbrizin köklü və tanınmış nəslinə mənsub olmuş, anası isə Qaradağ bölgəsində yaşayan Çobanilər tayfasından idi. Bu iki fərqli mədəni mühitin sintezi gələcək alimin həm şəhər, həm də kənd folkloruna marağını artırmışdır. İlk təhsilini məhəllə məktəbi və mədrəsədə alan Fərzanənin xalq ədəbiyyatına olan dərin marağı isə əsasən anasının təsiri ilə yaranmışdır.

Fərzanə sonralar xatirələrində anasını xüsusi ehtiramla yad edərək qeyd edirdi ki, o, savadlı olmasa da, zəngin şifahi xalq ədəbiyyatı xəzinəsinə malik idi. Onun yaddaşında saysız-hesabsız nağıllar, dastanlar, atalar sözləri, bayatılar, tapmacalar və digər folklor nümunələri toplanmışdı. Bu mühitdə böyüyən Məhəmmədəli uşaqlıq illərindən etibarən anasından, eləcə də evlərinə gələn Qaradağ ağsaqqalları və ağbirçəklərindən eşitdiyi müxtəlif folklor nümunələrini diqqətlə dinləmiş və yaddaşında saxlamışdır.

Beləliklə, onun folklora olan marağı təsadüfi deyil, ailə mühitindən qaynaqlanan təbii və davamlı bir prosesin nəticəsi idi. Bu erkən təəssüratlar sonradan Fərzanənin folklorşünas kimi formalaşmasında və Güney Azərbaycan folklorunun öyrənilməsinə yönəlməsində həlledici rol oynamışdır.

Məktəb illərindən etibarən Məhəmmədəli Fərzanə yaşıdları arasında güclü yaddaşı, çalışqanlığı və öyrənməyə olan xüsusi həvəsi ilə seçilirdi. Onun intellektual qabiliyyətləri və mütaliəyə marağı erkən yaşlarından diqqət çəkmiş, bu xüsusiyyətlər sonrakı elmi və yaradıcılıq fəaliyyətinin formalaşmasına mühüm təsir göstərmişdir. Xüsusilə ana dilinə bağlılığı və bu dildə yazıb-yaratmaq istəyi müəyyən tarixi şəraitin təsiri altında daha da güclənmişdir.

Bu baxımdan İkinci Dünya müharibəsi illərində baş verən ictimai-siyasi hadisələr Fərzanənin dünyagörüşünün formalaşmasında mühüm rol oynamışdır. Müharibə dövründə Sovet İttifaqının qoşunlarının İrana daxil olması regionda yeni siyasi və mədəni proseslərin başlanmasına səbəb olmuşdur. Rəsmi olaraq "faşizmə qarşı mübarizə" şüarı ilə həyata keçirilən bu müdaxilə, əslində, Sovet rəhbərliyinin Cənubi Azərbaycanda öz təsir dairəsini genişləndirmək niyyəti ilə bağlı idi. Tarixi mənbələr göstərir ki, Sovet hakimiyyəti bu bölgədə ya ayrıca sosialist quruluş yaratmağı, ya da İran Azərbaycanını Sovet Azərbaycanı ilə birləşdirməyi strateji məqsəd kimi nəzərdən keçirirdi.

Bu siyasətin tərkib hissəsi kimi Sovet Azərbaycanından çoxlu sayda ziyalı, müəllim və mədəniyyət xadimi Güney Azərbaycana göndərilmişdi. Onların fəaliyyəti nəticəsində bölgədə yeni mədəni mühit formalaşmağa başlamış, ana dilində təhsil, mətbuat və maarifçilik istiqamətində mühüm addımlar atılmışdır. Azərbaycan dilində qəzet və jurnalların nəşri, teatr və digər mədəniyyət ocaqlarının yaradılması yerli əhali arasında milli özünüdərkin güclənməsinə səbəb olmuşdur.

Belə bir şəraitdə yerli ziyalılar, xüsusilə gənc nəslin nümayəndələri milli dəyərlərin ön plana çəkilməsini müsbət qarşılayır, təşkil olunan tədbirlərdə fəal iştirak edirdilər. Bu proses Məhəmmədəli Fərzanənin də ana dilində yaradıcılığa yönəlməsində mühüm rol oynamış, onun milli ədəbiyyata və folklora marağını daha da artırmışdır. Beləliklə, dövrün ictimai-siyasi mühiti Fərzanənin həm ideoloji baxışlarının, həm də elmi istiqamətinin formalaşmasına birbaşa təsir göstərmişdir.

Gənclik illərində Məhəmmədəli Fərzanə bölgədə baş verən ictimai-mədəni proseslərdən kənarda qalmamış, xüsusilə Sovetlər tərəfindən təşkil olunan maarifləndirici və ədəbi tədbirlərdə fəal iştirak etmişdir. Bu tədbirlər onun həm yaradıcılıq potensialının üzə çıxmasına, həm də ədəbi mühitə daxil olmasına əlverişli şərait yaratmışdır. Məhz bu dövrdə Fərzanənin ilk elmi-publisistik yazıları mətbuatda işıq üzü görməyə başlamışdır.

Onun "Füzuli lirikasına bir baxış" və "Divani-lüğət-it-türk əsərində atalar sözləri və məsəllər" adlı məqalələri 1941-1946-cı illərdə Təbrizdə ərəb əlifbası ilə nəşr olunan "Vətən yolunda" qəzetində dərc edilmişdir. Bu yazılar gənc müəllifin klassik ədəbiyyata və xalq müdrikliyinə olan dərin marağını, eləcə də analitik düşünmə qabiliyyətini nümayiş etdirir. Xüsusilə ikinci məqalədə türk dünyasının mühüm abidələrindən biri olan "Divani-lüğət-it-türk" əsərində yer alan atalar sözləri və məsəllərin araşdırılması Fərzanənin folklorşünaslığa erkən meyl etdiyini göstərir (Vətən yolunda, 1946).

"Vətən yolunda" qəzeti həmin dövrdə yalnız informasiya vasitəsi deyil, eyni zamanda güclü ədəbi-mədəni platforma rolunu oynayırdı. Qəzetin səhifələrində Sovet Azərbaycanında fəaliyyət göstərən görkəmli ədiblərin – Səməd Vurğun, Süleyman Rüstəm, Rəsul Rza, Mirzə İbrahimov, Ənvər Məmmədxanlı, Məmməd Rahim, Cəfər Xəndan və başqalarının əsərləri müntəzəm şəkildə dərc olunurdu. Bu əsərlərlə tanışlıq Məhəmmədəli Fərzanənin ədəbi dünyagörüşünü genişləndirmiş, onu müasir ədəbi proseslərlə yaxından əlaqələndirmişdir.

Bununla yanaşı, Fərzanə həmin dövrdə adıçəkilən yazıçı və şairlərlə şəxsi ünsiyyət qurmaq imkanı da əldə etmişdir. Bu tanışlıqlar onun həm yaradıcılıq istiqamətinin formalaşmasına, həm də elmi fəaliyyətə

yönəlməsinə ciddi təsir göstərmişdir. Xüsusilə Mirzə İbrahimov və Cəfər Xəndan kimi ziyalılarla ünsiyyət onun milli ədəbiyyata və ana dilinə bağlılığını daha da möhkəmləndirmişdir.
Qəzetin redaksiyası nəzdində fəaliyyət göstərən "Şairlər məclisi" isə gənc Fərzanənin ədəbi mühitə daha dərindən inteqrasiya olunmasına şərait yaratmışdır. O, bu məclisin fəal üzvlərindən birinə çevrilərək həm Sovet Azərbaycanından gəlmiş ədiblərlə, həm də Təbrizdə yaşayan və ana dilində yaradan yerli şair və yazıçılarla ünsiyyət qurmuşdur. Bu mühit onun yaradıcılıq təcrübəsini zənginləşdirmiş, ədəbi-estetik baxışlarının formalaşmasına mühüm təsir göstərmişdir.
Beləliklə, "Vətən yolunda" qəzeti və onun ətrafında formalaşan ədəbi mühit Məhəmmədəli Fərzanənin həm publisistik fəaliyyətə başlamasında, həm də folklor və ədəbiyyat sahəsində elmi istiqamət seçməsində həlledici rol oynamışdır.
Məhəmmədəli Fərzanə mədrəsə təhsilini başa vurduqdan sonra, 1942-ci ildə Təbrizdə fəaliyyət göstərən kitabxanalardan birində işləməyə başlamışdır. Bu mərhələ onun elmi və intellektual inkişafında xüsusi əhəmiyyət kəsb etmişdir. Kitabxana mühiti Fərzanə üçün yalnız əmək fəaliyyəti sahəsi deyil, eyni zamanda geniş bilik mənbəyi və özünüinkişaf platforması olmuşdur. O, burada mövcud olan zəngin ədəbiyyat fondu ilə tanış olmaqla yanaşı, Sovet Azərbaycanından gətirilən kitab, qəzet və jurnalları da mütəmadi şəkildə mütaliə etmişdir.
Bu nəşrlərlə tanışlıq Fərzanənin dünyagörüşünün genişlənməsinə, müxtəlif ideoloji və elmi istiqamətlər barədə məlumat əldə etməsinə imkan yaratmışdır. Xüsusilə latın və kiril əlifbalarını müstəqil şəkildə öyrənməsi onun elmi potensialını artırmış, müxtəlif mənbələrə çıxış imkanlarını genişləndirmişdir. Bu biliklər sayəsində o, yalnız yerli deyil, həm də Sovet Azərbaycanında formalaşan ədəbi və elmi mühiti izləyə bilmiş, özünü bu proseslərin bir hissəsi kimi hiss etmişdir.
Kitabxanada işlədiyi dövrdə Fərzanə təkcə oxucu və müşahidəçi mövqeyində qalmamış, eyni zamanda milli-mədəni proseslərdə fəal iştirak etməyə başlamışdır. Onun milli şüurunun formalaşması və ictimai fəallığının artması məhz bu mühitlə sıx bağlı olmuşdur. Beləliklə, o, tədricən milli hərəkatın iştirakçılarından birinə çevrilmiş, qələmi vasitəsilə xalqına xidmət etməyi qarşısına məqsəd qoymuşdur.
Fərzanənin kitabxanada çalışdığı illərlə bağlı diqqətəlayiq hadisələrdən biri də xüsusi qeyd olunmalıdır. Belə ki, o, üzərində "məhv ediləcək kitablar" qeyd olunan bir bağlama ilə qarşılaşmışdır. Bu bağlamada görkəmli alim Məhəmmədəli Tərbiyətin kitabxanaya bağışladığı qiymətli əsərlər, o cümlədən türk dünyasının ən mühüm yazılı abidələrindən sayılan "Kitabi-Dədə Qorqud" dastanı və Mahmud Kaşğarlının "Divani-lüğat`it türk" əsəri yer alırdı (Şamil, 2011).
Bu kitabların məhv edilməsi təhlükəsi Fərzanə tərəfindən böyük narahatlıqla qarşılanmışdır. O, bu əsərlərin yalnız ədəbi deyil, həm də milli-mədəni baxımdan əvəzsiz dəyərə malik olduğunu dərindən anlayırdı. Nəticədə, onun təşəbbüsü və səyi nəticəsində həmin kitablar məhv edilməkdən xilas edilmişdir. Bu hadisə Fərzanənin milli irsə olan həssas münasibətini, folklor və qədim yazılı abidələrin qorunmasına verdiyi önəmi aydın şəkildə nümayiş etdirir.
Beləliklə, kitabxana dövrü Məhəmmədəli Fərzanənin yalnız biliklərini artırdığı bir mərhələ deyil, eyni zamanda onun milli şüurunun, elmi istiqamətinin və folklora bağlılığının formalaşdığı mühüm bir dövr kimi qiymətləndirilə bilər.
Azərbaycançılıq ideyasının, milli şüurun və milli məfkurənin ardıcıl müdafiəçilərindən biri kimi tanınan Məhəmmədəli Fərzanə ömrü boyu bu dəyərlərin qorunması və təbliği istiqamətində mühüm fəaliyyət göstərmişdir. O, yalnız tədqiqatçı kimi deyil, eyni zamanda milli ruhun daşıyıcısı və yayımçısı kimi çıxış edərək, Azərbaycan mədəniyyətinin və folklorunun yaşadılmasına öz töhfəsini vermişdir.
Həyatının sonrakı mərhələsində səhhəti ilə bağlı yaranan problemlər səbəbindən Fərzanə bir müddət müalicə almaq üçün Almaniyada yaşamış, daha sonra isə İsveçin Höteburq şəhərinə köçmüşdür. Qürbət həyatı onun üçün yeni bir mərhələ olsa da, bu vəziyyət onun elmi və ədəbi fəaliyyətinə mane olmamışdır. Əksinə, o, xaricdə yaşadığı illərdə də milli-mədəni irslə bağlı araşdırmalarını davam etdirmiş, yazıb-yaratmaqdan geri qalmamışdır.
Yaşının irəliləməsi və doğma vətəndən uzaqda yaşaması Fərzanənin həyatına müəyyən nisgil və kədər qatmışdır. Bununla belə, o, mənəvi bağlılığını heç zaman itirməmiş, yaradıcılığında milli dəyərlərə sadiqliyini qoruyub saxlamışdır. Onun əsərlərində vətənə bağlılıq, milli kimlik və mənəvi irsə hörmət kimi mövzular daim aparıcı xətt təşkil etmişdir.
Ömrünün son illərində ürək xəstəliyindən əziyyət çəkən görkəmli alim və ziyalı 17 yanvar 2006-cı ildə vəfat etmişdir. Onun vəfatı Azərbaycan elmi və ədəbi mühiti üçün böyük itki olmuşdur. Bununla belə, Məhəmmədəli Fərzanənin zəngin elmi irsi və milli-mədəni dəyərlərin qorunmasına yönəlmiş fəaliyyəti bu gün də aktuallığını qorumaqda və tədqiqatçılar üçün mühüm mənbə rolunu oynamaqdadır.

Güney Azərbaycan folklorunun öyrənilməsində Fərzanənin rolu

Güney Azərbaycanda xalq yaddaşını əks etdirən folklor nümunələrinin toplanması, sistemləşdirilməsi və nəşri sahəsində mühüm xidmətlər göstərmiş ziyalılardan biri də folklorşünas alim Məhəmmədəli Fərzanədir. Onun bu istiqamətdə apardığı məqsədyönlü fəaliyyət yalnız ayrı-ayrı folklor materiallarının qorunub saxlanılması ilə məhdudlaşmamış, eyni zamanda bu nümunələrin elmi dövriyyəyə daxil edilməsinə və tədqiq olunmasına da əhəmiyyətli töhfə vermişdir. Fərzanə topladığı materiallara yalnız mənbə kimi deyil, həm də xalqın tarixi yaddaşını, dünyagörüşünü və milli-mənəvi dəyərlərini əks etdirən zəngin irs kimi yanaşmışdır. Bu baxımdan onun fəaliyyəti Güney Azərbaycan folklorunun öyrənilməsi və gələcək nəsillərə çatdırılması istiqamətində xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Məhəmmədəli Fərzanənin formalaşmasında ailə mühiti, xüsusilə anasının mənəvi təsiri mühüm rol oynamışdır. Onun öz xatirələrindən də məlum olduğu kimi, anası formal təhsil almamış, məktəb və yazılı mədəniyyətlə birbaşa əlaqəsi olmayan kənd qadını idi. Lakin buna baxmayaraq, o, zəngin şifahi xalq yaradıcılığı biliklərinə malik idi və bu baxımdan əsl mənəvi xəzinə rolunu oynayırdı.

Anası müxtəlif xalq dastanlarını, əfsanələri, nağılları, eləcə də bayatıları, xalq mahnılarını, tapmacaları və lətifələri xüsusi ahəng və ifadəliliklə övladlarına çatdırırdı. Bu proses sadəcə əyləncə xarakteri daşımır, eyni zamanda uşaqların dünyagörüşünün formalaşmasına, onların milli-mənəvi dəyərlərlə tanış olmasına ciddi təsir göstərirdi. Beləliklə, Fərzanə hələ erkən yaşlarından etibarən ana dili və folklor mühitində yetişmiş, şifahi xalq ədəbiyyatının zəngin ənənələri ilə birbaşa təmasda olmuşdur.

Anasının bu fəaliyyəti, əslində, şüurlu pedaqoji məqsəd daşımadan həyata keçirilsə də, nəticə etibarilə gələcək alimin ədəbi-estetik zövqünün və elmi maraqlarının əsasını qoymuşdur. Məhz bu mühit Fərzanədə folklora qarşı dərin maraq oyatmış, onun sonrakı tədqiqat istiqamətini müəyyənləşdirmişdir.

Məhəmmədəli Fərzanə həyatının sonuna qədər anasının bu mənəvi irsini yüksək qiymətləndirmiş və onu böyük minnətdarlıq hissi ilə yad etmişdir. O, xatirələrində qeyd edirdi ki, "ailənin ağır sosial-iqtisadi şəraiti bəzən anasının ruh halına da təsir edir, bu kədər onun oxuduğu bayatı və ağıların məzmununda öz əksini tapırdı. Xüsusilə kənddən gələn kədərli xəbərlər zamanı anasının səsləndirdiyi nəğmələr ailə üzvlərinə dərin emosional təsir bağışlayırdı".

Bu kimi məqamlar Fərzanənin yaddaşında silinməz iz buraxmış, onun folklora yalnız elmi obyekt kimi deyil, həm də canlı, emosional və sosial hadisə kimi yanaşmasına səbəb olmuşdur. Uşaqlıq illərində anasından eşitdiyi zəngin folklor nümunələrinin mənşəyi ilə maraqlanan Fərzanə tez-tez bu biliklərin haradan qaynaqlandığını soruşar, lakin aldığı cavablar daha çox simvolik və ümumiləşdirilmiş xarakter daşıyardı. Anası bu suallara birbaşa izah vermək əvəzinə, fikrini daha çox məcazi və poetik formada ifadə etməyə üstünlük verərdi. O, dərin mənalı baxışlarla övladına üz tutaraq xalq hikmətini özündə əks etdirən belə bir bayatı səsləndirərdi:

"Açdım, açdım gül oldum,
Boy atdım sünbül oldum.
Bir dilbilməz quş idim,
Oxudum bülbül oldum".

Bu isə bir daha göstərir ki, xalq yaradıcılığı konkret mənbədən deyil, kollektiv yaddaşdan qidalanan və nəsildən-nəslə ötürülən canlı bir ənənədir.

M.Fərzanə iyirmi yaşından milli azadlıq hərəkatının iştirakçısı olmuş, qələmi ilə də bu yolda xalqına xidmət etmişdir. Milli azadlıq hərəkatının canlanması ictimai fikir və xəyalların gerçəkləşməsi dövrü olmuşdur. Həm də bu dövrdə milli ədəbiyyatın və incəsənətin, ən başlıcası doğma dilimizin inkişafı üçün hər cür şərait yaranmışdır.

M. Fərzanə bu dövrdən istifadə edərək (1945-1946-cı illərdə) daha böyük vüsətlə yazıb-yaradaraq Azərbaycan dastanları və Azərbaycan şifahi xalq ədəbiyyatının digər sahələri ilə bağlı silsilə məqalələrini qələmə almışdır. O, təkcə bu bir il içərisində həmin mövzuda 40-a yaxın məqalə yazıb çap etdirmişdir. O, İranda, eyni zamanda, Bakıda da nəşr olunurdı. "Azərbaycan ədəbiyyatı tarixi"nin iki cildliyinə dair araşdırma xarakterli məqalələr yazıb həmin məqalələri "Şəfəq" jurnalında çap etdirmişdir (Güney Azərbaycan Folkloru, 2013: 450).

Folklorşünas alim, fədakar tədqiqatçı M. Fərzanə İkinci Dünya savaşından sonra ədəbi-bədii düşüncəmizin əksi qaynaqlarından olan "Kitabi-Dədə Qorqud" dastanı barədə ilk söz deyənlərdən olmuşdur. Belə ki, o, "Azərbaycan milli dastanları" adı altında dastanın xeyli hissəsini çap etdirərək İranda tanınmasına səbəb olmuşdur. Çətin dövr olsa da, Fərzanə bu illərdə bir neçə kitab və monoqrafiya, ictimai-siyasi mövzularda məqalələr də nəşr etdirmişdir Güney Azərbaycan folkloru, 2013: 451).

Milli hökumətin süqutu və onun həyata keçirdiyi mədəni-sosial təşəbbüslərin ardıcıl şəkildə aradan qaldırılması Güney Azərbaycanda dərin izlər buraxmışdır. Xüsusilə ana dilində nəşr olunan ədəbiyyatın, dərslik və tədris materiallarının məhv edilməsi, onların kütləvi şəkildə yandırılması həmin dövrün ən faciəvi hadisələrindən biri kimi yadda qalmışdır. Bu proses yalnız mədəniyyətə qarşı yönəlmiş bir addım deyil, eyni zamanda milli kimliyin zəiflədilməsinə hesablanmış siyasətin tərkib hissəsi idi. Məhz bu acı və sarsıdıcı hadisələr Məhəmmədəli Fərzanənin yaddaşında silinməz iz buraxmış, onu bu mövzuda qələmə sarılmağa sövq etmişdir.

Bu baxımdan onun "Ana dilimiz və varlığımız uğrunda mübarizələr" adlı xatirələr kitabı yalnız şəxsi xatirələrin toplusu deyil, həm də müəyyən bir dövrün ictimai-siyasi və mədəni mənzərəsini əks etdirən mühüm mənbə kimi qiymətləndirilə bilər. Fərzanə bu əsərində yaşanan hadisələri təsvir etməklə yanaşı, ana dilinin qorunmasının milli varlığın əsas şərtlərindən biri olduğunu vurğulamışdır. Onun yazılarında ana dilinə qarşı yönəlmiş təzyiqlərə qarşı açıq mövqe, milli-mənəvi dəyərlərə bağlılıq və bu dəyərlərin müdafiəsi aydın şəkildə özünü göstərir.

Fərzanənin folklorla bağlı tədqiqatları da eyni ideoloji və elmi xəttin davamı kimi diqqəti cəlb edir. Onun bu sahədə yazdığı məqalələr bir sıra xüsusiyyətlərinə görə seçilir. Əvvəla, bu yazılarda güclü müşahidə qabiliyyəti və detallara həssas yanaşma açıq şəkildə hiss olunur. O, folklor nümunələrini sadəcə toplamaqla kifayətlənmir, onları sosial, tarixi və mədəni kontekst daxilində təhlil edir.

Digər mühüm cəhət isə Fərzanənin milli bədii təfəkkürə dərindən bələd olmasıdır. Bu xüsusiyyət onun araşdırmalarında aydın şəkildə özünü göstərir və folklor nümunələrinin mahiyyətini daha dolğun şəkildə izah etməsinə imkan yaradır. O, xalq yaradıcılığını yalnız estetik baxımdan deyil, həm də milli yaddaşın, kollektiv şüurun və tarixi təcrübənin ifadəsi kimi dəyərləndirir.

Beləliklə, Məhəmmədəli Fərzanənin həm xatirə janrında yazdığı əsərlər, həm də folklorşünaslıq istiqamətində apardığı tədqiqatlar onun milli-mədəni dəyərlərə bağlılığını və bu dəyərlərin qorunması uğrunda apardığı mübarizəni aydın şəkildə nümayiş etdirir.

Məhəmmədəli Fərzanə şüurlu həyatının erkən mərhələlərindən etibarən İranda yaşayan azərbaycanlıların milli kimliyinin qorunması və inkişafı istiqamətində fəaliyyət göstərən ziyalılardan biri kimi formalaşmışdır. O, bütün yaradıcılıq və elmi fəaliyyətini Azərbaycan xalqının zəngin ədəbi-mədəni irsinin, qədim köklərinin və milli-mənəvi dəyərlərinin öyrənilməsi və təbliğinə həsr etmişdir. Bu baxımdan Fərzanə yalnız bir tədqiqatçı deyil, eyni zamanda milli ideyaların daşıyıcısı və müdafiəçisi kimi çıxış etmişdir.

Onun dünyagörüşünün və milli şüurunun formalaşmasında ailə mühiti, xüsusilə atasının təsiri mühüm rol oynamışdır. Fərzanə öz xatirələrində atasının həyat təcrübəsini və ideoloji təsirini xüsusi vurğulayaraq qeyd edir ki, "ağır həyat sınaqlarından keçmiş və Məşrutə hərəkatında fəal iştirak etmiş atası Əkbər kişi onun vətənə və ana dilinə bağlılığının yaranmasında əhəmiyyətli rol oynamışdır. Atasının zəngin həyat təcrübəsi və geniş dünyagörüşü ailə daxilində formalaşan mənəvi mühitə də ciddi təsir göstərmişdir".

Əkbər kişinin 1905-1911-ci illərdə Güney Azərbaycanda baş vermiş Məşrutə hərəkatının iştirakçılarından biri olması onun ictimai-siyasi baxışlarının formalaşmasında mühüm mərhələ olmuşdur. Bu təcrübə sonradan ailə mühitində də öz əksini tapmış, o, övladının milli ruhda böyüməsi üçün xüsusi səylər göstərmişdir. Fərzanənin xatirələrindən məlum olur ki, atası tez-tez Mirzə Ələkbər Sabirin "Hophopnamə" əsərindən şeirlər əzbər söyləyir, bu vasitə ilə ictimai hadisələrə münasibətini ifadə edirdi. Bu hal gənc Fərzanənin həm ədəbiyyata marağını artırmış, həm də tənqidi düşüncə qabiliyyətinin inkişafına təsir göstərmişdir.

Belə bir ailə və ideoloji mühitdə yetişən Məhəmmədəli Fərzanənin milli ruhda formalaşması təbii bir proses kimi baş vermişdir. Onun xalqın tarixi taleyinə, milli köklərinə və mədəni irsinə dərin bağlılığı sonrakı fəaliyyət istiqamətini də müəyyənləşdirmişdir. Xüsusilə 1945-1946-cı illərdə Seyid Cəfər Pişəvərinin rəhbərliyi ilə Güney Azərbaycanda formalaşmış Milli Hökumət dövründə Fərzanənin fəallığı daha qabarıq şəkildə özünü göstərmişdir.

Bu dövrdə o, yalnız ədəbi və elmi fəaliyyətlə kifayətlənməmiş, eyni zamanda milli ideologiyanın formalaşdırılması və yayılması prosesində də iştirak etmişdir. Fərzanə xalq hərəkatının qazandığı uğurların qorunub saxlanılması, əldə olunan milli-mədəni nailiyyətlərin davamlı olması üçün ardıcıl şəkildə çalışmışdır. Onun fəaliyyəti göstərir ki, o, milli məsələlərə yalnız nəzəri baxımdan deyil, praktik müstəvidə də yanaşmış və bu istiqamətdə aktiv mövqe nümayiş etdirmişdir.

Beləliklə, Məhəmmədəli Fərzanənin şəxsiyyət kimi formalaşmasında ailə mühiti, xüsusilə atasının ideoloji təsiri həlledici rol oynamış, bu təsir onun sonrakı elmi, ədəbi və ictimai fəaliyyətində aydın şəkildə öz əksini tapmışdır.

M. Fərzanə onu da qeyd etmişdir ki, Cənubi Azərbaycanda xalq ədəbiyyatının nisbi halda olsa da, səmərəli toplanıb çap edilməsi 1945-1946-cı illərdə olmuşdur. Bu illərdə Güney və Quzey Azərbaycanı birləşdirən musiqi, teatr, mətbuat və nəşriyyat körpuləri yaranmışdır. Təbrizdə dərc olunan "Vətən yolunda" qəzeti xalqa yadırğamış olduğu dilini anlatmışdır. Fərzanə həm də onu xatırlatmışdır ki, azərbaycanlıların dilinin və mədəniyyətinin yasaq edildiyi illərdə onu yaşadıb qorumaqda xalqın, xüsusilə də, anaların rolu çox böyük olmuşdur. Başqa nə qədər dözülməz olsa da, xalq küçə-bacada, iş yerlərində bayatı, qoşma, yetim sevdalı təranə və tiringə oxumaqla, analar evdə öz körpələrinə layla çalıb nağıl deməklə bu milli varlığı qoruyub yaşatmışdır (Güney Azərbaycan folkloru, 2013: 453).

Folklorşünas alim 1948-ci ildən sonra bir neçə kitab və monoqrafiya, ictimai-siyasi mövzularda məqalələr yazmış, həm də fars dilli mətbuatda dəyərli kəskin yazıları ilə də nəşr olunmuşdur. O, həm də bu illərdən başlayaraq tərcüməçilik sahəsində də qələmini sınamışdır.

Azərbaycanın dahi klassik şairi N. Gəncəvinin 850 illiyi ilə bağlı yazdığı və "Təbriz" qəzetində nəşr etdirdiyi məqalələr elmi dəyərinə görə maraqla qarşılanmışdır. Fərzanə o vaxt Təbriz Universitetinin nəşr etdirdiyi "Nəşriyyə" haqqında tənqidi məqalələrini yazmışdır ki, həmin məqalələrdə Azərbaycan əleyhinə olan fikirlər tənqid olunurdu (Güney Azərbaycan folkloru, 2013: 452).

Məhəmmədəli Fərzanə əsl vətəndaş mövqeyinə malik ziyalı kimi müxtəlif tarixi dövrlərdə baş vermiş mühüm ictimai-siyasi hadisələri, milli azadlıq uğrunda aparılan mübarizə proseslərini və xalqın mənəvi-mədəni inkişaf mərhələlərini dərindən təhlil etmişdir. O, xüsusilə xalq təfəkkürünün və milli mədəniyyətin formalaşma və təkamül yollarının araşdırılmasında şifahi xalq ədəbiyyatı nümunələrinin mühüm elmi, bədii və tarixi mənbə kimi çıxış etdiyini əsaslandırmışdır. Fərzanəyə görə, folklor yalnız estetik dəyər daşımır, eyni zamanda xalqın tarixi yaddaşını, dünyagörüşünü və ictimai təcrübəsini özündə əks etdirən kompleks bir sistemdir.

Onun ardıcıl və sistemli şəkildə apardığı folklor tədqiqatlarında xüsusi diqqət yetirilən məsələlərdən biri Azərbaycan şifahi xalq ədəbiyyatı ilə yazılı ədəbiyyat arasında mövcud olan qarşılıqlı əlaqə və təsir məsələsidir. Fərzanə bu iki sahə arasında sərhədlərin qəti olmadığını, əksinə, onların tarix boyu bir-birini qidalandıran və zənginləşdirən paralel inkişaf xəttinə malik olduğunu elmi şəkildə əsaslandırmağa çalışmışdır. O, qeyd edirdi ki, yazılı ədəbiyyat nümayəndələri əsərlərini yaradarkən xalq yaradıcılığının süjet, obraz, dil və üslub xüsusiyyətlərindən geniş şəkildə bəhrələnmişlər.

Eyni zamanda, Fərzanə bu qarşılıqlı təsirin yalnız bir istiqamətli olmadığını xüsusi vurğulayırdı. Onun fikrincə, xalq ədəbiyyatının daşıyıcıları olan aşıqlar, eləcə də geniş xalq kütləsi yazılı ədəbiyyat nümunələrindən təsirlənərək onları şifahi ənənəyə uyğun şəkildə yenidən işləyir, beləliklə də folklor xəzinəsinin zənginləşməsinə töhfə verirdilər. Bu prosesdə xüsusilə aşıqların rolu ön plana çıxır, onlar yazılı və şifahi ədəbiyyat arasında bir növ körpü funksiyasını yerinə yetirirdilər.

Fərzanənin bu məsələyə dair fikirləri onun aşağıdakı mülahizəsində də öz əksini tapır: "Azərbaycan şifahi xalq ədəbiyyatı ilə yazılı ədəbiyyat arasında sıx qarşılıqlı əlaqə və təsir mövcuddur; yazıçılar və şairlər şifahi ədəbiyyatın ideya-məzmun xüsusiyyətlərindən, vəzn və ifadə vasitələrindən istifadə etdikləri kimi, aşıqlar və xalqın özü də yazılı ədəbiyyat nümunələrindən bəhrələnərək onları şifahi ənənə daxilində yenidən formalaşdırmış və bu yolla xalq yaradıcılığı xəzinəsini daha da zənginləşdirmişdir".

Beləliklə, Məhəmmədəli Fərzanənin elmi yanaşması folklor və yazılı ədəbiyyat münasibətlərinə kompleks və dialektik baxışın nümunəsi kimi qiymətləndirilə bilər. Bu yanaşma Azərbaycan ədəbiyyatının bütöv bir sistem kimi dərk olunmasına və onun inkişaf qanunauyğunluqlarının daha dərindən anlaşılmasına imkan yaradır (Varlıq, 1994: 31).

Bütün həyatı, çoxşaxəli fəaliyyətiboyu Güney Azərbaycanda yaranmış şifahi xalq yaradıcılığı, folklor nümunələrini, zəngin şifahi söz sənəti incilərini ardıcıl olaraq toplayıb nəşr etdirən və inadkar alim qətiyyəti ilə araşdıran, bununla da Güney Azərbaycan folklorşünaslığının təməlini qoyan ədibi Şəhriyarın anadilli şeir dili ilə xalqın folklor təfəkkürü arasındakı güclü bağlılıq, sıx əlaqə, üslubundakı orijinallıq heyran edir. Ona görə də fədakar tədqiqatçı qələmə aldığı "Heydərbabanın bədii xüsusiyyətləri" adlı məqaləsində "Heydərbabaya salam" mənzuməsinin bədii dil xüsusiyyətlərinin, poetikasının təhlilinə geniş yer verir. Şəhriyarın anadilli şeir dili ilə folklor təfəkkürünün əlaqələrini konkret misallar əsasında təhlil edir, dil və üslub məsələlərini araşdırır. Fərzanənin Şəhriyarın anadilli şeir dili ilə bağlı gəldiyi qənaət olduqca maraqlıdır. O, Şəhriyar dilinin qeyri-adiliyinin və bütün türk elləri ədəbiyyatına böyük ədəbi təsirinin sirrini onun folklor və yazılı poeziya dili zəminində pərvəriş tapması ilə əlaqələndirməklə kifayətlənmir, şairin qeyri-adi şeir dilini əfsanəvi bir dil, möcüzə sayır: "Bu dil ana dili Azərbaycan dili olan fars dilli bir dahi şairin ucalığıdır, istedadının möcüzəsidir" (Tağıyeva-Rəhimli, 2000: 397).

Görkəmli Azərbaycan şairi, ustad Məhəmmədhüseyn Şəhriyar da Məhəmmədəli Fərzanənin ədəbiyyat və milli mədəniyyət sahəsində göstərdiyi xidmətləri yüksək qiymətləndirmişdir. Şəhriyar onun fəaliyyətini yalnız elmi müstəvidə deyil, eyni zamanda milli ruhun qorunması və inkişaf etdirilməsi baxımından da mühüm hesab etmişdir. Bu münasibətin ifadəsi kimi şair "Dərya elədim" qəzəlində Fərzanənin şəxsiyyətinə və gördüyü işlərin əhəmiyyətinə xüsusi yer ayırmış, onu dərin ehtiram hissi ilə yad etmişdir. Sözügedən qəzəldə yer alan beytlərdə Fərzanənin həm ziyalı kimi mövqeyi, həm də milli-mədəni sahədəki əvəzsiz xidmətləri poetik dillə tərənnüm olunur.

"Bax ki, Tehranda nə Fərzanələr olmuş Valeh,
Bax ki, Təbrizdə nə şairləri Şeyda elədim."

Məhəmmədhüseyn Şəhriyarın "Heydərbabaya salam" poeması Azərbaycan dilində, xüsusilə Təbriz şivəsinin özünəməxsus ahəngi və ifadə zənginliyi ilə qələmə alındığı üçün qısa müddət ərzində geniş oxucu auditoriyasının diqqətini cəlb etmişdir. Əsərdə milli koloritin, xalqın gündəlik həyat tərzinin, psixoloji xüsusiyyətlərinin və duyğu dünyasının bədii-poetik formada təqdim olunması onun təsir gücünü daha da artırmışdır. Bu səbəbdən "Heydərbabaya salam" yalnız ədəbi hadisə kimi deyil, həm də milli özünüdərkin və mədəni oyanışın mühüm göstəricilərindən biri kimi dəyərləndirilmişdir.

Əsərin qısa müddətdə İranda, eləcə də türk xalqlarının yaşadığı müxtəlif coğrafiyalarda – o cümlədən Türküstan bölgəsində geniş yayılması onun ümumtürk mədəni məkanında rezonans doğurduğunu göstərir. Bu populyarlıq nəticəsində Tehranda "Heydərbaba" adı ilə tanınan ədəbi mühit və ya dərnək formalaşmışdır. Sözügedən dərnək dövrün tanınmış ziyalılarını və ədəbiyyat nümayəndələrini bir araya gətirərək milli ədəbi proseslərin inkişafına mühüm təsir göstərmişdir.

"Heydərbaba" dərnəyinin üzvləri arasında Səhənd, Məhəmmədəli Fərzanə, Cəfər Baxçaban, Hüseynqulu Katibi (Coşqun), Məhəmmədəli Azəri, Gəncəli Səbahi, Mirmehdi Etimad, N.F. Atəşbak, Əli Təbrizi, Salamullah Cavid və digər ziyalılar yer alırdı. Onlar mütəmadi olaraq təşkil etdikləri ədəbi toplantılarda yeni şeir və nəsr nümunələrini müzakirə edir, ədəbi yaradıcılıq mühitini canlandırmaqla yanaşı, yeni əsərlərin yazılması və nəşri istiqamətində də fikir mübadiləsi aparırdılar. Bu fəaliyyət, ümumilikdə, Güney Azərbaycanda milli ədəbiyyatın inkişafına və ana dilində yaradıcılığın təşviqinə mühüm töhfə vermişdir.

Beləliklə, "Heydərbabaya salam" əsəri ətrafında formalaşan ədəbi mühit yalnız bir poeziya nümunəsinin təsiri ilə məhdudlaşmamış, bütövlükdə milli ədəbi hərəkatın güclənməsinə və yeni yaradıcı qüvvələrin üzə çıxmasına zəmin yaratmışdır.

Məhəmmədəli Fərzanə xalqın gələcəyinin formalaşmasında gənc nəslin rolunu yüksək qiymətləndirən, bu baxımdan uşaqların milli ruhda, vətənpərvərlik duyğuları ilə tərbiyə olunmasının vacibliyini dərindən anlayan ziyalılardan biri idi. O, xüsusilə uşaq yaşlarından formalaşan mənəvi dəyərlərin sonrakı həyat mərhələlərində həlledici rol oynadığını nəzərə alaraq, uşaq folkloru nümunələrinin bu prosesdə əvəzsiz əhəmiyyət daşıdığını elmi əsaslarla vurğulayırdı. Fərzanənin fikrincə, uşaq folkloru yalnız əyləncə xarakterli mətnlər toplusu deyil, eyni zamanda milli kimliyin, mənəvi-əxlaqi dəyərlərin və sosial davranış modellərinin ötürülməsində mühüm vasitədir.

Bu səbəbdən o, uşaq folklorunu həm elmi, həm də estetik baxımdan yüksək qiymətləndirərək onu incə və həssas yanaşma tələb edən xüsusi bir yaradıcılıq sahəsi kimi dəyərləndirmişdir. Fərzanə bu sahədə sistemli fəaliyyət göstərmiş, müxtəlif bölgələrdən uşaq folkloru nümunələrini toplamaq, onları qorumaq və nəşr etdirməklə milli irsin gələcək nəsillərə çatdırılmasına töhfə vermişdir. Onun bu istiqamətdəki fəaliyyəti təkcə praktik toplama işi ilə məhdudlaşmamış, eyni zamanda metodoloji xarakter daşımışdır.

Belə ki, "Uşaq folkloru nümunələrini necə toplamalı" adlı məqaləsində Fərzanə bu sahədə çalışan tədqiqatçılara və folklora maraq göstərən şəxslərə konkret tövsiyələr vermiş, uşaq folklorunun toplanması prinsiplərini izah etmişdir. O, bu işi sadəcə elmi fəaliyyət kimi deyil, həm də milli məsuliyyət və mənəvi borc kimi dəyərləndirərək məsələnin aktuallığını xüsusi vurğulamışdır. Alim qeyd edirdi ki, vaxtında görülməyən işlər sonradan bərpaolunmaz itkilərə səbəb ola bilər və bu baxımdan folklor nümunələrinin toplanması təxirəsalınmaz vəzifə kimi qəbul edilməlidir (Əliyev, 2008: 329).

Fərzanənin yanaşmasına görə, laylalar, nazlamalar, nağıllar və digər uşaq folkloru nümunələri uşaqların mənəvi tərbiyəsində, onların milli kimlik şüurunun formalaşmasında mühüm rol oynayır. Bu nümunələr vasitəsilə uşaqlara ana dilinin gözəllikləri aşılanır, milli dəyərlər və ənənələr təbii şəkildə ötürülür. O, bu irsin qorunmasını böyük milli-mənəvi əhəmiyyət daşıyan bir vəzifə kimi qiymətləndirərək, uşaq folklorunun ümumi folklor sisteminin ayrılmaz tərkib hissəsi olduğunu elmi şəkildə əsaslandırmışdır.

Beləliklə, Məhəmmədəli Fərzanənin uşaq folkloru sahəsindəki fəaliyyəti onun yalnız folklorşünas alim kimi deyil, həm də gələcək nəsillərin milli ruhda tərbiyəsinə xüsusi önəm verən maarifçi ziyalı kimi çıxış

etdiyini göstərir. Onun bu istiqamətdə irəli sürdüyü ideyalar və praktik fəaliyyəti bu gün də aktuallığını qorumaqda və folklorşünaslıq elmi üçün dəyərli mənbə hesab olunmaqdadır.

Fərzanənin xalqına olan xidmətlərindən biri də böyük çətinliklər bahasına yaranmış, iki qardaşı ilə birlikdə açdığı "Fərzanə" nəşriyyatı olmuşdur. Bu nəşriyyatın yaranmasında əsas məqsəd qırxıncı illərdə məhv edilmiş dərs vəsaitlərinin, millimənəvi dəyərlərimizi əks etdirən əsərlərin çap olunması olmuşdur. M. Fərzanə bu yolda yorulmadan çalışaraq mövcud boşluğu doldurmaq üçün əlindən gələni əsirgəməmiş, 30-dan artıq kitabın çapına nail olmuşdur. Fədakar alim özünün neçə-neçə kitabının çapa ehtiyacı olduğu halda, digər müəlliflərin kitablarını ön plana çəkmişdir ki, bu da onun xalqına xidmətinin, nəcib hisslərinin bariz nümunəsidir (Güney Azərbaycan folkloru, 2013: 454).

Azərbaycan söz sənətinə dərin bağlılığı ilə seçilən Məhəmmədəli Fərzanə folklorun toplanması, nəşri və elmi dövriyyəyə daxil edilməsi sahəsində mühüm xidmətlər göstərmişdir. Onun bu istiqamətdə həyata keçirdiyi ən diqqətəlayiq işlərdən biri "Bayatılar" adlı nəşrdir. Sözügedən toplu İranda folklorla bağlı çap olunmuş əsərlər arasında geniş tirajla yayılan və oxucu auditoriyası tərəfindən böyük maraqla qarşılanan nəşrlərdən biri olmuşdur. Xüsusilə 1979-cu il İslam İnqilabından sonra bu kitabın dəfələrlə, ümumilikdə səkkiz dəfə nəşr olunması onun elmi və mədəni əhəmiyyətinin göstəricisi kimi dəyərləndirilə bilər.

Fərzanənin fəaliyyəti yalnız bir əsərlə məhdudlaşmamış, o, Azərbaycan folkloru və ədəbiyyatı ilə bağlı çoxsaylı mühüm nəşrlərin hazırlanmasında iştirak etmişdir. Onun tərtib etdiyi və ya elmi redaktoru olduğu əsərlər sırasında "Dədə Qorqud boyları", "Heydərbaba və Şəhriyar (nəzirələr və məktublar)", "Molla Nəsrəddin lətifələri", "Azərbaycan folklor antologiyası", "Azərbaycan klassik şeirindən müasir şeirinə qədər", "Azərbaycan xalq mahnıları", "İran xalq mahnıları (Azərbaycan dilinə şeir tərcümələri ilə)", "Nizamidən 30 qəzəl", "Azərbaycan folklor dəftərləri: atalar sözləri və məsəlləri", "Azərbaycan dilinin fonetik lüğəti", "Azərbaycan dilindən fars dilinə tərcümələr" və "Azərbaycan söz inciləri" (üç cilddə) kimi fundamental nəşrlər xüsusi yer tutur (Güney Azərbaycan folkloru, 2013: 455).

Bu əsərlərin hazırlanması zamanı Fərzanə yalnız mətnlərin toplanması ilə kifayətlənməmiş, onlara geniş elmi müqəddimələr yazmış, şərhlər və izahlar əlavə etmiş, beləliklə, materialların daha dolğun və sistemli şəkildə təqdim olunmasına nail olmuşdur. Bu yanaşma onun folklor materiallarına təkcə toplama obyekti kimi deyil, həm də elmi təhlil tələb edən mürəkkəb mədəni fenomen kimi yanaşdığını göstərir.

Məhəmmədəli Fərzanə həmçinin məhsuldar publisistik və elmi fəaliyyətlə də məşğul olmuşdur. Onun Azərbaycan ədəbiyyatı, dili və tarixi ilə bağlı yüzdən artıq elmi məqaləsi müxtəlif dövrlərdə nəşr olunmuşdur. Xüsusilə "Ana dilimiz və milli varlığımız haqqında xatirələr" silsiləsinə daxil olan yazıları xüsusi diqqətə layiqdir. Bu yazılar 1979-cu ildən etibarən Tehranda nəşr olunan "Varlıq" jurnalında dərc edilmiş və geniş oxucu kütləsi tərəfindən maraqla qarşılanmışdır.

"Varlıq" jurnalı ətrafında formalaşan elmi-mədəni mühitdə Fərzanə həm naşir, həm də dilçi alim kimi fəal iştirak etmişdir. O, jurnal vasitəsilə Azərbaycan dilinin, ədəbiyyatının və folklorunun təbliğinə mühüm töhfələr vermiş, eyni zamanda elmi fikir mübadiləsinin genişlənməsinə şərait yaratmışdır. Bu baxımdan onun fəaliyyəti yalnız fərdi yaradıcılıq çərçivəsində deyil, ümumilikdə milli mədəniyyətin inkişafı kontekstində qiymətləndirilməlidir.

Nəticə

Nəticə etibarilə, Məhəmmədəli Fərzanənin çoxşaxəli fəaliyyəti Azərbaycan folklorşünaslığının inkişafına mühüm töhfələr vermiş, milli-mədəni irsin elmi əsaslarla öyrənilməsini təmin etmişdir. Onun topladığı və nəşr etdirdiyi materiallar təkcə öz dövrü üçün deyil, həm də gələcək tədqiqatlar üçün etibarlı mənbə rolunu oynayır. Bu baxımdan, Fərzanənin irsi Azərbaycan ədəbiyyatı və folklorunun davamlılığının qorunmasında əvəzsiz əhəmiyyət kəsb edir.

References

1. Əliyev, R. (2008). Taleyin sözü. Bakı: "MBM" nəşriyyatı.
2. Güney Azərbaycan folkloru (2013). I cild, Bakı: Elm və təhsil.
3. Şamil, Ə. (2011). Türk Dünyasının Məşhurları-25. www.trtazerbaycan.com
4. Tağıyeva, Ş., Rəhimli, Ə. (2000). Güney Azərbaycan. Bakı.
5. "Varlıq" jurnalı (1994). 2-ci sayı.
6. "Vətən yolunda" qəzeti (1946). Təbriz.

CƏFƏR CABBARLI DRAMATURGİYASINDA QADIN AZADLIĞI İDEYASI

HAŞİMƏ ƏLİYEVA
Xəzər Universitetinin tələbəsi
Baku, Azerbaijan
ORCİD: 0009-0001-5850-6173
hasimeeliyeva@icloud.com

Xülasə: Bu məqalədə Azərbaycan ədəbiyyatının görkəmli nümayəndəsi Cəfər Cabbarlının dramaturgiyasında qadın azadlığı ideyası tədqiq edilir. XX əsrin əvvəllərində baş verən ictimai-mədəni dəyişikliklər fonunda qadın məsələsinin aktuallaşması və bu problemin Cabbarlı yaradıcılığında bədii əksi araşdırılır. "Sevil" və "Almaz" əsərləri əsasında qadın obrazlarının inkişaf mərhələləri, onların sosial mübarizəsi və maarifçi ideyalar təhlil edilir. Məqalədə göstərilir ki, dramaturqun yaratdığı qadın surətləri yalnız fərdi taleləri deyil, bütövlükdə cəmiyyətin transformasiyasını əks etdirir.
Açar sözlər: *Cəfər Cabbarlı, qadın azadlığı, dramaturgiya, maarifçilik, Azərbaycan ədəbiyyatı*

Giriş

Azad olmaq nə deməkdir? Cəmiyyətimizdə azadlıq dedikdə, xüsusilə də qadın azadlığı dedikdə, təəssüf ki, ağla başqa düşüncələr gəlir. "Bir qadın azad olmaq istəyirsə deməli o əxlaqsızdır". Məhz bu düşüncələrə görə qadın azad olmamalı, bəzi şeylərdən məhrum olmalıdır ideyaları var. Çox təəssüf düşünürəm ki, günümüzdə də bu kimi mövzular öz aktuallığını qorumaqdadır. Qadın azadlığı tarix boyu cəmiyyətin diqqət mərkəzində olmuş mühüm məsələlərdən biridir. Müxtəlif dövrlərdə bu məsələyə fərqli yanaşmalar göstərilmişdir. Qadın azadlığı mövzusu həm ictimai fikir tarixində, həm də ədəbiyyatda aktual problemlərdən biri kimi qalmaqdadır.

XX əsrin əvvəllərində Azərbaycan cəmiyyətində baş verən ictimai və mədəni dəyişikliklər qadın məsələsinin daha geniş müzakirə olunmasına səbəb olmuşdur. Bu dövrdə qadınların təhsilə cəlb edilməsi, ictimai həyatda iştirak etməsi və hüquqlarının müdafiəsi məsələləri maarifçi ziyalıların yaradıcılığında xüsusi yer tuturdu. Bu ideyaları ədəbiyyatımızda əks etdirən sənətkarlardan biri də görkəmli dramaturq və yazıçı Cəfər Cabbarlı olmuşdur. O, 1899-cu ildə Xızıda anadan olmuş, Azərbaycan ədəbiyyatının inkişafında mühüm rol oynamış sənətkarlardandır. Onun yaradıcılığı dramaturgiya, nəsr və poeziyanı əhatə edir və mövzu baxımından olduqca zəngindir. (5) Cabbarlı əsərlərində xüsusilə qadın azadlığı, qadınların təhsili, cəmiyyətdəki hüquqsuz vəziyyəti və onların mübarizəsi kimi problemləri geniş şəkildə işıqlandırmışdır. Yazıçı Azərbaycan qadınını azad, savadlı, öz dəyərini bilən bir şəxsiyyət kimi görmək arzusundadır və bunu bədii yaradıcılığında da ifadə etmişdir. Cəfər Cabbarlının pyes və hekayələrində də qadın obrazları xüsusi yer tutur. Cəfər Cabbarlı yaradıcılığı Azərbaycan ədəbiyyatında qadın azadlığı ideyasının bədii ifadəsi baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Onun dramaturgiyasında yaradılmış qadın obrazları yalnız bədii surət deyil, eyni zamanda dövrün sosial problemlərinin və cəmiyyətin qadına münasibətinin ifadəsidir. Onun "Oqtay Eloğlu", "Sevil" kimi dram əsərlərində, eləcə də "Gülzar", "Dilbər", "Gülər", "Dilarə" kimi hekayələrində qadınların ağır həyat şəraiti, hüquqsuzluğu və cəmiyyətin yaratdığı faciəli talelər bədii şəkildə təsvir edilmişdir. Bu əsərlərində yazıçı bir tərəfdən qadınların üzləşdiyi sosial problemləri göstərir, digər tərəfdən isə onların azadlıq və mübarizə ideyasını ön plana çəkir (2).

I.Qadın obrazlarının formalaşmasının sosial-mədəni əsasları

Cəfər Cabbarlı yaradıcılığında qadın obrazlarının formalaşması dövrün ictimai-mədəni şəraiti ilə sıx bağlıdır. XX əsrin əvvəllərində Azərbaycan cəmiyyətində baş verən modernləşmə prosesi qadın məsələsinin aktuallaşmasına səbəb olmuşdur. Maarifçilik hərəkatı qadınların təhsilə cəlb olunmasını və onların hüquqlarının genişləndirilməsini əsas məqsədlərdən biri kimi qarşıya qoymuşdur.

Cabbarlı bu ideyaları dramaturgiyasında əks etdirərək qadın obrazlarını iki əsas istiqamətdə təqdim edir:

- patriarxal mühitin təsiri altında olan qadınlar,
- azadlıq uğrunda mübarizə aparan maarifçi qadınlar.

Bu yanaşma dramaturqun qadın məsələsinə təkcə sosial problem kimi deyil, həm də ideoloji məsələ kimi yanaşdığını göstərir. Onun əsərlərində qadınların hüquqsuzluğu, sosial asılılığı və mənəvi sıxıntıları real həyat hadisələri fonunda təsvir olunur (1, 10).

Cəfər Cabbarlının yaratdığı qadın obrazları yalnız fərdi taleləri əks etdirmir, eyni zamanda cəmiyyətin ümumi inkişaf istiqamətini göstərir. Dramaturq qadın azadlığını sosial tərəqqinin əsas şərtlərindən biri kimi təqdim edir. Onun əsərlərində qadınların təhsili xüsusi vurğulanır. Təhsil qadının özünü dərk etməsi, hüquqlarını tanıması və cəmiyyətdə fəal mövqe tutması üçün əsas vasitə kimi təqdim olunur. Bu baxımdan

Cabbarlının yaradıcılığı maarifçi ideyaların bədii ifadəsi kimi çıxış edir. Eyni zamanda, dramaturq patriarxal düşüncə sistemini tənqid edir və qadına qarşı stereotiplərin aradan qaldırılmasının vacibliyini vurğulayır. Bu isə onun əsərlərinə yalnız ədəbi deyil, həm də sosial-fəlsəfi dəyər qazandırır.

II.Cəfər Cabbarlı dramaturgiyasında qadın azadlığı ideyası

XX əsr Azərbaycan dramaturgiyasında qadın azadlığı ideyasının ən parlaq nümunələrindən biri də Cəfər Cabbarlının "Sevil" əsərində öz əksini tapır. Əsəri oxuduqda diqqətimi cəlb edən məqamlardan biri, dramaturqun bu əsərdə qadının azadlığa gedən yolunu formalaşmasını birdən-birə deyil də daxili oyanış nəticəsində baş verən bir proses kimi təqdim etməsidir. Əsərin əvvəlində Sevil patriarxal mühitin təsiri altında yaşayan, savadsız və ərindən tam asılı vəziyyətdə olan qadın kimi təqdim olunur. Onun həyatının əsas məqsədi Balaşa xidmət etmək və onun razılığını qazanmaqdır. Balaş isə Sevili cəmiyyət qarşısında utanc mənbəyi kimi görür, hətta qonaqların qarşısına çıxarmaqdan belə çəkinir. Balaşın Sevilə qarşı bu münasibəti qadının ailə daxilində şəxsiyyət kimi deyil də, sadəcə sosial statusu aşağı olan bir varlıq kimi qəbul edilməsinin bariz göstəricisidir. Balaşın ona qarşı hörmətsiz davranması əsərdə qadının cəmiyyətdəki zəif mövqeyini açıq şəkildə göstərir. Sevil ərinə sədaqətli olsa da, Balaş onun fədakarlığını qiymətləndirmir, əksinə onu hər daim əzir. Sevilin bütün çətinliklərə dözüb, hər daim Balaşın yanında olub ona dəstək olaraq çətin zamanında onu tərk etməməsi, lakin Balaşın bunlara əhəmiyyət verməyərək maddi imkan əldə etdikdən sonra onu tərk etməsi Balaşın mənəviyyatsız olduğunun göstəricisidir. Balaşın Dilbərlə evlənməsi isə qadının dəyərinin zahiri görünüş və sosial statusla ölçüldüyünü göstərir. Əsrdə diqqətçəkən məqamlardan biri Sevilin çadrasını yerə atmasıdır. Bu mühüm dramaturji məqamdır və bu hadisə qadının daxili oyanışını simvolizə edir. Sevil bu addımı ilə cəmiyyətin ona qoyduğu məhdudiyyətlərə qarşı etiraz edir. Əsərdə bizə məlum olur ki, qadının azadlığı yalnız çadrasını açmaqla məhdudlaşmır, Sevilin təhsil alması, yeni həyat tərzi qazanması onun şəxsiyyət kimi formalaşmasına səbəb olur və nəticəsində Sevil artıq əvvəlki aciz və asılı qadın deyil, müstəqil düşünən, azad qadına çevrilir. Əsərin finalında Balaşın Sevilə qayıtmaq istəməsi, lakin Sevilin artıq əvvəlki kimi emosional asılılıq içində yaşayan qadın olmaması, öz dəyərini başa düşərək Balaşı rədd etməsi öz müstəqil həyat yolunu seçməsi özünü dərk etməsinin və şəxsiyyət kimi formalaşmasının göstəricisidir. Qadının gücünün göstəricisidir (1, 7). Cəfər Cabbarlının maarifçi ruhlu, qadın azadlığını və cəmiyyətin tərəqqisini tərənnüm edən əsərlərdın biri də "Almaz" pyesidir. Almaz əsəri Azərbaycan ədəbiyyatında qadın azadlığı mövzusunu ön plana çəkən önəmli dram əsərlərindən biridir. Bu kitab yalnız əsər deyil, həm də düşüncə çağrışıdır. Əsərin baş qəhrəmanı Almaz savadlı, mübariz, müasir və maarifçi düşüncəyə malik qadındır. O, yalnız əlində çamadanı olan gənc bir müəllimə deyildi. O, qaydaları pozaraq rahatlığı qaçıran bir fırtına idi. O, yalnız şəxsi azadlıq əldə etməyə çalışmır, həm də cəmiyyətin dəyişməsi və qadınların hüquqlarının genişlənməsi uğrunda mübarizə aparırdı. Almazın əsas məqsədi qadınların təhsilə cəlb olunması, onların ictimai həyatda da fəal iştirak etməsi və patriarxal düşüncə modelinin sarsıdılması idi. O, kəndə müəllim kimi gəlir və köhnə düşüncələrə qarşı mübarizə aparır.Kənddə ki bəzi insanlar onun yeni fikirlərini qəbul etmir və buna görə də ona qarşı çıxırlar. Almazın fəaliyyəti kənd mühitində ciddi müqavimətlə qarşılaşır. Patriarxal düşüncəyə malik insanlar qadının belə fəal mövqe tutmasını qəbul edə bilmirlər. Onu məğlub edə bilməyən qüvvələr başqa üsula əl ataraq Almazı əxlaqsızlıqda ittiham edirlər. Cəmiyyətimizdə bir qadını nüfuzdan salmağın ən ideal yolu məhz onun namuzuna toxunmaqdır. Belə bir mühitdə qadının ictimai dəyəri ilk növbədə əxlaq anlayışı ilə ölçülür. Almaz bu böhtan qarşısında sınmır. Lakin onu sarsıdan bir məqam var idi. İnandığı sevdiyi adamın Fuadın ondan şübhələnməsi idi. Bu ona ağır zərbə idi. Kəndlilərin Almazdan qorxmasınən onu təhlülə hesab etmələrinin səbəbi isə Almazın gizli qalan bütün çətinkikləri üzə çıxarmasında idi. Almaz bu yolda tək mübarizə aparsa belə əyilmir. Və o bizə sübut etdi ki, bir nəfərin səsi ilə də dünya dəyişə bilər (1, 55).

Nəticə

"Qadını təhsil görməyən cəmiyyət heç bir uğur qazana bilməz. Heç nə əldə edə bilməz". demişdir Xalid Hüseyni (4). Qadının təhsilli olması o cəmiyyətin güclənməsi deməkdir. Təhsilli qadın daha ədalətli cəmiyyət qurur. Bizim cəmiyyət bir qadının təhsil almasından qorxur. Bunun başlıca səbəbi cəmiyyətdə, patriarxal düşüncədə qadına hər zaman "itaət edən" rolunun verilməsidir. Lakin təhsil alan qadın itaət etmir, razı olmur, haqlarını tanıyır, dəyərini bilir. Bu isə köhnə güc balansının dağılması deməkdir. Cəmiyyətimizdə bəzi kişilər qadınların savadlı olmasından qorxurlar, buna səbəb isə kişi üstünlüyünün, gücünün itirilməsindən qorxulmasıdır. Halbuki bu əsla belə deyil. Bir kişinin qadının savadlı olması onun ortağının olması deməkdir. Mirzə Ələkbər Sabirin dediyi kimi "Qadını cahil saxlayan millət özünü zəncirləyir.

ƏDƏBİYYAT

1. Cabbarlı, C. (2005)**.** Əsərləri. Dörd cilddə. III cild**.** Bakı: Şərq-Qərb nəşriyyatı**,** 368 s.
2. Yusifov, H. M., Adıgözəlova, Z. Cəfər Cabbarlı dramaturgiyasında qadın obrazları**.**
3. "Molla Nəsrəddin" jurnalı (1906–1931). Qadın azadlığı mövzusunda materiallar.
4. Hüseyni**,** X. (2007). Min möhtəşəm günəş. Tərcümə edən: Firidun Ağazadə**.** Bakı: Qanun nəşriyyatı**,** 456 s
5. Cabbarlı**, C.** Həyatı və yaradıcılığı**.** Vikipediya**.**

MƏDƏNİ BİRLİK: AZƏRBAYCAN VƏ QIRĞIZ NƏSRİNDƏ MOTİV PARALELLƏRİ

AYTAC ABBASOVA
Laçın rayon M.Səfərov adına Qozlu kənd tam orta məktəbin direktoru
aytacabbasova2020@gmail.com
BAKI, AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ

Bədii əsərləri dəyərli edən müxtəlif meyarlar vardır. Bu meyarlar mənsub olduğu cəmiyyətin mədəni dəyərlərini və mifoloji düşüncə tərzini əks etdirən dinamika rolunu oynayır. Şifahi xalq ədəbiyyatı nümunələri bu dinamikanın ən vacib elementi hesab edilə bilər. Bildiyimiz kimi, folklor və mifoloji elementlər mənsub olduqları cəmiyyətlərin davranışlarını qoruyub saxlayır və gələcək nəsillərə ötürür. Azərbaycan və Qırğız yazılı ədəbiyyatında da xalq yaradıcılığına məxsus ortaq mifoloji elementlər mövcuddur. Bu elementlər günümüzə qədər gəlib çatmasa da, hər iki xalqın yazılı ədəbiyyatına müsbət təsir göstəribdir. Ortaq düşüncə və həyat tərzini nəzərə alsaq, hər iki xalqın yazılı ədəbiyyatında xalq nümunələrindən istifadə yazıçılar üçün əsas missiyaya çevrilibdir. Bu baxımdan, Azərbaycan və Qırğızıstan yazılı ədəbiyyatında təbiət kultlarının, xüsusən də ağac və dağ motivlərinin qeyd edilməsi müəyyən bir fikri ifadə etmək üçün əsas yaradır.

Açar sözlər: Azərbaycan, Qırğız, nəsr, ağac, dağ, kult, ortaq dəyərlər

GİRİŞ

Türk və dünya sivilizasiyalarının mədəniyyət və mifologiyalarında xüsusi yeri olan təbiət kultları ortaq dəyər kimi oxşarlıqlar göstərir. Təbiət kultları içərisində ağaclar geniş bir coğrafiyaya yayılan türk şamanizminin rituallarının əsasını və əksər hissəsini təşkil edir və bu gün də izləri yaşamaqdadır. Türk mədəniyyətinin müxtəlif coğrafiyalarında əfsanə və rəvayətlərdə ağac kultunun ən qədim dövrlərdən bəri mövcud olduğu söylənilə bilər. Ağac cəmiyyət həyatının hər bir sahəsinə yayılaraq insanların əvəzolunmaz elementinə çevrilib. İnsanlar keçmişdən bu günə qədər ağaclardan müxtəlif tələblər irəli sürmüşlər. Bu səbəbdən çox müxtəlif mənalar vermişlər. Bu vəziyyət nəticəsində ağac material olmaqdan çıxaraq mifoloji elementə çevrilir.

Dünya ağacı yuxarı-aşağı, sağ-sol, yer-səma, keçmiş-gələcək, qaranlıq-işıq, həyat-ölüm, erkək-kişi, güney-quzey, mərkəz-kənar, xeyir-şər kimi əksliklərı ehtiva edərək, bir-birinə münasibətdə mənalandırır. Həyati başlanğıc, dirilik, məhsuldarlıq, artım anlayışları da Dünya ağacı ilə ifadə olunur.

Ağac və dağın mifik gücü və kult olaraq daha çox işləndiyi şifahi xalq ədəbiyatı nümunəsi Azərbaycan folklorunda "Kitabi-Dədə Qorqud" dastanı və Qırğız folklorunda isə "Manas" dastanıdır. Hər iki dastan qədimliyi və zənginliyi ilə türk dünyasının min illik yazılı abidəsidir. "Kitabi-Dədə Qorqud" dastanında dağ və ağac kultuna əcdad mifi səviyyəsində yanaşıldığı görünməkdədir. Qədim türklərin mifoloji dünyagörüşündə ağac ilkin həyati başlanğıc hesab edilir və ona xüsusi ehtiram ifadə edilərək sakral münasibət bəslənilirdi.

Türk xalqlarının tapındığı ilkin təbiət varlıqlarından biri də dağ kultudur. Dağa pərəstişlə bağlı olan bu kult, həm Azərbaycan, həm də Qırğız inanclar sistemində xüsusi yer tutur. "Kitabi-Dədə Qorqud" eposundan da

bəllidir ki, oğuzlar dağlara hiss və duyğuları olan bir varlıq kimi yanaşır, onlara canlı bir sima kimi baxırlar, onlarla danışır, dağlara dua və qarış edir, and içir və salam verirdilər. Məsələn, "Dirsə xan oğlu Buğac boyu"nda Buğacın anası oğlunu yaralı görəndə sanki Qazlıq dağını günahkar bilərək ona qarğış edir. "Manas" dastanında İsık göl ətrafındakı Tastar ata dağı müqəddəs məkan seçir və Manasla əlaqələndirir.
Dağ kult olaraq himayə edən, qoruyan, tanrıların yaşadığı müqəddəs yer, ruhların olduğu məkan kimi xalq inancında mühüm yer tutur. "Bəşəriyyətin dağları müqəddəs qəbul etməsi təkcə müqəddəslərin məskunlaşdığı yerlərlə bağlı deyil, həm də dağlara müxtəlif anlayışların və dini motivlərin aid edilməsindən irəli gəlir (5, 166) ".

TƏDQİQATIN METODU

Araşdırmanın tədqiqat metodu olaraq müqayisəli metoddan istifadə edərək təxmini eyni illərdə yazılan əsərlərin ortaq cəhətlərinin araşdırılması üzərində dayanacayıq.

Yazlı ədəbiyyatda ağac və dağ motivinin izləri

Hər iki xalqın yazılı ədəbiyyatında yazarlar çox usta şəkildə ağac və dağdan motiv kimi əsərlərində istifadə etmiş və mükəmməl şəkildə folklor və yazılı ədəbiyyatın əlaqəsinin yaratmışdırlar.
Azərbaycan ədəbiyyatında yazıçı Mövlud Süleymanlının özündə etnoqrafik dəyərləri, arxaik-mifoloji inancları əks etdirən "Köç" (1980) romanında nənə ilə nəvənin bir dialoqunu xatırayaq:
"İmir təzədən doğulan kimi idi. Ağrısından qəfəsdən quş çıxan kimi çıxmışdı. Dünyanı da elə bil təzədən görürdü.
–Sular diridimi, ay nənə? Hara gedir sular?
–Diridi, dərdin alım, hər şey diridi, daş da diridi, daş var ki, bitib böyüyür, hamısının yaradanı var, ağaca balta qaldıranda ağlayır ki, vurma məni.
–Bəs sular hara gedir, nənə?
–Heç yana getmir, dərdin alım, gedib yer üzünün o yanından qayıdır, yenə kəndimizdən keçir.
–Nənə, bu ağacı niyə kəsirlər?
–Daha ağacların səsini eşitmirlər, eşitsələr, kəsməzlər..." (7, 42).
Qırığız ədəbiyyatının məşhur yazıçısı Çingiz Aytmatovun "Ağ gəmi" əsərində balaca oğlan soyuq qış gecəsində babası ilə söhbət edir və babası ona nağıl danışır. Eyni ilə baba və nəvənin həmin epizodunu xatırlayaq: "O özünü azman hesab edərək üzünü o dağlara tutub, ucadan deyirdi: "Dağlar, qorxmayın! Mən buradayam. Mən nə küləkdən, nə zülmətdən, nə tufandan qorxuram, siz də qorxmayın. Öz yerinizdə dayanın, bir yerə yığışmayın. Sonra mən qar tağlarını yarıb gedərdim, çaylardan adlayardım, gəlib çıxardım meşəyə. Axı gecələr meşələrdə ağaclar da qorxurlar. Onlar təkdirlər, hayanları yoxdur. Çılpaq ağaclar soyuqdan titrəyir, daldalanmağa yerləri yoxdur. Mən meşədə gəzərdim, hər ağacın gövdəsinə əl vurub ürəkləndirərdim ki, qorxmasın. Yəqin, baharda göyərməyən ağaclar məhz o ağaclardır ki, onlar qorxudan donubdur. Sonra biz bu qurumuş ağacları qırıb odun eləyirik" (1, 112).
Hər iki xalqın yazılı ədəbiyyatında eyni illərdə yazılımış əsərlərdə ağac və dağ bənzər motiv kimi qarşımıza çıxır. Ağaclar və dağlar diridir, onlar da insanlar kimi nəfəs alır, yaşayır və qorxur.
Çingiz Aytmatovun yaradıcılığında "Ağ gəmi" (1) və "Gün var əsrə bərabər" (1) əsərində ağac motivinə rast gəlirik. Maraqlıdır ki, burada qovaq, söyüd, şam ağacı, ən əsas da ağcaqayın ağacının simvolik mənaları işlənir. "Buynuzlu ana maral" buynuzunda ağcaqayın ağacından düzəlmiş beşik gətirmiş və ağacdan asmışdır. Bunun mənası uşağın sağ salamat olması və dünyaya gəlməsi ilə bağlı idi.
Qədim türklər, o cümlədən Azərbaycan türkləri tarixən günəş, ağac, su, dağ və s. kimi təbiət obyektlərinə insan kimi yanaşmış, bu obyektlərin obrazını kultlaşdıraraq onlarla bağlı bir çox inanc və mərasimlər sistemi yaratmışlar.
Xalq yazıçısı Elçin 1984-cü ildə qələmə aldığı məşhur "Ağ dəvə" əsərində tez-tez ağaclarla bağlı aşağıda nümunə kimi verdiyimiz cümlələrə bənzər ifadələr işlədərək onların sanki şüurlu bir canlı olmasını, insan kimi danışa, gülə, ağlaya bilməsini göstərmişdir.
"O tut ağacının ağlamağı indiyədək yadımda qalıb" (4, 161), "Yüngül bir meh əsdi və o yüngül meh o qollu-budaqlı söyüdün yenicə göyərməyə başlamış körpə yarpaqlarını tərpətdi və mənə elə gəldi ki, əslində o yarpaqlar məni salamladı" (4, 183-184), "Mənim söyüdüm güldü" (4, 184) və s.
Bütün bu nümunələr bizə "Kitabi-Dədə Qorqud" dastanında Uruzun ağacla danışmasını xatırladır. Belə ki, eposun ikinci boyu olan "Salur Qazanın evinin yağmalanması"nda düşmənə əsir düşən Uruzun asılacağı ağacla danışması oğuz türkləri arasında ağacın canlı, diri bir varlıq kimi təsəvvür edilməsi düşüncəsinin mövcudluğundan xəbər verir.

Prof. C.Bəydilinin "Türk mifoloji sözlüyü" kitabında qeyd edildiyi kimi, Azərbaycan dekorativ-tətbiqi sənəti nümunələrindən hər hansı birinin kompozisiyasında da ağac artım, həyatın başlanğıcı ideyasının rəmzi kimi mərkəzi yer tutmuşdur (4, 19).

Bədii əsərlərdə ağac kultu ilə yanaşı, dağ kultuna aid müxtəlif obrazlar yaranmışdır. Dağ əyəsi, dağlı arvad, dağ ana (Alvız) (6, 69) və s. obrazları vardır. Yazıçı Elçinin 1982-ci ildə qələmə aldığı "Mahmud və Məryəm" romanında biz dağ kultu ilə bağlı inancı görürük. Əsərdə Dağlı arvad obrazı var, bu obraz "dağ əyəsi" adlanır. Dağa inam və pərəstiş, dağın müqəddəs tutulması mifoloji düşüncədə onun kosmoqoniya, yəni yaradılış ilə bağlı obrazını yaratmışdır. "Oğuz Kağan" dastanında biz dağın yaradıcı başlanğıc olduğunun şahidi oluruq. Belə ki, Oğuzun oğlanlarından birinin adı Dağ xandır ki, o da Oğuz etnosunun yaranmasında birbaşa kosmoqonik başlanğıc kimi iştirak edir.

"Mahmud və Məryəm" romanında yazılır: "Mahmud bu sözləri deyə-deyə atın başını döndərib çapdı. Çaldıran düzündən uzaqlaşdı, amma elə bil Dağlı Arvad dağlardan enib Çaldıran düzünə gəlmişdi – Mahmudun sözləri qarğa-quzğunun səsi ilə bir müddət əks-səda verdi" (4, 324).

Romandan sitat gətirilən hissədə dağ uşağın sığındığı, himayə olunduğu məkan kimi verilir. F.Bayatın da qeyd etdiyi kimi, "Çətin zamanlarda dağa sığınma dağın atalıq funksiyası ilə bağlıdır. Tarixi və yarı əfsanəvi mənbələrdə türklərin düşmənlərindən qaçaraq dağa və dağ keçitlərinə sığınmasını görə bilirik (2, 24)". Romanda qeyd edilir ki, övladı olmayan insanlar dağda çarə axtarırlar və arzularına çatırlar. Dağ müqəddəsliyə aid olan yer kimi kult inancına istinad edir.

NƏTİCƏ

Türk etno-mədəni ənənəsində hər bir ağac və dağın canlı varlıq olduğuna inanılır. Dağ, ağac və bitki dünyası ilə mənəvi birlik, insanların, nəsillərin, qəbilələrin və icmaların bitki örtüyü ilə əlaqəsi türk ənənəsində olduğu qədər heç bir başqa xalq inancında görünmür. Türk inanc sistemində rast gəlinən kultlar müxtəlif dövrlərdə müxtəlif formalarda ortaya çıxmışdır. Tanrılar və ruhlarla başlayan türk mifologiyası və şamanizmi xüsusilə müqəddəs və ya uzaq adları tabu hesab edir. "Kitab-i Dədə Qorqud" və "Manas" dastanlarından başlayan bu inanclar sonralar yazılı ədəbiyyatda istifadə edilmişdir.

Azərbaycan-Qırğız nəsrində 1980-ci illərdən sonrakı dövrdə yazılmış yazılı ədəbiyyat nümunələrində dağ və ağac kultunu izlərini araşdırarkən tanınmış roman yazarlarının əsərlərində yer alması təsadüfi deyildir. Yazıçı Elçinin "Mahmud Məryəm" və Çingiz Aytmatovun "Ağ gəmi" romanların dağ və ağac kultunun geniş işləndiyini görürük. Ümumiyyətlə, hər iki yazarın əsərlərinə nəzər saldıqda folklor motivi, xalq inanaclarından milli kökə qayıdış, yardılışın başlanğıcı və xalqın qədim və zəngin inanclar sistemini yaşatmaq və yaddaşlarda təzələmək missiyası məqsədilə istifadə etdiyini görmək mümkündür.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Aytmatov Ç. Seçilmiş əsərləri. Öndər nəşriyyatı (Kitab). Bakı/Azərbaycan. 2004:2-384
2. Bayat, F. "Türk Mitolojisinde Dağ Kultu", Folklor/ Edebiyat, C.12, İstanbul. 2006
3. Bəydili (Məmmədov) C. Türk mifoloji obrazlar sistemi: struktur və funksiya. Bakı, Mütərcim, 2007, 272 s.
4. Elçin. Seçilmiş əsərləri. Bakı: Avrasiya Press, 2005, 424 s.
5. Mustafa B. Dinlerde ve Geleneksel Türk İnanışlarında Dağ Kültü, Çukurova Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi 13 (1), 165-179
6. Seyidov M. Azərbaycan mifik təfəkküründün qaynaqları. Bakı: Yazıçı, 1983, 326 s.
7. Süleymanlı M. Üç roman. Bakü, Azerbaycan yayınevi, 2004, 584 s.

"FÖVCÜL- FÜSƏHA " ƏDƏBİ MƏCLİSİNƏ MÖVLANƏ FÜZULİ TƏSİRİ

Filologiya üzrə fəlsəfə doktoru NƏRMİN MƏMMƏDOVA
AMEA –nın Folklor İnstitutunun elmlər doktoru üzrə dissertantı
5716.01 – Azərbaycan ədəbiyyatı
ele.eliyev@gmail.com
LƏNKƏRAN, AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ

Bu məqalədə Lənkəranda fəaliyyət göstərmiş "Fövcül- füsəha" ədəbi məclisinin klassik irsi araşdırılaraq onun Azərbaycan ədəbi mühitində tutduğu yer müəyyənləşdirilir. Araşdırmada klassik poeziyanın böyük nümayəndəsi Məhəmməd Füzuli yaradıcılığının məclis üzvlərinə təsiri xüsusi olaraq təhlil olunur. Məqalədə göstərilir ki, Füzulinin qəzəl janrındakı poetik ənənələri, dil və üslub xüsusiyyətləri "Fövcül-füsəha" şairlərinin yaradıcılığında davam etdirilmiş, bu da klassik ədəbi irsin qorunub saxlanmasına və inkişafına mühüm töhfə vermişdir. Məqalədə həmçinin məclisin yerli ədəbi mühitinin zənginləşməsində, şairlərin formalaşmasında və milli ədəbi ənənələrin yaşadılmasında oynadığı rol elmi əsaslarla təqdim olunur.

AÇAR SÖZLƏR: Lənkəran, "Fövcül- füsəha", ədəbi məclis, Məhəmməd Füzuli, klassik irs

GİRİŞ

Lənkəran ədəbi mühiti XIX əsrin sonları XX əsrin əvvələrində çiçəklənməyə
başlamışdır. Bölgədə formalaşan "Fövcül- füsəha" ədəbi məclisi bu inkişafın əsas göstəricilərindən biri idi. Tədqiqatın əsas məqsədi "Fövcül- füsəha" ədəbi məclisinin fəaliyyətini və bu mühitdə Məhəmməd Füzuli poetik ənənələrinin təsirini aşardırmaq, vəzifəsi isə məclisin yaranma şəraitinin öyrənilməsi, iştirakçı şairlərin yaradıcılığının təhlili və Füzuli irsinin onların əsərlərində təzahür formalarının müəyyənləşdirilməsi daxildir.

Mövzu klassik ədəbi irsin müasir dövrdə yenidən dəyərləndirilməsi baxımından aktualdır. Xüsusilə Füzuli ənənələrinin regional ədəbi mühitlərdə necə yaşadılması və inkişaf etdirilməsi Azərbaycan ədəbiyyatşünaslığı üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Tədqiqatda "Fövcül-füsəha" məclisinin fəaliyyəti Füzuli poetikası kontekstində sistemli şəkildə təhlil olunur. İlk dəfə olaraq məclis üzvlərinin yaradıcılığında klassik ənənələrin konkret xüsusiyyətləri müqayisəli şəkildə araşdırılır.

Məqalənin nəticələrindən ali və orta ixtisas təhsil müəssisələrində Azərbaycan ədəbiyyatı fənninin tədrisində, eləcə də ədəbi mühitlərin öyrənilməsinə dair tədqiqatlarda istifadə etmək mümkündür.

Tədqiqat zamanı tarixi-müqayisəli, mətn təhlili və sistemli yanaşma metodlarından istifadə olunmuşdur. Metodologiya klassik ədəbiyyatın nəzəri prinsiplərinə və müasir ədəbiyyatşünaslıq yanaşmalarına əsaslanır.

ƏSAS HİSSƏ

Məhəmməd Füzulinin Yaxın Şərq ədəbiyyatına təsiri "Qədim və Orta əsrlər Azərbaycan ədəbiyyatı" kitabında belə vurğulanır: "XVI əsr Azərbaycan ədəbiyyatınımn mühüm xüsusiyyəti sənətkarlığın güclənməsi, sözün zərgər dəqiqliyi ilə cilalanması, zəngin, çoxcəhətli obrazların meydana çıxmasıdır. Həbibi və Hamidi kimi sənətkarların yaradıcılığında artıq zirvəyə çatır. Füzuli əsrin birinci yarısında Azərbaycan dilində yaranan poeziyanı Şərq və dünya şeirinin ən yüksək poetik əsərləri səviyyəsinə çatdırır. Azərbaycan poeziyası məzmun və forma cəhətdən yeni bir əlçatmazlıq qazanır. Füzuli irsi Azərbaycanda İntibahın ən yüksək ifadəsi oldu. Həm də təkcə Azərbaycanda deyil, bütün Yaxın və Orta Şərqdə bu dövrün intibahının ən yüksək təzahürü, zirvəsi kimi meydana çıxdı. Bu dövrdə Ərəbistanda, İranda, Özbəkistanda, hətta Türkiyədə Füzuli səviyyəsində dayana biləcək sənətkara rast gəlmirik. Halbuki Türkiyənin siyasi-ictimai həyatındakı müvəffəqiyyətləri nəticəsində burada intibah ziyalıları – alimlər, şairlər, səyyahlar və memarlar hələ çox idi. Füzuli üç dildə yüksək poetik əsərlər yaratmaq, qələmini bütün janrlarda sınamaq, şeirdə, nəsrdə, epik və lirik janrlarda, alleqorik formalarda zəngin bir irs yaratmışdır. Fəlsəfi məsələlərdən bəhs edən ayrıca əsər yazmaqla bərabər bir sıra tibbi və pedoqoji fikirlərini ifadə etmək üçün ədəbi piryomlardan istifadə etmiş, habelə ən yaxşı tərcüməçi olmuşdur. İntibah ziyalısı kimi əsrinin hadisələrinə fəal müdaxilə etmək, humanizmə və tərəqqiyə çağırmaq onun bütün həyat və yaradıcılığının əsas keyfiyyəti olmuşdur. Zaman Füzuli sənəti ilə ağlın harayını, gücünü, hissin yüksək qüdrətini ifadə etmişdir. Yaxın və Orta Şərqin böyük intibah mədəniyyətini dərindən öyrənən, tarixi inkişafın haraya getdiyini aydın görən, bir çox ölkələrdə intibahın artıq gerilədiyini duyan Füzuli narahat olur, dövranın nəzmi xar etmək,

“biizzətü bietibar etmək” istədiyini başa düşürdü. Ona əlac etməyə, Azərbaycan dilində nəzmi-nazikin yeni gözəl nümunələrini yaratmağı qarşısına məqsəd qoyur və buna uğurla nail olur” (Səfərli Ə. s.205-206).
Məhəmməd Füzuli yalnız Orta əsrlər Azərbaycan poeziyasının yox, bütövlükdə oğuz türklərinin nəhəng söz ustadıdır. Füzuli yaradıcılığı bəşəri ideyaları əks etdirən, onu daha yüksən mənəvi və estetik dəyərlərlə zənginləşdirən bir zirvədir. Bu zirvənin sahibi yalnız poetik ustalıq nümayiş etdirməmiş, eyni zamanda insanın mənəvi kamilliyə, ilahi həqiqətə və mənəvi azadlığa doğru yolunu bədii şəkildə ifadə etmişdir. Onun yaradıcılığında eşq yalnız emosional hiss deyil, həm də insanı Tanrıya yaxınlaşdıran mənəvi mənəvi qüvvə kimi təqdim olunur. O, fars və ərəb ədəbiyyatının formalarını Azərbaycan dilinin poetik imkanları ilə birləşdirərək türkcə poeziyanın müstəqil, kamil bir səviyyəyə yüksəlməsinə təkan vermişdir. Onun təsir qüvvəsi söz sənətimizə özündən sonrakı bütün dönəmlərdə təsir etmiş və hələ də təsir etməkdədir.
Lənkəran ədəbi mühitində Füzulinin təsiri ilk növbədə qəzəl janrının inkişafına özünün göstərmişdir. Füzuli qəzəlləri yüksək lirizmi, dərin hiss və düşüncə vəhdəti ilə seçildiyindən, Lənkəran şairləri bu janrda yazmağı bədii ustalığın göstəricisi hesab etmişlər. Demək olar ki Lənkəran ədəbi mühitində “Fövcül-füsəha” məclisinin bütün üzvlərinin yaradıcılığında Füzuli ənənələri, Füzuli ruhu duyulmaqdadır.
Məhəmməd Füzulinin ilahi eşq və tasavvüf motivlərini ehtiva edən şeirləri bölgə ədəbi mühitində şairlərin ilham qaynaqlarından olmuşdur. Onun böyük ustalıqla qələmə aldığı və ilahi eşqi özündə əks etdirən:
Ey deyən kim, şami-iqbalın nə üzdən tirədir?
Sayə salmış ayə ol geysuyi-ənbərsayə bax.

Ey Füzuli, hər necə mən’ eyləsə naseh səni,
Baxma onun qovlinə, bir surəti-zibayə bax. (Məhəmməd F. I c. s.94).
“Bax” rədifli qəzəlinə M.İ.Qasir aşağıdakı nəziräni yazmışdır:
Turşru baxmaqla can almaq xəyalın var isə,
Canım asanraq çıxar, baxsan mənə, məstanə bax!

Bir pərizadə məni hər kimsə bilsə mailəm,
Kim deməz Qasir olubdur aşiqü divanə bax! ” (Qasir M.İ., s.442).
Füzuli yaradıcılığından bəhrələnən ilahi eşq motivləri Mirzə İsa Xəyalinin yaradıcılığında da duyulmaqdadır:
Aşiqin bəxti gərək kəsvəti – ziynət geyinə,
Xam imiş eşqdə Məcnun özün üryan elədi.

Bu haman eşqdu Peyğəmbərə həm caiz olub,
Atanə qırx il oğul firqəti giryan elədi.(Talışlı M. s.143)
Göründüyü kimi Füzulinin eşq fəlsəfəsinə əsaslanan bu misralarda “eşq” həm məcazi, həm də ilahi çalarda təqdim olunur. Xəyali eşqin mahiyyətini, insan ruhunda yaratdığı dəyişiklikləri və tarixi – dini nümunələrdə onun təcəllisini göstərir. Aşiqin xoşbəxtliyi və qismәti “kəsbət” yəni sərtlik, çətinlik, məşəqqət libası ilə təsvir edilir. Şair demək istəyir ki, eşqin yolu əzabdan keçir, həqiqi aşiqlik rahat deyil, çətinliklələ bəzənir. Məcnun obrazı eşqin ən uca nümunəsi kimi təqdim olunur. Şair bildirir ki, eşq əslində insanlara xam yəni tam dərk olunmamış bir məna kimi görünürdü. Lakin Məcnun özünü üryan etməklə - həm mənəvi, həm də fiziki təcrid və fədakarlıqla eşqin həqiqi mahiyyətini açıb göstərdi. “Üryan olmaq” burada simvolikdir: dünya libasından soyunub saf eşq məqamına yüksəlmək deməkdir. Eşqin ilahi kökünü vurğulayan şair onun yalnız insanlara məxsus deyil, peyğəmbərlərə də layiq görülmüş bir hal olduğunu vurğulayaraq əslində elə ilahi eşqi ön plana çəkir. Çünki sufi baxışına görə peyğəmbərlər də ilahi eşq daşıyıcılarıdır. Sonuncu misrada Hz. Yaqub və Hz. Yusif hekayəsinə işarə edən şair Yaqubun oğlunun yoxa çıxmasından sonra qırx il ağlaması, “firqət” – ayrılıq motivi eşqin ən acı tərəfini göstərir. Burada eşqin bir növ irticalı, ilahi mənşəli kədəri vurğulanır. Bu həm də onu göstərir ki, ayrılıq belə eşqin bir mərtəbəsidir. Beləliklə, Xəyali Füzulisayağı tərzdə eşqi həm poetik, həm də sufi- fəlsəfi kontekstdə təqdim edilir: eşq insanı əzaba düçar edir, lakin kamilləşdirir, üryanlaşdırır amma ucaldır, yandırır amma nur verir.
Xəyalinin başqa bir qəzəlində də eyni motivləri duyuruq, lakin bu dəfə ilahi eşq deyil, dünyəvi eşq əyninə geyindiyi öz sadə əlbisəsi ilə aşiqləri kamil və aqil olmağa çağırır:
Vüsalın ta deyil mümkün tutam həmdərd dövrəndə,
Kişi ki, oldu bizər olmaz ona aşina peyda. (Talışlı M. s.143)
Göründüyü kimi, Füzuli yaradıcılığı Azərbaycan ədəbi – bədii təfəkkürünün formalaşmasında ən fundamental mərhələlərdən biri olmuşdur. Qeyd etmək lazımdır ki, onun poetik estetik – sistemi - eşq

fəlsəfəsi, kədər və kamal idealı, insanın mənəvi yetkinliyinə yüksəlmək ideyası – yalnız klassik dövrdə deyil, müasir ədəbi mühitlərdə də inkişaf etmiş, müxtəlif bölgələrdə öz davamçılarını yetişdirmişdir. Bu kontekstdə Lənkəran ədəbi mühiti xüsusi diqqət çəkir. Çünki təkcə əvvəlki dövrlərdə deyil müasir ədəbi mühitdə də biz Füzuli ənənələri ilə qarşılaşırıq. Füzuli yalnız klassik irsin nümayəndəsi kimi deyil, həm də müasir Lənkəran poeziyasının ideya- estetik qaynağı kimi çıxış edir. Füzuli irsi bu mühitdə sadəcə xatırlanan deyil, yaradıcı şəkildə yenidən işlənən və yeni bədii istiqamətlərə yol açan canlı estetik sistem kimi fəaliyyət göstərir.

NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqat göatəri ki, "Fövcül- füsəha" ədəbi məclisi Azərbaycan ədəbi mühitində klassik ənənələrin qorunub saxlanması və inkişaf etməsində mühüm rol oynamışdır. Məclis üzvlərinin yaradıcılığında Məhəmməd Füzuli poetikasının təsiri aydın şəkildə müşahidə olunur, bu təsir xüsusilə qəzəl janrında, bədii ifadə vasitələrində və lirizimdə özünün göstərir Eyni zamanda müəyyən edilir ki, məclis yalnız klassik irsi təkrar etməmiş, onu yerli xüsusiyyətlərlə zənginləşdirərək yeni ədəbi salarlar yaratmışdır. Bu isə "Fövcül-füsəhan" nən regional ədəbi mühitdə yaradəcə və davamlı bir məktəb kimi fəaliyyət göstərdiyini sübut edir. Nəticə etibarilə, məclisin fəaliyyəti Azərbaycan ədəbiyyatında klassik ənənə ilə müasir yanaşmanın vəhdətini əks etdirən mühüm mərhələ kimi qiymətləndirilə bilər.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1. Qasir M.İ. "*210" - Bakı; "Şərq –Qərb" nəşriyyatı, 2015. – 506 s.*
2.. Məhəmməd F. *Əsərləri. Altı cilddə. I cild. Bakı, "Şərq-Qərb", 2005, 400 səh.*
3. Talışlı M. *Seçilmiş əsərlər - Bakı; "Adiloğlu", 2007, - c.1.- 392 s.*
*4.*Səfərli Ə. *Qədim və Orta əsrlər Azərbaycan ədəbiyyatı. Ali məktəb tələbələri üçün dərslik – Bakı: Maarif, – 1982. – 388 s.*

AZƏRBAYCAN NAĞILLARINDA KONTAMİNASİYALARIN NÖVLƏRİ VƏ ÜSULLARI

DÜRNİSƏ SƏFƏROVA ŞƏFİZADƏ
Elm və innovasiya şöbəsi,
Bakı Mühəndislik Universiteti,
dseferova@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan
0009-0001-7997-3723

Xülasə: Azərbaycan folklorunun epik janrları içərisində nağıllar mühüm yer tutur. Azərbaycan nağılları Azərbaycan xalqının dünya görüşünü, həyata münasibətini, zülmə qarşı mübarizəsini, gələcək üçün arzularını və inamını əks etdirən şifahi xalq ədəbiyyatının çox qədim və geniş yayılmış növlərindəndir. İlk nümunələri uzaq keçmişlərdə yaranan nağıllar nəsillərdən-nəsillərə keçərək zənginləşmiş və zəmanəmizə qədər gəlib çatmışdır. Bu zəngin xalq yaradıcılığı örnəkləri ilkin təsəvvürləri, inamları, adət-ənənələri öyrənmək üçün zəngin material verir. Nağılı digər epik janrlardan fərqləndirmək istəyən tədqiqatçılar janrın əsas xüsusiyyətini müəyyən etməyə çalışmışlar. Məqalədə Azərbaycan nağıllarında kontaminasiyaların növləri və üsullarından bəhs olunur.

Açar sözlər: kontaminasiya, nağıl, süjet birləşmələri, üsul

GİRİŞ

Nağıllar folklorun ən çox araşdırılan və tədqiq olunan janrlarından biridir. Onların bu qədər öyrənilməsi təkcə bu janrın süjet tərkibinin zənginliyindən qaynaqlanmır, eyni zamanda nağıllarda istifadə olunan bədii təsvir vasitələrinin, epitetlərin, üsul və priyomların müxtəlifliyindən irəli gəlir. Müəyyən epizod və fəaliyyətlərin üçlənməsi, formullar, hiperbolalar və digər təhkiyyə elementləri nağıl mətnini bədii cəhətdən zənginləşdirmiş, onu folklorun əsas janrlarından birinə çevirmişdir. Ona görə də nağıl mətnlərinin tədqiqi hər zaman diqqətdə saxlanılmış, şifahi ənənənin öyrənilməsində, onun inkişafında söyləyicinin rolunun

müəyyənləşdirilməsində həmişə mühüm rol oynamışdır. Nağılların təsnifatı ilə məşğul olan çox az adam tapmaq olar ki, kontaminasiya problemi ilə qarşılaşmasın və ya ondan yan keçsin. Nağılların hansı süjetlərdən təşkil olunması, süjetlərin sərhədinin müəyyənləşdirilməsi, kontaminasiyaların fərqləndirilməsi onların qarşılaşdığı və cavab tapmağa çalışdığı əsas problemlərdən biridir. A.Aarne, S.Tompson, həmçinin həmin sistem əsasında hazırlanmış kataloqlarda kontaminasiyaları müəyyənləşdirməyin dəqiq prinsiplərinin verilməməsi süjetlərin fərqləndirilməsi zamanı ciddi problemlərin yaranmasına səbəb olmuşdur. M.H.Təhmasib hələ 1960-cı ildə beş cildlik "Azərbaycan nağılları" toplusunun birinci cildində nağılların Aarne-Andreyev kataloqu əsasında süjet göstəricisini verərkən eyni problemlə qarşılaşmışdır. Tərtibçi topludakı nağılların süjet nömrəsini versə də, süjetlərin sərhədi haqqında dəqiq təsəvvürün olmaması, kontaminasiya haqqında biliklərin natamamlığı üzündən xaotik bir göstərici alınmışdır.

Kontaminasiya latınca *dolaşıqlıq, qarışıqlıq* anlamına gələn *contaminatio* sözündən yaranıb və müxtəlif elm sahələrində istifadə olunur. Tarixi hadisələrin təsviri zamanı iki və daha artıq hadisənin qarışdırılmasını tarixçilər bu adla adlandırırlar. Ədəbiyyatda iki və daha artıq hadisənin təsvir zamanı birləşdirilməsinə kontaminasiya deyilir. Dilçilikdə bu ad altında struktur oxşarlığı, semantik və ya funksional yaxınlıq nəticəsində iki söz və ifadənin hissələrinin birləşməsi, çarpazlaşması yolu ilə yeni söz və ifadənin təşkili başa düşülür. Kontaminasiya yalnız şifahi ədəbiyyata məxsus hadisə deyil, yazılı ənənədə də ondan geniş istifadə edilib, "Min bir gecə", "Kəlilə və Dimnə", "Qırx dərviş" kimi möhtəşəm abidələr məhz süjet birləşmələrindən təşkil olunublar. Bu əsərlərin təkcə şərqdə deyil, bütün dünyada məşhur olmasında, sevilən əsərlərdən birinə çevrilməsində kontaminasiyanın böyük rolu vardır. Məhz kontaminasiya bu əsərlərə epik genişlik qazandırıb, onları müxtəlif taleləri, personajaları bir hədəf ətrafında birləşdirən nəhəng əsərlərə çeviribdir. Həm yazılı, həm də şifahi ənənədə bu qədər mühüm rol oynamış, yeni-yeni nağılların, əsərlərin yaranmasına rəvac vermişdir.

TƏDQİQAT METODLARI

Nağıllarda kontaminasiyaların iki növü olduğu qeyd olunur:

1. Tematik kontaminasiyalar;
2. Personaj üzərində qurulan kontaminasiyalar.

Oxşar məzmunlu, eyni qəhrəman tipli süjetlərin birləşməsinə əsaslanan tematik kontaminasiyalar N.M.Vedernikovanın da ifadə etdiyi kimi *əsas süjetdə bəhs olunan mövzunu gücləndirməyə xidmət edir [1, s.163]*. Məzmun və ideyasından asılı olaraq N.M.Vedernikova nağıllar üçün 3 tematik qrup müəyyənləşdirir:

1) Demonik varlıqlarla mübarizənin əks olunduğu sehrli-qəhrəmanlıq süjetlərinin kombinasiyası;
2) Günahsız təqib olunanlardan bəhs edən süjetlərin kombinasiyası;
3) Sehrli predmet üzərində qurulan kombinasiyalar.

N.M.Vedernikova birinci qrupa "Xilas edilmiş şahzadə qız" (AA 300A), "Kalina körpüsündə döyüş" (AA 300*B), Üç çarlıq (AA 301), Koşşeyin canı yumurtadadır (AA 302), ikinci qrupa "Zoluşka" (AA 510A), "Dəyişdirilmiş gəlin" (AA 403A, B), "Siçan ana" (AA 409), üçüncü qrupa isə "Sehrli üzük" (AA 560), "Qeyri-adi quş" (AA 567) və "Buynuz" (AA 567) süjetlərindən təşkil olunmuş nağılları daxil edir.

Hər üç tematik birləşməyə Azərbaycan nağıl repertuarında da rast gəlinir. Günahsız təqib olunanlar tematik birləşməsi "Dərviş və üç bacı" (TR 311), "Qız və yengə" (TR 533), "Ögey qız" (TR 480), "Axsaxca qız" (TR 450), "Göyçək Fatma" (TR 510A) süjetlərinin kombinasiyasından qurulur. Bu nağılların əsas qəhrəmanı ögey qız və ya kiçik bacıdır. Onlar ögey ana, bibi, dərviş və sair personajlar tərəfindən təqib olunur və bu təqib kombinasiyanı təşkil edən bütün süjetlərdə davam etdirilir və nəhayət, sonuncu süjetdə həqiqətin üzə çıxması və antoqonist personajların cəzalandırılması ilə tamamlanır. Günahsız təqib olunanlar haqqında şifahi ənənədən 27 nağıl yazıya alınmışdır ki, onların 11-i yuxarıda adı çəkilən süjetlərin kombinasiyası üzərində qurulmuşdur. Bu süjetlərin birləşməsi Azərbaycan şifahi ənənəsində olduqca geniş yayılmışdır. Məsələn, "Ögey ana və ögey qız" (TR 480) + "Axsaxca ceyran" (TR 450) + "Göyçək Fatma" (TR 510A), "Qız və yengə" (TR 533) + "Dərviş və üç bacı" (TR 311) süjet birləşmələrinə 2 mətndə, "Ögey ana və ögey qız" (TR 480) + "Göyçək Fatma" (TR 510A) süjet birləşməsinə 6 mətndə rast gəlinir. Azərbaycan nağıl repertuarında günahsız təqib olunanlar qrupu "Dərviş və üç bacı" (TR 311), "Qız və yengə" (TR 533), "Ögey ana və ögey qız" (TR 480), "Axsaxca qız" (TR 450), "Göyçək Fatma" (TR 510A) süjetlərinin kombinasiyası əsasında təşkil olunursa, şərqi slavyan xalqlarında bu məqsədlə "Ögey ana və ögey qız" (SUS 480), "Dəyişdirilmiş arvad" (SUS 403A), "Siçan ana" (SUS 409) və "Zoluşka" (SUS 510A) süjetlərindən istifadə olunur. Göründüyü kimi, eyni temalı birləşmələr müxtəlif xalqlar arasında müşahidə olunsa da, nağıl repertuarından, süjet seçimindən asılı olaraq onlar arasında

müəyyən fərqlilik müşahidə olunur. Belə birləşmələrin qadın repertuarı üçün xarakterik olduğu vurğulanır [2, s.238].

Belamor nağıllarında və digər xalqlarda olduqca populyar olan sehrli əşyalar haqqında süjetlərin birləşməsi Azərbaycan şifahi ənənəsində geniş yayılmayıb. Sehrli predmet üzərində qurulan kontaminasiyalar oğurlanmış sehrli əşyanın geri qaytarılmasından bəhs edən "Dövlət quşu" (TR 567), "Üç sehrli əşya və qeyri-adi meyvə" (TR 566) və "Sehrli üzük" (TR 560) süjet birləşmələrində müşahidə olunur. Azərbaycan nağıl repertuarında yalnız beş nağılda belə birləşmələrə rast gəlinir. Onlardan biri "Sehrli üzük" (TR 560) + "Üç sehrli əşya və qeyri-adi meyvə" (TR 566), dördü isə "Üç sehrli əşya və qeyri-adi meyvə" (TR 566) + "Dövlət quşu" (TR 567) süjetlərindən təşkil olunub. Kombinasiyanı təşkil edən süjetlər eyni mövzu – oğurlanmış sehrli əşyanın qaytarılması üzərində qurulmuşlar. Məsələn, "Sehrli üzük" (TR 560) və "Üç sehrli əşya" (TR 566) süjetlərindən təşkil olunmuş "Daş üzük" nağılında əsas süjetdə sehrli üzüyün oğurlanması və itlə pişiyin köməyi ilə üzüyün geri qaytarılmasından, növbəti süjetdə isə qəhrəmana atasından miras qalmış sehrli əşyaların oğurlanması və qeyri-adi almanın köməyi ilə oğurlanmış əşyaların geri qaytarılmasından bəhs olunur [3, s.62].

Süjet birləşmələrinin təhlili göstərir ki, tematik kontaminasiyaların sayı N.M.Vedernikovanın müəyyənləşdirdiyi qruplarla məhdudlaşmır. Azərbaycan nağıl repertuarında təsbit etdiyimiz tale oxşarlığı üzərində qurulan kontaminasiyaları da bura əlavə etmək mümkündür. Tale oxşarlığı üzərində qurulan kombinasiyalarda söyləyici personajların taleyi, həyatı arasındakı oxşarlığa dayanaraq onları bir araya gətirir. "Naşükür qız" nağılında əsas süjetdə taleyindən şikayətlənən qızdan, asılı süjetdə qismətindən şikayətlənən kişidən bəhs olunur [4, s.257]. "Əjdaha qız" (TR 411) və "İtmiş ərin axtarılması" (TR 425) süjetlərindən təşkil olunmuş "İlan və qız" nağılında əsas süjetdə ilandan törəyən qızla evlənən tacirdən, növbəti süjetdə isə ilan cildinə girmiş oğlanla evlənən qızdan bəhs olunur Kombinasiya müxtəlif qəhrəmanlar üzərində qurulsa da, taleləri arasındakı oxşarlığa dayanan söyləyicilər onları eyni nağılda bir araya gətirməklə mürəkkəb kompozisiyalı nağıllar yaratmışlar.

Personaj üzərində qurulan kombinasiyalar da Azərbaycan nağıl repertuarında geniş yayılıb. Beş cildlik "Azərbaycan nağılları" toplusundan təhilə cəlb etdiyimiz 70 kontaminasiyadan yalnız 13-ü müxtəlif qəhrəmanlı süjetlərin birləşməsindən təşkil olunmuşdur. Yerdə qalan 57 kombinasiya süjetlərin bir qəhrəman ətrafında cəmləşməsi nəticəsində formalaşmışdır. Məsələn, "Cəlayi-vətən" nağılında əsas süjetdə ananın divlə əlbir olub oğlu Cəlayi-vətəni öldürmək istəməsindən, asılı süjetlərdə isə Cəlayi-vətəni suyun qabağını kəsmiş əjdahanı öldürməsindən, qarının qəhrəmanı daşa döndərməsi, qardaşının onu xilas etməsindən bəhs olunur. Yaxud, "Məlik Məmmədlə Məlik Əhməd" nağılında əsas süjetdə qəhrəmanın nikah tapşırıqlarını yerinə yetirib yeddi qardaş divin bacı ilə evlənməsindən, asılı süjetlərdə isə oğurlanmış arvadın xilas edilməsi, qəhrəmanın nikah gecəsi gözləyən təhlükədən xilas edilməsindən bəhs olunur. Bütün bu kombinasiyalarda *"nağıl qəhrəmanla başlayır, onunla davam edir, onunla da qurtarır" bioqrafik prinsipi* gözlənilmişdir. Belə kombinasiyalara heyvanlar haqqında nağıllar, məişət və satirik nağıllarda tez-tez rast gəlinir. Söyləyici personaja məxsus müəyyən xarakterik cizgiləri – onun hiyləgərliyini, hazırcavablığını, axmaqlığını, sadəlövhlüyünü və s. üzə çıxartmaq, daha qabarıq cizgilərlə verə bilmək üçün bu yola baş vurur. Məsələn, Azərbaycan nağıllarında tülkü hiyləgərliyi, bicliyi ilə tanınmışdır. Bu personajla bağlı şifahi ənənədə xeyli süjetlər mövcuddur, həmin nağıllarda tülkünün əsas xarakteri qorunub saxlanılmaqla ona əlavə cizgilər qazandırılmışdır: tülkü mamaçalıq edir, qurda pinəçilik öyrədir, dəyirmançılıq edir və s. Eyni personajın müxtəlif tərəflərini səciyyələndirən belə süjetlər eyni əsərdə bir araya gətirilməklə yeni nağıl formalaşdırılır. Şifahi ənənədə bu nağılların bir qismi dayanıqlı kontaminasiyaya çevrilərək, bir qayda olaraq, bir yerdə çıxış edirlər. "Tülkü gəlinin zinət əşyalarını oğurlayır" (TR 1B*) + "Qurd balıq tutur" (TR 2) + "Tülkü qurda pinəçilik öyrədir" (TR 38A*) + "Tülkü qurda səbət toxumağı öyrədir" (TR 38B*) süjetlərinin, eynilə axmaq canavar personajı ətrafında cəmləşmiş "Axmaq canavar" (TR 122A) + "Keçinin nəğməsi" (TR 122C) + "Canavar camışa yuyunmağa icazə verir" (TR 122G) + "Ayı və at" (TR 122J) süjetlərinin kombinasiyası buna örnək ola bilər. Yaxud, İsrafil Tağızadədən yazıya alınmış "Dünyada ən gözəl nədir" (TR 857*) + "İsgəndərin buynuzu" (TR 782) + "İsgəndər o dünyada" (TR 806*) + "İsgəndərin ölümü" (TR 934*) süjetlərindən təşkil olunmuş "İsgəndər Zülqərneyn" nağılında əsas süjetdə qəhrəmanın çətin suallara cavab verərək evlənməsindən, asılı süjetlərdə isə onun buynuzunun olmasından, dirilik suyu əldə etmək üçün zülmət dünyasına səfərindən, onun ölümündən bəhs olunur. İsgəndər haqqında şifahi ənənədə mövcud olan süjetləri söyləyici bir mətndə cəmləməklə qəhrəmanın həyatının müəyyən bir dövrünü əks etdirən, onun bioqrafiyasına çevrilən bənzərsiz bir nağıl ortaya qoymuşdur. Ümumiyyətlə, İsgəndər haqqında şifahi ənənədə mövcud olan kombinasiyaların əksəriyyəti "İsgəndər o dünyada" (TR 806*) + "İsgəndərin ölümü" (TR 934*)

süjetlərindən təşkil olunmuşdur. Sadəcə olaraq, hər söyləyici müəyyən süjetlər əlavə etməklə bu zənciri bir qədər də genişləndirmişdir. Eynilə İsrafil Tağızadədən yazıya alınmış yuxarıdakı nağılda da nağılçı "Dünyada ən gözəl nədir?" (TR 857*) və "İsgəndərin buynuzu" (TR 782) süjetlərini əlavə etməklə həmin kombinasiyanı daha da mürəkkəbləşdirmişdir.

Sehrli nağıllarda gördüyümüz tabeçilik prinsipi belə birləşmələrdə yoxdur. Bir zəncirin ayrı-ayrı həlqələrini təsəvvür edin. Həlqələrdən birini ləğv etsək zəncirin bütövlüyünə, tamlığına xələl gəlmədiyi kimi, burada da kontaminasiyanı təşkil edən süjetlərin birini çıxdıqda, nağılın bütövlüyünə xələl gəlmir. Belə kontaminasiyalar obrazın açılmasına, onun müəyyən xüsusiyyətinin üzə çıxarılmasına xidmət edir. Belə nağıllarda bütün hadisələr qəhrəmanın ətrafında cərəyan edir, hadisələr onun səhnəyə çıxması ilə başlayır, qarşıya qoyduğu məqsədə çatması ilə də tamamlanır. Loğman, Keçəl, Kosa, İsgəndər, Şah Abbas haqqında şifahi ənənədə mövcud olan süjetləri söyləyici bir personaj ətrafında cəmləməklə ənənəvi variantlardan fərqlənən, maraqlı təqdimatı ilə seçilən yeni nağıllar yaratmış olur. Söyləyici süjetləri birləşdirməklə həm də zamanın davamlığına nail olur, zamanı kəsikliyə uğratmadan qəhrəmanın başına gələn sonrakı hadisələrlə nağılı davam etdirir.

NƏTİCƏ

Kontaminasiya nağılların forma və məzmun baxımından inkişafına, janrın imkanlarının genişlənməsinə səbəb olmuşdur. Müxtəlif süjetlərin bir araya gətirilməsi əslində ənənəvi formanın yenidən doğuluşudur. Onun sayəsində nağılların strukturu mürəkkəblik qazanmış, bir qəhrəman üzərində qurulmaqdan çıxaraq müxtəlif talelərdən bir arada bəhs olunduğu əsərə çevrilmişdir. Bu da nağıllara rəngarənglik gətirmiş, cəlb olunmuş yeni süjetlər mövzunu inkişaf etdirmək, əsas personaja xas müəyyən əlamət və kefiyyətləri daha maraqlı cizgilərlə vermək imkanı yaratmışdır. Kontaminasiya nağılyaratma imkanlarını genşləndirmiş, nəticədə bənzəri olmayan, orijinal, məxsus olduğu xalqın folklorunun şah əsəri sayılacaq nümunələr ortaya çıxmışdır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Ведерникова, Н.М. "Контаминация как творческий прием в волшебной сказке," Русский фольклор. Русская народная проза. – Ленинград: Наука, – 1972. вып. 13, – с. 160-165.

2. Иванова, Т.Г. "К вопросу о контаминации в волшебной сказке (на материале беломорских сказок," Русский Север: Проблемы этнографии и фольклора. Ленинград: Наука, – 1981. – с. 233-247.

3. Azərbaycan nağılları: [5 cilddə] / Tərtib edən: Əhliman Axundov. – Bakı: Şərq-Qərb, – c. 3. – 2005. – 296 s.

4. Azərbaycan nağılları: [5 cilddə] / Tərtib edən: Nüreddin Seyidov. – Bakı: Şərq-Qərb, – c. 5. – 2005. – 304 s.

ŞARLOTTA BRONTENİN "CEYN EYR" ƏSƏRİNDƏ QADIN MÜSTƏQİLLİYİ

KÖNÜL İBRAHİMOVA
Bakı Texniki Universiteti nəzdində Bakı Texniki Kolleci
Pedaqoji/İngilis dili
konul_hesenova91@mail.ru
Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Bu tədqiqat Ceyn Eyr əsərində qadın müstəqilliyi anlayışının bədii ifadəsini araşdırır. Şarlotta Bronte tərəfindən yaradılmış bu roman XIX əsr İngiltərə cəmiyyətində qadınların sosial statusu və fərdi azadlıq imkanlarını problematlaşdırır. Araşdırmada Jane Eyre obrazının inkişafı əsasında qadının öz qərarlarını verməsi, mənəvi prinsiplərə sadiqliyi və sosial təzyiqlərə qarşı duruşu təhlil edilir. Nəticələr göstərir ki, əsərdə qadın müstəqilliyi həm daxili formalaşma prosesi, həm də sosial sistemə qarşı mövqe kimi təqdim olunur. Bununla yanaşı, roman qadın təhsilinin və iqtisadi müstəqilliyinin qadın azadlığının formalaşmasında mühüm rol oynadığını da ön plana çıxarır. Jane Eyre-in müxtəlif sosial mühitlərdə qazandığı təcrübələr onun fərdi şüurunun inkişafına və öz kimliyini dərk etməsinə şərait yaradır. Bu proses qadının yalnız emosional deyil, həm də intellektual və sosial baxımdan müstəqil bir subyekt kimi formalaşmasını nümayiş etdirir.

AÇAR SÖZLƏR: qadın müstəqilliyi, gender rolları, feminist ədəbiyyat, XIX əsr İngiltərə, fərdi azadlıq

Giriş

XIX əsr İngiltərəsi Avropa tarixində dərin sosial, iqtisadi və mədəni dəyişikliklərin baş verdiyi bir dövr kimi xarakterizə olunur. Sənayeləşmə prosesinin sürətlə inkişaf etməsi, şəhərlərin böyüməsi və kapitalist istehsal münasibətlərinin güclənməsi cəmiyyətin ənənəvi strukturunu ciddi şəkildə dəyişdirmişdir. Bu dəyişikliklər yalnız iqtisadi sahədə deyil, həm də sosial münasibətlərdə, ailə institutunda və gender rollarında fundamental transformasiyalara səbəb olmuşdur.Bu dövrün cəmiyyətində gender münasibətləri ciddi şəkildə patriarxal dəyərlər üzərində qurulmuşdu. Qadınlar əsasən "ev mələyi" ideologiyası çərçivəsində təsvir olunur, onların əsas vəzifəsi ailə daxilində qayğıkeşlik, itaətkarlıq və mənəvi dəyərlərin qorunması ilə məhdudlaşdırılırdı. Qadınların təhsil imkanları məhdud idi və onların iqtisadi müstəqillik əldə etməsi sosial baxımdan asan qəbul edilmir, hətta bəzi hallarda qeyri-etik hesab olunurdu. Belə bir sosial mühit qadınların fərdi kimliklərinin formalaşmasını və ictimai həyatda aktiv iştirakını ciddi şəkildə məhdudlaşdırırdı.

Lakin eyni dövrdə baş verən sosial dəyişikliklər və intellektual hərəkatlar bu stereotiplərə qarşı alternativ düşüncə formalarının yaranmasına şərait yaratmışdır. Ədəbiyyat bu prosesdə xüsusi rol oynamışdır. Yazıçılar bədii mətn vasitəsilə cəmiyyətin sosial problemlərini, sinfi bərabərsizlikləri və gender əsaslı məhdudiyyətləri tənqid etmiş, oxucuda yeni sosial şüurun formalaşmasına təsir göstərmişlər. Xüsusilə Viktoriya dövrü ədəbiyyatı qadın obrazlarının təqdimatı baxımından həm ideoloji, həm də estetik baxımdan mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Bu ədəbi mühitdə Şarlotta Bronte xüsusi yer tutur. Onun yaradıcılığı qadın təcrübəsinin ədəbiyyatda daha real, psixoloji cəhətdən dərin və sosial baxımdan tənqidi şəkildə ifadə olunmasına imkan yaratmışdır. Brontë qadın obrazlarını yalnız passiv və idealizə olunmuş fiqurlar kimi deyil, daxili konfliktlər yaşayan, seçim edən və öz taleyini formalaşdırmağa çalışan fərdlər kimi təqdim etmişdir.Bu baxımdan Ceyn Eyr romanı qadın müstəqilliyi mövzusunun ədəbiyyatda ən güclü ifadələrindən biri hesab olunur. Əsərin baş qəhrəmanı Jane Eyre uşaqlıqdan etibarən sosial ədalətsizlik, emosional məhrumiyyət və iqtisadi asılılıq kimi problemlərlə üzləşir. Lakin bu çətinliklər onun şəxsiyyətinin zəifləməsinə deyil, əksinə, daxili gücünün və özünüdərk qabiliyyətinin formalaşmasına səbəb olur.

Romanın əsas ideyalarından biri qadının yalnız sosial rollarla müəyyən edilməməsi, əksinə, onun müstəqil düşünən və qərar verən fərd olmasıdır. Jane Eyre obrazı öz həyatını idarə etmək hüququnu müdafiə edir və sosial təzyiqlərə baxmayaraq şəxsi prinsiplərindən imtina etmir. Bu xüsusiyyət onun qadın müstəqilliyinin simvoluna çevrilməsinə səbəb olur.

Əsərdə qadın müstəqilliyi yalnız iqtisadi azadlıqla məhdudlaşmır, həm də mənəvi və intellektual azadlıq kimi təqdim olunur. Jane Eyre-in seçimləri onun emosional asılılıqdan deyil, etik prinsiplərdən çıxış etdiyini göstərir. Bu isə XIX əsr ədəbiyyatı üçün olduqca irəliləmiş və qeyri-ənənəvi bir yanaşma hesab

edilir.Eyni zamanda roman sosial siniflər arasındakı fərqləri də vurğulayır. Jane Eyre-in aşağı sosial statusdan çıxaraq öz müstəqil həyatını qurması onun fərdi iradəsinin gücünü göstərir. Bu baxımdan əsər yalnız gender məsələlərini deyil, həm də sinfi mobilik və sosial ədalət problemlərini əhatə edir.Ceyn Eyr həmçinin qadın və kişi münasibətlərində bərabərlik ideyasını da irəli sürür. Jane və Rochester arasındakı münasibət romantik olsa da, yalnız bərabərlik prinsipi üzərində mümkün olur. Jane öz dəyərlərini qorumaq üçün emosional bağlılıqdan belə imtina etməyə hazırdır ki, bu da onun müstəqil şəxsiyyətini daha da gücləndirir.

Bu tədqiqatın əsas məqsədi əsərdə qadın müstəqilliyi ideyasının necə formalaşdığını, hansı bədii vasitələrlə ifadə olunduğunu və bu ideyanın XIX əsr sosial konteksti ilə necə əlaqələndirildiyini geniş şəkildə araşdırmaqdır. Eyni zamanda, tədqiqat qadın obrazının ədəbiyyatda transformasiyasını və feminist düşüncə ilə əlaqəsini sistemli şəkildə təhlil etməyə yönəlmişdir. Nəticə etibarilə, bu iş göstərir ki, ədəbiyyat yalnız estetik bir sahə deyil, həm də sosial ideologiyaların formalaşmasında və dəyişməsində mühüm rol oynayan intellektual bir platformadır. Bu baxımdan Brontë yaradıcılığı qadın azadlığı və gender bərabərliyi ideyalarının ədəbi ifadəsi kimi xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

TƏDQİQAT ÜSULLARI

Bu araşdırmada keyfiyyət yönümlü metodologiya tətbiq olunmuşdur. Tədqiqatın əsasını ədəbi mətnin interpretasiyası və nəzəri yanaşmaların təhlili təşkil edir.Əvvəlcə feminist ədəbi tənqidə dair elmi mənbələr nəzərdən keçirilmiş və qadın müstəqilliyi anlayışı nəzəri çərçivədə müəyyənləşdirilmişdir. Daha sonra mətnə yaxın oxu (close reading) metodu vasitəsilə əsərdəki əsas obraz və hadisələr təhlil edilmişdir.Bundan əlavə, tarixi yanaşma əsərin yazıldığı dövrün sosial şəraitini anlamağa imkan yaratmış, müqayisəli metod isə qadın obrazının ənənəvi stereotiplərlə fərqlərini üzə çıxarmağa kömək etmişdir.

NƏTİCƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, Ceyn Eyr romanı qadın müstəqilliyi ideyasının XIX əsr ingilis ədəbiyyatında ən dolğun və təsirli ifadələrindən biridir. Şarlotta Bronte bu əsərdə qadın obrazını yalnız sosial rollarla məhdudlaşdırılmış fiqur kimi deyil, eyni zamanda daxili gücə, mənəvi prinsiplərə və intellektual yetkinliyə malik müstəqil fərd kimi təqdim edir. Tədqiqat nəticəsində məlum olur ki, romanın əsas qəhrəmanı Jane Eyre-in inkişaf yolu qadın müstəqilliyinin mərhələli formalaşmasını əks etdirir. Onun uşaqlıq dövründə üzləşdiyi sosial təzyiqlər, təhsil mərhələsində qazandığı intellektual inkişaf və yetkinlik dövründə verdiyi mənəvi qərarlar qadının öz kimliyini formalaşdırma prosesini göstərir.

Əsərdə qadın müstəqilliyi yalnız iqtisadi və sosial azadlıq kimi deyil, həm də etik seçim və şəxsi ləyaqətin qorunması kimi təqdim olunur. Jane Eyre-in Rochester ilə münasibətlərində göstərdiyi mövqe onun emosional asılılıqdan imtina edərək mənəvi prinsiplərə üstünlük verdiyini nümayiş etdirir. Bu isə qadın obrazının passiv deyil, aktiv və qərarverici subyekt kimi təqdim olunmasını təmin edir.Bundan əlavə, romanın sosial konteksti də mühüm əhəmiyyət daşıyır. Əsərdə Viktoriya dövrü cəmiyyətində mövcud olan patriarxal struktur və gender stereotipləri tənqid olunur. Jane Eyre obrazı bu stereotiplərə qarşı çıxaraq qadının cəmiyyətdə bərabər hüquqlu fərd ola biləcəyini göstərir.

Tədqiqat həmçinin göstərir ki, roman qadın və kişi münasibətlərinə yeni baxış təqdim edir. Jane və Rochester arasındakı münasibət güc balansı üzərində qurulur və yalnız bərabərlik prinsipi əsasında davamlı ola bilir. Bu isə dövrün ənənəvi gender anlayışlarına alternativ yanaşma kimi qiymətləndirilə bilər.Ümumilikdə, Ceyn Eyr yalnız bir ədəbi əsər kimi deyil, həm də sosial və ideoloji baxımdan əhəmiyyətli bir mətn kimi çıxış edir. O, qadın kimliyinin formalaşması, fərdi azadlıq və sosial bərabərlik ideyalarının ədəbiyyatda ifadəsi baxımından mühüm nümunədir.

Nəticə etibarilə, bu tədqiqat göstərir ki, ədəbiyyat cəmiyyətin sosial strukturlarını əks etdirməklə yanaşı, onları tənqid edən və dəyişdirən gücə də malikdir. Brontë yaradıcılığı isə bu prosesdə qadın azadlığı və gender bərabərliyi ideyalarının inkişafında mühüm mərhələ təşkil edir.

İSTİNADLAR

1. Charlotte Brontë. *Jane Eyre*. Penguin Classics, London, 2006.
2. Gilbert, Sandra M., and Susan Gubar. *The Madwoman in the Attic: The Woman Writer and the Nineteenth-Century Literary Imagination*. Yale University Press, 1979.
3. Showalter, Elaine. *A Literature of Their Own: British Women Novelists from Brontë to Lessing*. Princeton University Press, 1977.
4. Eagleton, Terry. *Literary Theory: An Introduction*. Blackwell Publishing, 2008.
5. Moi, Toril. *Sexual/Textual Politics: Feminist Literary Theory*. Routledge, 2002.
6. Smith, Andrew. *Victorian Literature: An Introduction*. Edinburgh University Press, 2012.

CƏLİL MƏMMƏDQULUZADƏNİN "ÖLÜLƏR" ƏSƏRİNDƏ "ÖLÜ İNSAN" ANLAYIŞI VƏ İDEYASI
THE CONCEPT AND IDEA OF THE "DEAD PERSON" IN C. MAMMADGULUZADEH'S THE DEAD

MƏDİNƏ NƏSİRLİ
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin Cəlilabad filialı
Pedaqoji fakültə, tələbə
Cəlilabad, Azərbaycan
nsirlimdin22@gmail.com

Xülasə: Bu məqalədə Azərbaycan ədəbiyyatının məşhur yazıçı və dramaturqu C. Məmmədquluzadənin "Ölülər" əsərindəki "ölü insan" anlayışı şərh olunmuşdur. Anlayış dünya ədəbiyyatı və Quran ayələri ilə müqayisədə izah olunmuşdur. "Ölü insan" ifadəsinin cismani ölülüyə deyil, mənəvi ölülüyə aid olduğu irəli sürülmüşdür.
***Açar sözlər**: ölülük, dirilik, mənəviyyat, insanlıq*
Abstract: This article examines the concept of the "dead person" in the work The Dead by the prominent Azerbaijani writer and playwright Jalil Mammadguluzadeh. The concept is explained through comparisons with world literature and verses from the Quran. It is emphasized that the expression "dead person" refers not to physical death, but to spiritual death.
***Keywords**: death, life, spirituality, humanity*

GİRİŞ

XX əsr Azərbaycan ədəbiyyatının görkəmli nümayəndəsi, tənqidi-realist ədəbi cərəyanının başçısı, "Molla Nəsrəddin" ədəbi jurnalının redaktoru C. Məmmədquluzadə Azərbaycan ədəbi, bədii, ictimai fikrinin inkişafında misilsiz rol oynamış, yaşadığı dövrdə onu düşündürən ictimai-siyasi problemləri, cəhaləti, sosial ədalətsizliyi əsərlərində əks etdirmişdir. Mirzə Cəlil bədii və publisistik fəaliyyəti ilə xalqı cəhalət yuxusundan ayıltmağa, mənəvi diriliyə nail olmağa çalışırdı. Müəllifin 1916-cı ildə Bakıda səhnəyə qoylumuş "Ölülər" əsərində də bu ideyalar cəmlənmişdir. "Ölülər" əsəri Azərbaycan dramaturgiyasında tənqidi realizmin ən parlaq nümunələrindən biri olmaqla yanaşı, cəmiyyətin mənəvi böhranını, fərdi və ictimai şüurun passivliyini bədii ümumiləşdirmə yolu ilə əks etdirir. Əsərdə "ölü" anlayışı yalnız bioloji ölüm kimi deyil, daha çox mənəvi iflasın, düşüncə donuqluğunun və ictimai laqeydliyin simvolu kimi təqdim olunur. Bu baxımdan müəllif, fərdin daxili azadlığını itirməsini və kor-koranə itaətkarlığını cəmiyyətin geriliyinin əsas səbəblərindən biri kimi qiymətləndirir. Eyni zamanda, "Ölülər" əsəri yalnız konkret tarixi dövrün problemlərini əks etdirməklə kifayətlənmir, ümumbəşəri məzmun daşıyaraq müxtəlif zaman və məkanlarda təkrarlanan sosial-mənəvi problemlərə işarə edir. Bu isə əsərin ideya-estetik dəyərini artırmaqla yanaşı, onun müasir dövrdə də aktuallığını qoruyub saxlamasını şərtləndirir. Bu məqalədə yazıçının qeyd olunan ideyaları müqayisəli şəkildə təhlil ediləcək və həmin ideyaların yalnız öz dövrü üçün deyil, bütün dövrlər üçün də aktual olduğu göstəriləcəkdir.

TƏDQİQAT METODU

XIX əsrin sonu XX əsrin əvvəlləri Azərbaycan ictimai-siyasi həyatında mürəkkəb və ziddiyyətli bir dövr idi. Belə ki, həmin dövrdə mütərəqqi ziyalılar, C. Məmmədquluzadə milli oyanışa nail olmağa, xalqı cəhalət və gerilik girdabından xilas etməyə çalışırdı. Bütün yaradıcılığında olduğu kimi, "Ölülər"də də Mirzə Cəlil insanlığın geriliyini, mənəvi və maddi ehtiyaclarını əks etdirmişdir. Ancaq onun bu əsərindəki ölülük anlayışı fiziki deyil, mənəvi ölümdən bəhs edir.

Mirzə Cəlilin bu ideyalarına dünya ədəbiyyatı ilə tanışlıq da təsirini qoymuşdur. Aleksandr Sergeyeviç Qriboyedovun "Ağıldan bəla" əsərini nümunə kimi götürək: Əsərin əsas ideyası köhnə düşüncə tərzi ilə yeni, maarifçi baxışların toqquşması üzərində qurulmuşdur.

Əsərin mərkəzində Çatski obrazı dayanır. O, uzun müddət xaricdə yaşadıqdan sonra Moskvaya qayıdır və burada gördüyü gerilik, ikiüzlülük və riyakarlıqla barışa bilmir. Çatski savadlı, azad düşüncəli və tənqidi baxışlara malik bir insandır, lakin yaşadığı cəmiyyət onun fikirlərini qəbul etmir və onu anlaşılmazlıqla qarşılayır. Nəticədə Çatski tək qalır və cəmiyyətdən uzaqlaşmağa məcbur olur. Bu eyni ilə "Ölülər" əsərindəki İskəndər obrazını xatırladır. İskəndər də ətrafdakı insanların cəhalətini duyur, onları tənqid atəşinə tutur. Nəticədə isə, cəmiyyət tərəfindən təcrid edilir. İskəndər kiçik qardaşı Cəlalla danışığında mövcud cəmiyyətin dünyagörüşünün,təlim-tərbiyə anlayışının səthiliyini açıb göstərmişdir: "Mənim də

müəllimim mənə nəsihət elərdi ki, bala, səy elə, dərslərini yaxşı öyrən. Amma bu dılğırların heç birindən eşitmədim ki, desin: bala,adam ol". Bəli, bu elm libasına bürünməyə çalışan cəhalətin bayağılığı idi.
Necə ki Allah Qurani- Kərim Əraf surəsi 179-cu ayədə buyurmuşdur: "Onların qəlbləri vardır, lakin onunla anlamazlar; gözləri vardır, lakin onunla görməzlər; qulaqları vardır, lakin onunla eşitməzlər..."
Yenə Allah Qurani-Kərim Hucurat surəsi 14-cü ayədə buyurmuşdur: "Bədəvi ərəblər: 'Biz iman gətirdik' dedilər. De: 'Siz iman gətirməmisiniz! Ancaq 'Biz müsəlman olduq'-deyin. İman sizin qəlblərinizə hələ daxil olmamışdır..."'
Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, iman insanın bir şeyi şüurlu şəkildə dərk edib ona əməl etməsidir. Cəmiyyətin faciəsinin səbəbi də məhz düşünməməkdə, dərk etməməkdə, nəticə çıxarıb əməl etməməkdədir. Əgər biz Qurani- Kərimin bir çox ayələrinin sonuna diqqət yetirsək onda görərik ki Uca Yaradan insanlara müraciətlə "heç düşünürsünüzmü?!" , " heç fikirləşirsinizmi?!" yaxud "bunda ağıl sahibləri üçün bir ibrət vardır..." və.s. buyurmuşdur. Bununla da biz dərk etmənin, düşünməyin nə qədər vacib olduğunu görürük, çünki cəhalətin qaranlığından həqiqi iman və dərketmə ilə qurtulmaq olar.
Həmçinin ölü cəmiyyətin faciəsini məqbul edən başqa bir səbəb isə biganəlik və xudbinlikdir. Mirzə Cəlil bədii üslub və yaradıcılığına böyük təsiri olan N. Qoqolun "Ölü canlar" əsərinə nəzər salaq: Əsərdə Çiçikovun müxtəlif torpaq sahiblərini gəzərək artıq ölmüş, lakin rəsmi sənədlərdə hələ də "canlı" kimi qeyd olunan kəndliləri (yəni "ölü canları") satın almağa çalışması nə qədər qəribə və qeyri-etik olsa da, nə məmurlar, nə də kəndlilər bununla maraqlanır. Çünki hər kəs öz mənfəəti və çıxarları ilə maraqlı idi, bu iflas etmiş cəmiyyətin bədbəxtliyidir. Əsərdə təsvir olunan "ölü canlar" anlayışı yalnız fiziki olaraq ölmüş kəndliləri deyil, həm də mənəvi cəhətdən ölü, laqeyd, vicdansız və məqsədsiz insanları ifadə edir. Qoqol bu metafora vasitəsilə cəmiyyətin içindəki mənəvi boşluğu və insanlığın deformasiyasını göstərir.
"Ölülər" əsərində də Şeyx Nəsrullahın ölü diriltmək üçün siyahı yazdırdığı səhnədə biz eyni mənzərə ilə rastlaşırıq. Kimisi arvadının, anasının kimisi isə qardaşının dirilməsinə razı olmur. Çünki hamı mövcud nizamının pozulmasından, ölən insanların dirilib onlardan nə üçün haqsızlığa boyun əydiklərini, etiraz etmədiklətini soruşmasından qorxur. Cəmiyyətin İskəndəri təcrid etməsinin əsas səbəbi də bu idi, o mövcud quruluşa tabe olmur, sual verib, düşünür, tənqid və məsxərə yolu ilə onları yanlışlardan çəkindirməyə çalışır, qısaca bədəni diri olub şüuru ölən insanların dəstəsinə qoşulmurdu.
Qurani- Kərim Maidə surəsi 79-cu ayədə buyurulmuşdur: " Onlar bir-birlərini etdikləri çirkin əməllərdən çəkindirmirdilər. Onların gördükləri iş necə də pis idi!".
Əsərin sonunda İskəndərin nitqi ilə yazıçı göstərir ki, səhv və çürük əqidələr üzərində qurulan cəmiyyət bəşərin nifrətinə layiq və dağılmağa məhkumdur.

NƏTİCƏ

Nəticə olaraq, "Ölülər" əsərində Mirzə Cəlil cəmiyyətin əsas probleminin fiziki yox, mənəvi ölüm – yəni cəhalət, biganəlik və düşünməmək olduğunu göstərir. Dünya ədəbiyyatında Qriboyedovun "Ağıldan bəla" və Qoqolun "Ölü canlar" əsərləri ilə aparılan müqayisə bu ideyanın ümumbəşəri xarakter daşıdığını təsdiqləyir. Qurani-Kərim ayələri ilə paralel olaraq da insanın düşünməsi, dərk etməsi və haqsızlığa qarşı çıxmasının vacibliyi vurğulanır. Beləliklə, əsər maariflənmənin və şüurlu həyatın cəmiyyətin dirçəlişinin yeganə yolu olduğunu ortaya qoyur.

Ədəbiyyat

1. A. Qriboyedov "Ağıldan bəla", Bakı 2006
2. B. Əhmədov "XX əsr Azərbaycan ədəbiyyatı tarixi", I cild, Bakı 2011
3. C. Məmmədquluzadə "Seçilmiş əsərləri", I cild, Bakı 2004
4. İ. Həbibbəyli "Cəlil Məmmədquluzadə", Bakı 2002
5. M. Cəlal "Azərbaycanda ədəbi məktəblər", Bakı 2004
6. M. Cəlal, F.Hüseynov "Azərbaycan ədəbiyyatı", Bakı 2018
7. N. Qoqol "Ölü canlar", Bakı 1955
8. Qurani-Kərim

MƏHƏMMƏD FÜZULİ YARADICILIĞINDA TƏKƏBBÜR ANLAYIŞININ QURANİ-KƏRİM VƏ İSLAM FƏLSƏFİ DÜŞÜNCƏSİ KONTEKSTİNDƏ ELMİ-FƏLSƏFİ TƏHLİLİ

MİRZƏHRA HÜSEYNZADƏ
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin Cəlilabad filialı
Pedaqoji fakültə, tələbə
Cəlilabad, Azərbaycan
mirzehra2001@gmail.com

Xülasə: Azərbaycan klassik ədəbiyyatının görkəmli nümayəndəsi Məhəmməd Füzulinin yaradıcılığında təkəbbür anlayışı Qurani-Kərim və islam fəlsəfi düşüncəsi kontekstində araşdırılır. Tədqiqatda göstərilir ki, Füzuli irsində təkəbbür təkcə əxlaqi qüsur kimi deyil, həm də insanın mənəvi kamilləşməsinə mane olan daxili xəstəlik, nəfsin ən təhlükəli təzahürlərindən biri kimi təqdim edilir. Şairin qəzəl, məsnəvi və nəsr nümunələrində təvazökarlıq, eşq, mərifət, nəfsin cilovlanması və ilahi həqiqətə yaxınlaşma ideyaları ön plana çəkilir. Məqalədə Qurani-Kərimdə təkəbbürün qınanmasına dair ayələrin mənəvi-fəlsəfi mahiyyəti ilə Füzulinin poetik düşüncəsi arasında əlaqə izah olunur. Eyni zamanda islam fəlsəfəsi və irfan ənənəsində təkəbbürün mahiyyəti, onun mənəvi idraka ziddiyyətli xarakteri və Füzuli yaradıcılığında bu xəttin bədii-fəlsəfi ifadə imkanları təhlil edilir. Nəticə etibarilə müəyyən olunur ki, Füzuli yaradıcılığında təkəbbürə qarşı mübarizə insanın özünü tanıması, mənəvi saflaşması və ilahi həqiqətə yönəlməsi ilə sıx bağlıdır.
Açar sözlər: *Məhəmməd Füzuli, təkəbbür, Qurani-Kərim, islam fəlsəfəsi, nəfs, təvazökarlıq, irfan, mənəvi kamillik*

SCIENTIFIC-PHILOSOPHICAL ANALYSIS OF THE CONCEPT OF TAKABBUR IN THE WORK OF MOHAMMED FIZULI IN THE CONTEXT OF THE HOLY QUR'AN AND ISLAMIC PHILOSOPHICAL THOUGHT

Abstract: The study shows that in Fuzuli's legacy, arrogance is presented not only as a moral flaw, but also as an internal disease that prevents a person from spiritual perfection, one of the most dangerous manifestations of the soul. The ideas of humility, love, enlightenment, restraint of the soul and approaching divine truth are brought to the fore in the poet's ghazals, masnavis and prose. The article explains the connection between the spiritual and philosophical essence of the verses condemning arrogance in the Holy Quran and Fuzuli's poetic thought. At the same time, the essence of arrogance in Islamic philosophy and the tradition of mysticism, its character contrary to spiritual cognition and the possibilities of artistic and philosophical expression of this line in Fuzuli's work are analyzed. As a result, it is determined that the struggle against arrogance in Fuzuli's work is closely related to a person's self-knowledge, spiritual purification, and orientation towards divine truth.
Keywords: *Muhammad Fuzuli, arrogance, the Qur'an, Islamic philosophy, the ego (nafs), humility, gnosis (irfan), spiritual perfection.*

GİRİŞ

Məhəmməd Füzuli Azərbaycan, ümumtürk, eləcə də Şərq ədəbi-fəlsəfi fikrinin ən parlaq simalarından biridir. Onun yaradıcılığı yalnız poetik gözəlliyi ilə deyil, həm də dərin mənəvi, dini və fəlsəfi məzmunu ilə seçilir. Mütəfəkkir şair insan ruhunun halətləri, nəfsin ziddiyyətləri, eşqin təmizləyici gücü, təvazökarlığın əxlaqi dəyəri və ilahi həqiqətə yönələn idraki yolu haqqında son dərəcə zəngin fikirlər irəli sürmüşdür. Bu baxımdan onun əsərlərində təkəbbür anlayışının araşdırılması ədəbi, dini-fəlsəfi, həm də əxlaqi aspektdən mühüm elmi əhəmiyyət kəsb edir.

İslam düşüncəsində təkəbbür insanın özünü olduğundan böyük görməsi, həqiqəti qəbul etməkdə inad göstərməsi, başqalarını aşağılamağa meyl etməsi və mənəvi kamillik yolundan uzaqlaşması kimi qiymətləndirilir. Qurani-Kərimdə bu keyfiyyət insanı azğınlığa, zülmə və haqqı inkar etməyə aparan mənfi xüsusiyyət kimi təqdim olunur. İblisin Adəmə səcdə etməkdən boyun qaçırması, Fironun öz hakimiyyətini mütləqləşdirməsi, Qarunun var-dövləti ilə qürrələnməsi təkəbbürün fərqli təzahürləri kimi göstərilir [1].

Bu mənada təkəbbür yalnız fərdi qüsur deyil, həm də insanı Allahdan, həqiqətdən və ədalətdən uzaqlaşdıran təhlükəli mənəvi xəstəlikdir.

Füzuli yaradıcılığında da insanın mənəvi dəyəri zahiri üstünlük, şöhrət, sərvət və iddia ilə deyil, daxili təmizlik, eşq, mərifət və təvazö ilə ölçülür. Onun yaradıcılığında nəfsin lovğalığı, mənlik iddiası və özünəvurğunluq sevgisi səbir, təslimiyyət və mənəvi saflaşma qarşısında mənfi cəhət kimi verilir. Füzuli

üçün təkəbbür və lovğalıq insanı ilahi eşqdən, bəsirətdən (uzaqgörənlik) və hikmətdən məhrum edən səbəblərdir.

TƏDQİQAT METODU

Tədqiqatda müqayisəli-analitik, mətnşünaslıq və dini-fəlsəfi şərh metodlarından istifadə edilmişdir. İlk növbədə Məhəmməd Füzulinin qəzəlləri, poemaları və nəsr əsərlərində təkəbbür, nəfs, təvazökarlıq, eşq və mərifət anlayışlarını əks etdirən məqamlar seçilmişdir. Daha sonra bu nümunələr Qurani-Kərimdə təkəbbürlə bağlı mənəvi məzmunla müqayisə edilmişdir. Eyni zamanda islam əxlaqı və fəlsəfəsində, xüsusilə təsəvvüf və irfan düşüncəsində təkəbbürə yanaşmalar ümumiləşdirilərək Füzuli poetikasındakı təzahür formaları ilə əlaqələndirilmişdir [2]. Beləliklə, məqalədə ədəbi mətnlə dini-fəlsəfi düşüncə arasında semantik və ideya bağlılığı müəyyənləşdirilmişdir.

1. Füzuli yaradıcılığında təkəbbür anlayışının mənəvi-məzmun xüsusiyyətləri

Füzuli yaradıcılığında təkəbbür termininə təsadüf edilməsə də, onun semantik məzmununu əks etdirən ücb, mənlik, özünüucaltma, zahiri üstünlük iddiası, şöhrətpərəstlik və mənəmlik iddiası kimi məfhumlar davamlı şəkildə tənqid edilir. Şairin poetik-fəlsəfi sistemi insana iki yol göstərir; biri nəfsin yolu, digəri isə eşq və həqiqət yoludur. Nəfsin yolu lovğalığa, sərtliyə, qürura və özünü mərkəzləşdirməyə aparırsa, fədakarlıq, özündən keçmə və ilahi yaxınlığa aparır. Füzuli üçün həqiqi insan öz "mən"ini böyütməməli, əksinə onu saflaşdırmalıdır. Onun əsərlərində kamillik başqaları üzərində üstünlük qurmaqla deyil, öz daxili aləmini tərbiyə etməklə qazanılır. Bu səbəbdən təkəbbür Füzuli düşüncəsində təkcə ictimai-əxlaqi problem kimi yox, irfani idrakın qarşısını alan maneə kimi dəyərləndirilir. Çünki ilahi həqiqəti dərk etmək üçün insanın qəlbi təmiz, ruhu təvazökar, nəfsi isə cilovlanmış olmalıdır. Şairin lirik qəhrəmanı çox zaman öz acizliyini, fəqirliyini, ehtiyacını və mənəvi sarsıntısını etiraf edir [3]. Bu, sadəcə romantik-poetik üslub deyil; əslində bu etiraflar insanın ilahi həqiqət qarşısında mövqeyini müəyyənləşdirən irfani baxışın ifadəsidir:

Muri-mühəqqərəm ki, sərasimə çox gəzib,
Nagah bargahi-Süleymana yetmişəm [3].

Misraların mənası çox ibrətamizdir. Füzuli burada özünü qarışqaya bənzədir. Şərq poeziyasında qarışqa təvazökarlıq əlamətidir. Həzrəti Süleyman peyğəmbər isə böyük bir padşahdır. Söz ustadı qeyd edir ki, mən aciz, əhəmiyyətsiz, həqir bir qarışqayam, qəflətən Süleymanın sarayına gəlib çatmışam. Süleyman peyğəmbərin sarayına çatmaq, yüksək məqama nail olmağı və ya irfani mənada Allahın hüzuruna yetişməyi simvolizə edir. Burada "nagah" və "sərasimə" sözləri ilə dahi sənətkar vurğulayır ki, əldə etdiyim məqam özümdən deyil, Allahın lütfüdür. Yəni uğur və müvəffəqiyyətini öz istedadında görüb qürrələnmir, bunu Allahın bir mərhəməti, lütfü, ehsanı olaraq görür. Deməli, təkəbbür özünü kifayət saymaqdır, təvazö isə öz ehtiyacını dərk etməkdir. Füzuli məhz ikinci yolu seçir və oxucunu da həmin istiqamətə yönəldir.

2. Qurani-kərimdə təkəbbürə münasibət və onun fəlsəfi mahiyyəti

Qurani-Kərimdə təkəbbür, kibr və istikbar anlayışları insanın haqqı qəbul etməməsi, özünü başqasından üstün tutması, Allahın ayələrinə qarşı inad göstərməsi ilə bağlı təqdim olunur. İslam təliminə görə təkəbbürün mahiyyəti insanın öz həqiqi mövqeyini unutmasıdır. İnsan xəlq olunandır, məhduddur, ehtiyac sahibidir; lakin təkəbbür onu saxta müstəqillik və üstünlük duyğusuna sövq edir. Qurani mətnlərdə İblisin Adəmə səcdə etməməsi təkəbbürün ən klassik nümunələrindən biri kimi dərk edilir. Burada problem təkcə itaətsizlikdə deyil, özünü başqalarından üstün tutmaqdadır. Firon obrazında təkəbbür siyasi və sosial hakimiyyətin mütləqləşməsi fonunda təzahür edir. Qarunda isə bu keyfiyyət sərvətə güvən, özbaşınalıq və sosial məsuliyyətsizlik biçimində üzə çıxır. Naziat surəsi 24-cü ayədə Fironun təkəbbürünün kulminasiya nöqtəsini görürük: **"Mən sizin ən uca Rəbbinizəm!"– dedi"** [4]**.** Bu nümunələrin hamısında təkəbbür insanı gerçəkdən uzaqlaşdırır, onu zülmə aparır və nəhayət mənəvi məğlubiyyətə sürükləyir. Həmin surənin 25-26-cı ayələrində o məğlubiyyət açıq-aşkar göstərilir: **"Beləliklə, Allah onu əvvəlinci və axırıncı küfrlü sözlərinin cəzası olaraq yaxaladı. Axirətin və dünyanın ibrətamiz əzabına giriftar etdi (Dəstəsi ilə birlikdə suda qərq edilməsi onun dünya əzabı, gecə-gündüz Bərzəx odunda yandırılması isə onun axirət əzabıdır.). Şübhəsiz, bunda (bu hadisədə) (Allahdan) qorxan bir kəs üçün ibrət vardır"** [4]**.** Allahdan qorxan, əməllərinin məsuliyyətini dərk edən insanlar bu kimi hadisələrdən ibrət götürə bilərlər. Bəli, budur zülmkar Fironun və müşriklərin sonu. Hər bir zamanda Fironun yolunu gedən digər fironlar bilməlidirlər ki, tezliklə öz əməllərinin layiqli cəzasını alacaqlar. Bu, Allahın qəti və dəyişməyən hökmüdür [1].

Qurani baxışa görə, təkəbbürlə iman, lovğalıqla mərifət, özünüucaltma ilə hikmət arasında barışmaz ziddiyyət vardır. Həqiqəti tanımaq üçün qəlbdə yumşaqlıq, qəbul etmə qabiliyyəti və təslimiyyət olmalıdır

[5]. Bu isə təvazökarlıq tələb edir. Təsadüfi deyil ki, Qurani etik sistemdə təvazö, səbir, ədalət və ixlas yüksəldilir, təkəbbür, riya, lovğalıq və inad isə qınanır.“Biharul-ənvar” kitabında nəql olunan hədisdə İmam Kazim (ə) buyurur: “Bitki yumşaq torpaqda bitir, amma bərk torpaqda bitmir. Hikmət də təvazökar insanın qəlbində abad olub kamilləşir, amma təkəbbürlü şəxsin qəlbində abad olmur. Çünki Allah təvazökarlığı əqlin aləti, təkəbbürlüyü isə cəhlin aləti qərar verib.” [6]. Füzuli yaradıcılığı da bu Qurani əxlaqın poetik dillə ifadə olunmuş nümunəsidir. O, insanın mənlik pərdəsini aşmadan həqiqətə çatmasının mümkünsüzlüyünü müxtəlif məcaz və simvollarla göstərir:

Yetər tavus tək ücb ilə qıl arayişi-surət,
Vücudindən keçib, aləmdə bir ad eylə ənqa tək [3]**.**

Dahi sənətkar təkəbbürü izah etmək üçün “tavus” (tovuz quşu) simvolundan istifa edir. Tovuz quşu zahirən gözəl quşlardan biridir. O öz tüklərinə baxıb gözəlliyi ilə öyünür. Ənqa quşu isə Qaf dağında yaşayıb gözə görünməyən əfsanəvi quş olmasına baxmayaraq, şöhrəti hər yerə yayılmışdır. Şair də qeyd edir ki, insan zahiri gözəlliyi və uğurları ilə öyünməməlidir. Həqiqi dəyər insanın nəfsani mübarizələrdə mənən ucalmasıdır. Beləliklə, Füzuli poetikasında təkəbbürə münasibət Qurani mənəvi modelin bədii təcəssümü kimi görünür.

3. İslam fəlsəfəsi və irfan düşüncəsində təkəbbür problemi

İslam fəlsəfəsində və əxlaq düşüncəsində təkəbbür insanın nəfsani zəifliklərindən biri kimi araşdırılmışdır. Xüsusilə əxlaqşünaslıq və təsəvvüf ənənəsində bu xüsusiyyət qəlbin xəstəlikləri sırasında göstərilir. Burada əsas fikir budur ki, təkəbbür həqiqi biliyin yox, mənəvi cəhalətin göstəricisidir. Çünki həqiqəti tanıyan insan öz varlığının məhdudluğunu, Allah qarşısında acizliyini və yaradılmış olma həqiqətini dərk edir. İslam irfanında “nəfsin tərbiyəsi” ideyası mərkəzi yer tutur. Nəfs özünü mərkəzə qoyduqca təkəbbür artır, insan öz iddialarının əsiri olur. Eşq, zikr, təfəkkür, ibadət və mənəvi intizam isə həmin “mən”in sərtliyini sındırır. Təsəvvüfdə məqsəd insanın alçalması deyil, saxta mənlikdən təmizlənərək həqiqi mənəvi ucalığa çatmasıdır. Bu baxımdan təvazökarlıq zəiflik yox, mənəvi qüdrət əlamətidir [7]. Qəzali kimi islam mütəfəkkirləri təkəbbürü insanın daxilində gizlənən, lakin əməldə və davranışda üzə çıxan əxlaqi qüsur kimi xarakterizə etmişlər. Nəsirəddin Tusinin əxlaq düşüncəsində insanın kamilləşməsi orta yol, ağıl və nəfsin tənzimi ilə əlaqələndirilmişdir [8]. Bu xətt Füzuli yaradıcılığında poetik duyum və irfani təfəkkürlə birləşir. O, fəlsəfi termini quru nəzəriyyə şəklində yox, mənəvi yaşantı, eşq və iztirab vasitəsilə ifadə edir. Füzuli irsində eşq yalnız estetik hiss deyil; o, nəfsi təmizləyən, mənlik iddiasını sarsıdan, insanı öz daxilinə qaytaran ilahi-mənəvi qüvvədir. Buna görə də təkəbbür eşqin zidd qütbündə dayanır. Eşq özündən keçməkdir, təkəbbür isə özünü bütləşdirməkdir. Eşqdə təslimiyyət, təkəbbürdə inad vardır. Eşqdə haqqın təcəllisi görünür, təkəbbürdə isə nəfsin pərdəsi qalınlaşır.

Məhəmməd Füzuli bu məsələyə belə işarə edir:

Adəmə səcdə qılmayıb şeytan,
Tapdığında qürur ilə üsyan;
Məndən olsaydı nəş'əsi bir dəm,
Min gəz eylərdi səcdeyi-Adəm [9]**.**

Burada şair şeytanın qürur səbəbindən Allahın əmrinə boyun əyməyərək Adəm peyğəmbərə səcdə etməməsi hadisəsinə diqqət çəkir. Şeytan öz yaradılışı ilə fəxr edərək qürurlanır, çünki odun torpaqdan üstün olduğunu düşünür. Yəni torpaqdan xəlq olunan insanda ilahi nuru, işığı görə bilmir. Bunun səbəbini Füzuli şeytanın qəlbində eşqin olmamasında görür. Son misralarda vurğulayır ki, məndə olan eşq, nəş’ə (ruh yüksəkliyi) bir anlıq şeytanda olsaydı, o təvazökarlığın verdiyi mənəvi gözəlliklə Adəmin yaradılmasının həqiqətini dərk edər və nəinki bir dəfə, min dəfə ona səcdə edərdi. Bir sözlə, dahi sənətkar qeyd etmək istəyir ki, eşq olan yerdə qürur və təkəbbürə yer qalmır. Çünki məhz aşiq olan kəs öz mənliyindən keçməyə qadirdir.

4. Füzulinin əsərlərində təkəbbürə qarşı təvazö, eşq və mərifət xətti

Füzulinin “Leyli və Məcnun” əsərində bu xətt daha aydın görünür. Məcnunun eşqi onu cəmiyyətin zahiri ölçülərindən uzaqlaşdırır, mənəvi həqiqətə yaxınlaşdırır. Burada eşq sadəcə iki insan arasındakı münasibət deyil; o, nəfsin sərhədlərini dağıdan və insanı daxili saflaşmaya aparan irfani yol kimi mənalandırılır. Bu prosesdə təkəbbürə, özünü təsdiq etmə iddiasına, zahiri üstünlük hissinə yer qalmır. Məcnun cəmiyyətin qəbul etdiyi “üstünlük” meyarlarını rədd edir, həqiqəti sevginin və mənəvi təmizlənmənin içində axtarır [2]. Füzulinin qəzəllərində də aşiq obrazı çox zaman fəqir, möhtac, yanıq və müntəzir kimi təqdim edilir. Zahirdə bu zəiflik təsiri bağışlasa da, batində bu, təvazö və mərifətin əlamətidir. Təkəbbürlü insan özünü dolu sayır, aşiq isə özünü boşaldaraq ilahi həqiqətə yaxınlaşır. Bu poetik mexanizm Füzuli fəlsəfəsinin əsas açarlarından biridir. Şairin nəsr əsərlərində, xüsusilə dini-mənəvi məzmunlu parçalarında da dünya malına

aldanmamaq, nəfsin istəklərinə uymamaq, zahiri iddialara bağlanmamaq kimi fikirlər ön plana çıxır. Bunlar göstərir ki, Füzuli yaradıcılığında təkəbbür yalnız fərdi-psixoloji hal deyil, mənəvi korluq yaradan, insanı hikmətdən uzaqlaşdırandır [10]. Onun dünyagörüşündə həqiqi ucalıq iddiada deyil, qulluq şüurundadır; böyüklük başqalarını kiçiltməkdə deyil, öz nəfsini tanımaqda və onu cilovlamaqdadır. Bu isə Qurani mənəviyyatla tam səsləşir.

Olur qəddim düta eşqin yolunda, hər bəla görgəc,
Təriq əhlinə adətdir təvazö, aşina görgəc [3]**.**

Bu misraların mənası da çox təqdirəlayiqdir. Həyatın ən önəmli mövzusu başqasının üstünlüyünü qəbul edə bilməyi bacarmaqdır. Əgər biri digərinin üstünlüyünü qəbul edə bilsə, həyat nura qərq olar. Bütün mənfiliklərin açarı üstünlüyü qəbul etməməkdir. Füzuli vurğulayır ki, eşq yolunda hər dəfə bəla ilə, çətinliklə qarşı-qarşıya gələndə mənim qəddim əyilir. Bu əyilmək əslində hörmət əlamətidir. Təriq əhlinin, yəni eşq yolunun yolçularının Haqqın nurunu daşıyan birini gördükdə təvazökarlıqla baş əymələri adətdir. Məhz İblis o nuru görmədiyi üçün təkəbbürlük etdi və ilahi rəhmətdən məhrum oldu. Hətta namazın fəlsəfəsinə nəzər yetirsək görərik ki, onun nüvəsini səcdə təşkil edir. Səcdə əsl həqiqətdə ucalmağa gedən yolun başlanğıcıdır. Necə ki, "Biharul-ənvar"da İmam Əli (ə) belə buyurur: "Namaz möminin qəlbini təmizləyər, günahlarını yuyar, təkəbbürü aradan aparar" [11]. Çünki insan məhz səcdə halında öz zəifliyini başa düşür, həqiqi qüdrət və izzət sahibi olan Allahın əzəmətini dərk edir. Həqiqətən məhz eşqlə yoğrulan qəlbə təkəbbür yol tapa bilməz. Beləliklə, Füzuli klassik poetik ənənə içərisində təvazökarlığı estetik və fəlsəfi dəyərə çevirən sənətkar kimi görünür.

5. "Bəngü Badə", "Söhbətül-əsmar" və "Şikayətnamə" əsərlərində təkəbbürə münasibət

Qurani-Kərim kontekstində bu əsərlər bizə insanın öz yerini unutmasının, özünü başqalarından yüksək görməsinin və neməti özündən bilməsinin təhlükəsini xatırladır. Zumər surəsinin 60-cı ayəsində buyurulur: **"Məgər təkəbbürlülər üçün Cəhənnəmdə yer yoxdur?!"** [4].

İslam fəlsəfi düşüncəsi baxımından isə bu əsərlərdə təkəbbür nəfsin ifratı, təvazökarlıqdan uzaqlaşma və həqiqi mərifətin qarşısını alan pərdə kimi dərk olunur. Füzuli bu həqiqəti birbaşa nəsihət şəklində deyil, rəmzlər, alleqoriyalar və poetik dialoqlar vasitəsilə ifadə edir. Bu da onun sənətkar qüdrətini göstərən mühüm cəhətlərdən biridir [12].

Füzulinin "Bəngü Badə" və "Söhbətül-əsmar" əsərləri təkəbbür anlayışının bədii-fəlsəfi təhlili üçün xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Hər iki əsərdə təkəbbür birbaşa termin kimi deyil, özünü üstün sayma, başqasını kiçiltmə, nəfsani lovğalıq və mütləq üstünlük iddiası formasında təzahür edir. "Bəngü Badə"də bu xüsusiyyət alleqorik qarşıdurmada, "Söhbətül-əsmar"da isə personifikasiya olunmuş surətlərin özünütərifində üzə çıxır [13].

"Bəngü Badə"əsərinin "Kərdəni-bəhs Bəngü Mey bahəm" hissəsində Bəng ilə Badənin deyişməsi çox orijinal verilmişdir:

Mey edir:
- Mən nəbireyi-takəm!
Bəng edir:
- Sən pəlidü mən pakəm!
Mey edir:
- Mən nədimi-sultanəm!
Bəng edir:
- Mən bir əhli-irfanəm!
Mey edir:
- Hakimi-həvasəmü huş!
Bəng edir:
- Sufiyəm mən əzrəqpuş! [9]**.**

Bu kiçik dialoqda təkəbbürün iki fərqli forması ilə qarşılaşdıq. Biri dünyəvi təkəbbür, digəri isə mənəvi təkəbbürdür. Əsər, ilk növbədə istər bir fərd olaraq insanın, istərsə də cəmiyyət rəislərinin, ixtiyar sahiblərinin təkəbbürü, mənəmlik iddiası, cahangirlik ehtirası ucbatından baş verən faciələri, qan-qırğınları açıb göstərir. Qürura qapılan toplum başçılarının, hökmdarların lovğalığı, yekəxanalığı dünya abadlığının viranəliyinə, fəlakətlərə səbəb olur. Deyilən mətləbi müəllif Badə və Bəng obrazlarının timsalında dahiyanə ustalıqla ümumiləşdirmişdir [14].

Badə təkəbbürlü, xudbindir. Onun xarakteri eqoizmə, yersiz qürura, mənəmlik iddiasına tabedir. Bəngin mənfi səciyyəsi də eynilə Badəyə bənzəyir. Birincidə gördüyümüz naqis, qeyri-kamil sifətlərlə, eynilə ikincidə də rastlaşırıq: qürur, təkəbbür, lovğalıq, mənəmlik ehtirası, eqoizm [15]. Bu xüsusiyyətlər isə

insanı birbaşa məhvə sürükləyən amillərdir. "əl-Kafi" kitabının 2-ci cildində İmam Sadiqin (ə) bu hədisi ilə rastlaşırıq: "(Qiyamət günündə) Təkəbbürlü insanlar qarışqa halına salınacaq və Allah-təala öz bəndələri ilə haqq-hesab çəkənə qədər insanlar onları daima ayaqları altında əzəcəklər" [11].

"Söhbətül-əsmar" əsərində müxtəlif meyvələrin bir-birləri ilə mübahisə etdiyi maraqlı mənzərənin şahidi oluruq. Özünü öyən, öz fəxarətli cəhətlərini qürurla söyləyən meyvənin sözünü bir başqası sərt şəkildə kəsir. Onu ədəbsizlikdə, həddini aşmaqda günahlandırır və həmin meyvənin zərərli, naqis cəhətlərini sayır, onu susdurmağa çalışır [15]. Obrazın özü haqqında söylədiyi fikir onun eqoizmini, xudpəsəndliyini bariz şəkildə ifadə edir:

Şaftalu deyərdi:
- Padişahəm,
Fıstıq ki:
– Əncüm içrə mahəm.
Həm Cövz deyərdi:
– Xosrovam mən.
Fındıq deyərdi:
- Sərvərəm mən.
Limu ki:
- Mənəm bu bağa mahmud.
- Şaham ki, deyərdi Şahpalud.
...Əlqissə ki, bustanda Qavun
Vəsf etdi özünü həddən əfzun.
Qeyz ilə o dəm ayağa durdı,
Öz başını xişm ilə ayırdı [9]**.**

Bu əsərdə də təkəbbürün üç forması ilə rastlaşdıq: soy-kökü ilə öyünənlər, gözəlliyi ilə öyünənlər, vəzifə və rütbəsi ilə öyünənlər. Hər biri çox təhlükəlidir. Füzuli bu əsəri ilə izah etmək istəyir ki, hər bir meyvənin, eyni zamanda insanın özünəməxsus gözəl xüsusiyyətləri var. Nəticə etibarilə, hamısı özlüyündə faydalı funksiyaya malikdir. Amma onların bu üstünlüklərini başqasını aşağı görüb onu alçaltmaq üçün istifadə etməsi təkəbbür hesab olunur. Əsərin sonuna doğru qarşılaşdığımız maraqlı məqam odur ki, qovun öz başını "qəzəblə, hiddətlə yarır". Bu mənzərə sübut edir ki, təkəbbür sözün əsl mənasında insanı daxilən məhv edən xüsusiyyətdir. Təkəbbür ilə ucalmaq qeyri-mümkündür. Necə ki, Allah İsra surəsinin 37-ci ayəsində buyurur: **"Və yer üzündə təkəbbür və məğrurluqla yol getmə. Çünki sən (nə qədər qüvvətli olsan da) heç vaxt (öz addımlarınla) yeri yara bilməz və heç vaxt ucalıqda dağlara çata bilməzsən"** [4]**.**

"Şikayətnamə" əsərində də bu mövzu diqqəti cəlb edir. Burada məmurların **"müttəsil bizim adətimiz budur"** deyərək sultanın əmrinə itaət etməmələri, özlərini həm sultandan, həm də qayda-qanunlardan üstün görmələri, **"Ağçamız ilə satın almışız"** ifadəsilə isə dini hökmlərə belə əhəmiyyət verməmələri təkəbbürün bariz nümunəsidir. Hətta məşhur **"Salam verdim - rüşvət deyildir deyü almadılar"** cümləsi əsərdəki təkəbbür anlayışının kulminasiya nöqtəsidir. İnsan o qədər kiçilir ki, insanlıq nümunəsi olan "Salamı almaq" mədəniyyətindən belə məhrum olur [9]. Məmurların salamı cavabsız qoymaları, onların nəinki dövlət qanunlarını, eləcə də məvəvi, dini dəyərləri belə əhəmiyyətsiz hesab etdiyini göstərir. Bir sözlə, Füzuli burada söyləmək istəyir ki, təkəbbür olan yerdə ədalətin olması mümkünsüzdür. Çünki təkəbbür özünü üstün görmək, ədalət isə özünü qarşı tərəflə bərabər tutmaqdır. Əgər bir kəsdə kibr varsa o heç vaxt adil ola bilməz.

Qurani-Kərim və İslam fəlsəfi düşüncəsi kontekstində bu əsərlər göstərir ki, təkəbbür insanı həqiqətdən, təvazökarlıqdan və mənəvi kamillikdən uzaqlaşdıran nəfsani haldır. Füzuli bu ideyanı poetik dillə ifadə etməklə klassik ədəbiyyatda əxlaqi-fəlsəfi dərinlik yaratmışdır.

6. Təkəbbürün sosial-mənəvi nəticələri: Füzuli baxışı

Füzuli irsində təkəbbür yalnız insanın Allahla münasibətini korlayan keyfiyyət deyil, həm də onun cəmiyyətlə münasibətlərinə zərər vuran mənəvi qüsurdur. Təkəbbürlü insan empatiya qabiliyyətini itirir, başqasının dərdini anlamır, özünü ölçü meyarına çevirir. Bu isə ədalətsizlik, mənəvi sərtlik və ictimai uzaqlaşma yaradır. Şairin eşq fəlsəfəsi bu mənada sosial-mənəvi balans yaradır. Eşq insanı həm yumşaldır, saflaşdırır, həm də başqalarının ağrısına həssas edir. Təvazö, mərhəmət və mənəvi dərinlik Füzulidə bir-biri ilə sıx bağlıdır [16]. Təkəbbür isə bu əlaqəni dağıdır. Deməli, Füzuli yaradıcılığında təkəbbürə qarşı çıxmaq sadəcə fərdi qüsuru tənqid etmək deyil, həm də mənəvi və ictimai harmoniyanı müdafiə etməkdir. Müasir baxımdan da bu ideyalar aktualdır. İnsan öz biliyi, mövqeyi, sərvəti və ya sosial nüfuzu ilə lovğalandıqda

Füzulinin tənqid etdiyi nəfsani vəziyyətə düşür. Klassik şairin düşüncəsi bu gün də insanı daxilən təmizlənməyə, təvazökar olmağa və həqiqəti məhz mənəvi kamillikdə axtarmağa çağırır [17].

NƏTİCƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, Məhəmməd Füzuli yaradıcılığında təkəbbür anlayışı dərin dini, əxlaqi və fəlsəfi məzmun daşıyır. Şair bu anlayışı insanın mənəvi tərəqqisinə mane olan, nəfsi qüvvətləndirən və ilahi həqiqətdən uzaqlaşdıran daxili hal kimi təqdim edir. Füzuli poetikasında təkəbbürə qarşı əsas mənəvi alternativ təvazö, eşq, mərifət və nəfsin cilovlanmasıdır. Qurani-Kərimdə təkəbbürün qınanması ilə Füzuli yaradıcılığındakı mənəvi-fəlsəfi xətt arasında aydın uyğunluq mövcuddur. Quranda təkəbbür haqqı inkarın, mənəvi korluğun və azğınlığın səbəbi kimi göstərilirsə, Füzuli irsində də o, insanın kamillik yolunu bağlayan mənfi xüsusiyyət olaraq mənalandırılır. İslam fəlsəfəsi və irfan elmində təkəbbürün nəfsani xəstəlik kimi dərk edilməsi də Füzuli yaradıcılığının ideya əsaslarını anlamaqda mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Ədəbiyyat

1. **Ayətullah əl-üzma Nasir Məkarim Şirazi**, "Təfsiri-nümunə (seçmə hissələr)", Bakı, 2017, C. 1-5, səh. 1-450 (Tərcümə və şərh).
2. **Füzuli, Məhəmməd**, "Leyli və Məcnun", Gənclik Nəşriyyatı, Bakı, 1993, səh. 1-280 (Poema, nəsr tərcüməsi ilə).
3. **Füzuli, Məhəmməd**, "Seçilmiş əsərləri, I cild (poetik əsərlər)", Şərq-Qərb Nəşriyyatı, Bakı, 2005, səh. 1-420.
4. **Qurani-Kərim**, "Mətn və tərcüməsi", Beynəlxalq Əl-Huda Nəşriyyatı, Bakı, 2005, (Ümumi nəşr, səhifə sayı: 604).
5. **Füzuli, Məhəmməd**, "Hədiqətüs-süəda", Şərq-Qərb Nəşriyyatı, Bakı, 2005, səh. 1-350.
6. **Əllamə Məhəmməd Baqir Məclisi**, "Biharul-ənvar (cild 1-110)", Əz-Mənşuratı Çapxaneyi İslamiyyə, Tehran, 2008, C. 1, səh. 1-500 (Ərəb dilində).
7. **Əliyev, Fəda**, "Füzuli poetikası və fəlsəfi düşüncə", Bakı, 2015, səh. 1-300 (Monoqrafiya).
8. **Tusi, Nəsirəddin**, "Əxlaqi-Nasiri", Lider Nəşriyyatı, Bakı, 2005, səh. 1-350 (Farscadan tərcümə).
9. **Füzuli, Məhəmməd**, "Seçilmiş əsərləri, II cild (nəsri əsərlər)", Şərq-Qərb Nəşriyyatı, Bakı, 2005, səh. 1-390.
10. **Əfəndiyev, Hüseyn**, "Azərbaycan klassik ədəbiyyatı tarixi", Bakı, 2012, səh. 1-480.
11. **Şeyx Kuleyni**, "Ravzatul-kafi (Peyğəmbər (s) və Əhli-Beytdən (ə) nəql olunmuş hədislər)", Tərc. İsrafil Məmmədli, "Nurlar" Nəşriyyatı, Bakı, 2019, səh. 1-550.
12. **Araslı, Həmid**, "XVII-XVIII əsr Azərbaycan ədəbiyyatı", ADU Nəşri, Bakı, 1956, səh. 1-200 (Dərs vəsaiti).
13. **Araslı, Həmid**, "Böyük Azərbaycan şairi Füzuli", Azərbaycan Uşaq və Gənclər Ədəbiyyatı Nəşriyyatı, Bakı, 1958, səh. 1-120.
14. **Babayev, Yaqub**, "Azərbaycan ədəbiyyatı tarixi", Elm və Təhsil Nəşriyyatı, Bakı, 2014, səh. 1-520.
15. **Azərbaycan ədəbiyyatı tarixi (I cild)**, Elm Nəşriyyatı, Bakı, 1960, səh. 1-600 (Kollektiv müəlliflər).
16. **Səfərli, Əliyar; Yusifov, Xəlil**, "Qədim və orta əsrlər Azərbaycan ədəbiyyatı", Maarif Nəşriyyatı, Bakı, 2008 (3-cü nəşr), səh. 1-450 (İlk nəşr 1982).
17. **Məmmədov, Kamran**, "Azərbaycan ədəbiyyatında təsəvvüf və irfan motivləri", Bakı, 2015, səh. 1-270.

SUFİ PSİXOLOGİYASINDA MƏNƏVİ İYERARXİYA VƏ ONUN KLASSİK BƏDİİ MƏTNDƏ ESTETİK TƏZAHÜRLƏRİ

fil.f.d., dosent MÖVLAMOVA MEHRIBAN OQTAY QIZI,
Azərbaycan Dillər Universiteti, Filologiya fakültəsi
m.movlamova@gmail.com
BAKI, AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ

Məqalədə klassik Şərq irfani təfəkkürünün fundamental sütunlarından biri olan mürşid-mürid münasibətləri fəlsəfi və psixoloji aspektlərdən tədqiq olunur. Tədqiqatın əsas qayəsini bu münasibətlərin sadəcə bir ustad-şagird iyerarxiyası deyil, fərdin öz subyektiv məhdudiyyətlərindən arınaraq Mütləq varlığa doğru reallaşdırdığı ontoloji transformasiya prosesi olduğu tezisi təşkil edir. İşdə Şəhabəddin Sührəvərdi, Eynəlqüzat Miyanəci, Fəridəddin Əttar və Cəlaləddin Ruminin nəzəri baxışları işığında "fəna-fiş-şeyx", "süluk" və "mənəvi bişmə" mərhələləri təhlil edilir. Xüsusi olaraq, Azərbaycan-türk ədəbi mühitində bu iyerarxiyanın inkişaf dinamikası İmadəddin Nəsimi, Şah İsmayıl Xətai və Məhəmməd Füzuli yaradıcılığı üzərindən izlənilir. Nəsimi poeziyasındakı "vizual təvhid", Xətai irsindəki "mütləq beyət" və Füzuli sistemindəki "eşq katalizatoru" modelləri müqayisəli şəkildə araşdırılır. Məqalənin orijinal elmi yeniliyi Seyid Həmzə Nigarinin "Çaynamə" məsnəvisində mürşid-mürid əlaqələrinin "çay dəstgahı" alleqoriyası vasitəsilə təqdim olunmuş təhlilidir.

***Açar sözlər**: Süluk, fəna-fiş-şeyx, ontoloji transformasiya, müdrik qoca, kamil insan, mürşid, mürid*

SPIRITUAL HIERARCHY IN SUFI PSYCHOLOGY AND ITS AESTHETIC MANIFESTATIONS IN CLASSICAL LITERARY TEXTS

PhD.DOC.DR MOVLAMOVA MEHRİBAN OQTAY

The article explores the philosophical and psychological aspects of the murshid-murid (master-disciple) relationship, a fundamental pillar of classical Oriental mystical thought and poetic systems. The central thesis of the study is that this relationship is not merely a conventional teacher-student hierarchy, but rather an ontological transformation process through which the individual transcends subjective limitations toward the Absolute Being. Drawing on the theoretical perspectives of Shihab al-Din Suhrawardi, Ayn al-Quzat Hamadani, Farid al-Din Attar, and Jalal ad-Din Rumi, the stages of fana fi'sh-shaykh, sulook (spiritual pathing), and "spiritual maturation" are analyzed. The developmental dynamics of this hierarchy within the Azerbaijani-Turkish literary environment are traced through the works of Imadaddin Nasimi, Shah Ismail Khatai, and Muhammad Fuzuli. Specific models, such as "visual tawhid" in Nasimi's poetry, "absolute allegiance" in Khatai's legacy, and the "catalyst of love" in Fuzuli's system, are comparatively examined.

***Keywords:** Sulook, fana fi'sh-shaykh, ontological transformation, the Wise Old Man, al-Insan al-Kamil, murshid, murid.*

GIRIŞ

Klassik Şərq təfəkkür sistemində mürşid və mürid münasibətləri sadəcə pedaqoji bir proses deyil, fərdin öz subyektiv məhdudiyyətlərindən çıxaraq Mütləq Varlığa doğru etdiyi ontoloji sıçrayışdır. Bu sistem, insan ruhunun maddi aləmdən ilahi nura can atma prosesini tənzimləyən mənəvi laboratoriya funksiyasını daşıyır. Şəhabəddin Sührəvərdinin "İşraq" doktrinasından Eynəlqüzat Miyanəcinin "ilahî dəlilik" fəlsəfəsinə, Fəridəddin Əttarın "təslimiyyət" prinsipindən Mövlanə Ruminin "oyanış" metaforasına qədər geniş bir spektri əhatə edən bu münasibətlər kompleksi klassik poeziyanın metafizik mühərrikidir. Azərbaycan irfani poeziyasında İmadəddin Nəsimi, Şah İsmayıl Xətai və Məhəmməd Füzuli, Seyid Nigari kimi mütəfəkkir şairlərin yaradıcılığında bu əlaqə mənəvi katarsis və "Kamil insan" modelinin inşası baxımından müstəsna əhəmiyyət kəsb edir.

Mövzunun aktuallığı, klassik ədəbiyyatdakı bu mənəvi kimya prosesinin müasir insanın ekzistensial axtarışları və psixoloji transformasiya ehtiyacları işığında yenidən dəyərləndirilməsi zərurətindən doğur. Təsəvvüf və klassik ədəbiyyatşünaslıqda mürşid-mürid iyerarxiyası əsasən nəzəri-etik müstəvidə araşdırılmış, bu münasibətlərin bədii mətndəki simvolik və alleqorik təzahürləri çox vaxt ümumi qəliblər daxilində şərh olunmuşdur. Tədqiqatın əsas məqsədi klassik Şərq və Azərbaycan ədəbiyyatında mürşid-mürid münasibətlərinin fəlsəfi-psixoloji nüvəsini müəyyənləşdirməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün işdə Sührəvərdi, Miyanəci, Əttar və Rumi fəlsəfəsindəki "fəna", "nəfs transformasiyası" və "təslimiyyət"

prinsipləri analiz edilmiş və Nəsimi, Xətai və Füzuli poeziyasındakı "güzgü", "beyət" və "eşq katalizatoru" modelləri müqayisəli şəkildə araşdırılmışdır. Tədqiqat işi giriş, üç əsas bölmə, nəticə və istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir.

Birinci bölmədə ruhun təkamülündəki psixoloji konstruksiyalar, xüsusilə Əttar və Rumi yaradıcılığı əsasında nəfsin transformasiya mərhələləri araşdırılır. İkinci bölmədə Azərbaycan irfani poeziyasında kamil insan modeli və mürşid avtoritetinin estetik formaları təhlil edilir. Üçüncü bölmədə Seyid Həmzə Nigarinin "Çaynamə" məsnəvisində irfani iyerarxiyanın alleqorik inikası və "çay dəstgahı" metaforasının rəmzi mənaları açıqlanır. Nəticə hissəsində aparılmış təhlillər ümumiləşdirilir və mürşid-mürid əlaqəsinin klassik poetikadakı metafizik mahiyyəti barədə yekun qənaətlər təqdim olunur

RUHUN TƏKAMÜLÜNDƏ PSIXOLOJI KONSTRUKSIYALAR

Klassik Şərq poetikasında mürşid və mürid münasibəti sadəcə bir nəsihət müstəvisi deyil, fərdin öz "mən"lik sərhədlərini aşması üçün zəruri olan "mənəvi cərrahiyyə" prosesidir. Bu prosesin ən kamil bədii modeli Fəridəddin Əttarın "Mantiqut-teyr" əsəridir. Əttar müridi (quşları) mürşidin (Hüdhüdün) rəhbərliyi ilə yeddi vadidən keçirir. Bu vadilər sadəcə coğrafi məkanlar deyil, müridin daxili müqavimətinin qırıldığı psixoloji mərhələlərdir. Mürşid burada müridin qarşısında duran ən böyük maneəni onun öz "mən"ini ona tanıdan şəxsdir.

Cəlaləddin Ruminin "Məsnəvi"sində bilginin ötürülmə mexanizmi daha dərindir. Rumi üçün mürid (Ney) öz-özlüyündə bir mənaya sahib deyil. O, yalnız mürşidin nəfəsi ilə ("Nayi") məna qazanır. Rumi mürşidi müridin "ruh aynası" kimi təqdim edir. Mürid mürşidə baxdıqda əslində özündəki ilahi potensialı görür. Rumi qeyd edir ki, mürşidin müridə ən böyük töhfəsi onu "qal"dan xilas edib "hal"a gətirməsidir.

Fəridəddin Əttar və Cəlaləddin Rumi sistemində mürşidin əsas vəzifəsi müridi "Fəna" məqamına çatdırmaqdır. Lakin bu, son deyil. "Mantiqut-teyr"in sonunda otuz quşun (si murgh) Simurqa çatdıqda əslində Simurqun elə onların özü olduğunu anlaması, mürşid-mürid əlaqəsinin finalını göstərir: Mürid artıq mürşidə ehtiyac duymadığı bir mərtəbəyə, öz daxili ilahi mərkəzinə çatır. C. Rumi bunu "qətrənin dənizə qovuşması" kimi xarakterizə edir. Burada mürşid dəniz, mürid isə qətrədir. Qətrə dənizdə itdikdə, o artıq dənizin özü olur. Bu proses müridin öz eqo-məhdudiyyətlərindən azad olub universal şüurla inteqrasiyasıdır ki, bu da müasir analitik psixologiyada "fərdiyyətləşmə" prosesinin ən ali nöqtəsi ilə üst-üstə düşür.

AZƏRBAYCAN İRFANI POEZIYASINDA KAMIL İNSAN MODELI VƏ MÜRŞID AVTORITETI

Klassik Azərbaycan-türk ədəbiyyatında mürşid-mürid münasibətləri Hürufilik ideologiyaları çərçivəsində daha radikal və estetik bir məzmun qazanır. Burada mürşid sadəcə yol göstərən deyil, mürid üçün mütləq itaət və eşq obyektidir. Nəsimi fəlsəfəsində mürşid (Fəzlullah Nəimi timsalında) müridin qarşısında duran elə bir güzgüdür ki, mürid orada öz maddi varlığını deyil, Tanrının sifətlərini görür. Hürufi poetikasında insanın üzündəki cizgilər ilahi bir mətndir və mürşid bu mətni oxumağı öyrədən ustaddır. Nəsimi fəlsəfəsində mürşid və mürid arasındakı bağ "eşqdə eyniləşmə" prinsipindən keçir.

"Üzün Quranına gəldim, sənə mən bəndəlik qıldım,
Sənin hüsnün mənə bəsdir, dəxi quran nəyə lazım?" (Nəsimi, 2004, s.165)

Gətirilən nümunədə Nəsimi mürşid-mürid əlaqəsini klassik dini formalardan ayırıb "gözəllik ontologiyası"na daşıyır. Mürid mürşidin simasında mütləq həqiqəti tapırsa, artıq vasitəçi kitablara ehtiyac qalmır. Bu, psixoloji baxımdan müridin mürşidi öz daxili ideallarının obyektiv təzahürü kimi qəbul etməsidir. Nəsimi üçün mürşidə beyət etmək mürid üçün bir "mi rac" hadisəsidir. Mürid mürşidinin əlini tutduqda, əslində zaman və məkandan kənar olan Mütləq Varlıqla əhd bağlayır:

"Çünki mürşid mənə dedi: "Ənəl-Haqq!",
Nəsimi, Haqqı buldun sən də bu gün" (Nəsimi, 2004, s.192).

Nəsimi mürid-mürşid münasibətini elə bir dərəcəyə çatdırır ki, müridin mürşidə yönəlməsini namazdakı qiblə ilə eyniləşdirir:

"Ey Nəsimi, qiblədir mürşid üzü,
Gör nə sadiq bəndədir Haqqın özü." (Nəsimi, 2004, s.208).

Bu yanaşma mürşid-mürid iyerarxiyasının son nöqtəsidir. Mürid artıq mürşidini sadəcə bir insan kimi deyil, Allahın yer üzündəki vizual mərkəzi kimi görür.

Nəsimi fəlsəfəsində mürşid sadəcə bir müəllim deyil, Tanrının yer üzündəki vizual təcəllisi, müridin isə öz ilahi mahiyyətini tapdığı mütləq "güzgü"dür. Müridin mürşid simasını Quran və qiblə ilə eyniləşdirməsi, mənəvi iyerarxiyanın ən radikal zirvəsini təşkil edir.

Nəsimidə olduğu kimi, Xətaidə də mürşidin "qiblə" ilə eyniləşdirilməsi onun mütləq avtoritetini göstərir. Mürşidin nəfəsi mürid üçün bir növ "mənəvi xəritə"dir; o, müridi dünyəvi qaranlıqdan ilahi nura tərəf

yönəldir. Şah İsmayıl Xətai yaradıcılığında mürşid-mürid əlaqəsi "can qurbanlığı" və "mənəvi intizam" üzərində qurulub. Xətai üçün "Yol" hər şeydən ucadır. Mürid bu yola girərkən öz mənliyini "yox" etməli, mürşidinin iradəsində əriməlidir. O, "Nəsihətnamə" və qoşmalarında müridə xəbərdarlıq edir:

"Mürşid bəyənməyən bəndəni neylər,
Həqiqət yolunda xəcil eylər." (*Xətai, 2005,s. 112.*)

Burada mürşidin "bəyənməsi" mürid üçün ilahi rəhmətin qapısıdır. Psixoloji baxımdan bu, müridin daxili vicdanının mürşid obrazı ilə proyeksiyasıdır. Mürşid müridin hər bir hərəkətini mənəvi tərəziyə çəkən "kamil meyar"dır. Xətainin qoşmalarında mürşidin bir sözü və ya nəfəsi mürid üçün sarsılmaz bir dayaqdır. Mürid mürşidindən aldığı "icazə" ilə mənəvi sülukunu davam etdirir:

"Mürşid gəldi, nəfəs gəldi,
Qibləsi Haqq tərəf gəldi," (*Xətai, 2005,s. 320.*)

Xətai poeziyasında mürşid "Şah", mürid isə "qul" və ya "gəda"dır. Lakin bu köləlik fiziki deyil, mənəvi azadlıqdır. Mürid öz nəfsinin əsarətindən qurtulmaq üçün mürşidinə qul olur:

"Xətai eydür: mən mürşid quluyam,
Həqiqət bəhrinin bircə gölü mən" (*Xətai, 2005,s. 148*).

Xətainin Mürşidi "bəhr" , özünü isə "göl" adlandırması müridin mənəvi iyerarxiyadakı yerini və təvazökarlıq fəlsəfəsini göstərir. Bu, müridin öz eqosunu kiçildərək, böyük bir ideyaya bağlanması prosesidir. Xətai poeziyasında mürid mürşidinin yolunda canından keçməyi ən ali məqam hesab edir. Bu, fiziki ölüm deyil, müridin öz fərdi iradəsini mürşidin "külli iradəsi"ndə əritməsidir:

"Xətai eydür: ya Şah, qurbanın olam,
Bu yolda canımı cananın olam." (*Xətai, 2005,s. 310)*

Şah İsmayıl Xətai yaradıcılığında mürşid-mürid münasibətlərinin təhlili göstərir ki, bu əlaqə təkcə mənəvi bələdçilik deyil, həm də mütləq sadiqlik və sakral bir tabeçilik iyerarxiyasıdır. Xətai sistemində mürşid müridin həm dünyəvi, həm də batin aləminin mütləq hakimi olan "Piri-Kamil" və "Şah" statusunda çıxış edir. Mürid üçün mürşid iradəsinə təslim olmaq, əslində nəfsin əsarətindən qurtularaq həqiqi azadlığa qovuşmaq deməkdir.

Azərbaycan irfani düşüncə tarixində mürşid-mürid münasibətləri Nəsimi və Xətai yaradıcılığında mürşidin ilahiləşdirilmiş surətinə sadiqlik və mütləq beyət üzərində bərqərar olmuşdusa, Məhəmməd Füzuli yaradıcılığında bu əlaqə daha çox müridin daxili yaşantısına, onun ruhunun eşq vasitəsilə "təmizlənmə" prosesinə fokuslanır. Füzulidə mürşid müridə sadəcə bir ideologiya və ya doktrina diktə etmir. O, müridi mənəvi bir boşluğa (eşq dərdinə) salaraq, onun bütün daxili dayaqlarını (eqosunu) sarsıdır ki, mürid özünü yenidən, daha ali bir səviyyədə inşa edə bilsin. Azadə Rüstəmova Füzuli yaradıcılığındakı eşq fenomeni haqqında danışarkən qeyd edir ki: "Təsəvvüfə görə elə məhəbbət də ona (insana) yenə şəhadət aləmindən, həqiqət aləminə qayıtmağa – vahidlə vəhdətə kömək edə biləcək bir qüvvə ola bilər" (Rüstəmova, 1994, s. 32). Beləliklə, Nəsiminin "surət"ində başlayan, Xətainin "beyət"ində möhkəmlənən bu mənəvi süluk , Füzulinin "eşq katalizatoru" ilə özünün ən ali psixoloji-fəlsəfi zirvəsinə çatır.

"Ey saliki-rahi-həq, sənə qət'i-təriq,
Düşvardır olmasa rəfiqin tovfiq.
Tut daməni-mürşidi-təvəkkül ki,
sənə Məqsud müyəssər ola, tovfiq rəfiq" (Füzuli, 2005, s.375)

Müəllifin qənaətinə görə, həqiqət yolçusunun qarşılaşdığı çətinliklər yalnız ilahi köməyin yoldaşlığı ilə aşıla bilər. Lakin bu ilahi dəstək mücərrəd bir anlayış deyil, konkret bir mənəvi vasitə olan mürşid vasitəsilə təzahür edir. Füzuli müridi mürşidin "ətəyindən tutmağa" səsləyərkən, əslində müridin öz cüz'i iradəsini mürşidin kamil iradəsinə təslim etməsini mənəvi uğurun yeganə açarı kimi təqdim edir. Beləliklə, mürşid burada mürid ilə ilahi uğur arasında bir körpü rolunu oynayır.

"Nə gördü badədə bilmən ki, oldu badəpərəst,
Mürid məşrəbü zöhhad gördügün könlüm." (Füzuli, 2005, s.231)

Beytin bədii fəlsəfəsinə görə, mürşid tərəfindən təqdim olunan mənəvi feyz, zahid üçün sadəcə maddi və ya qadağan olunmuş bir obyektdirsə, mürid məşrəbli könül üçün o, ilahi bir kəşf mənbəyidir. Füzuli mürşid-mürid iyerarxiyasını təkcə quru qaydalar sistemi kimi deyil, bir "zövq məktəbi" kimi təqdim edir. Müəllif mürşid obrazını burada "Saqi" simvolu ilə verir və müridliyini belə bəyan edir:

"Müridi-saqiyəm kim lütfi əhli-zövqə daimdir,
Nə hasil əhli-zöhdün şəfqətindən kim, müdam olmaz." (Füzuli, 2005, s.142)

Məhəmməd Füzuli yaradıcılığında mürşid-mürid iyerarxiyasının təhlili göstərir ki, şair bu münasibətləri quru hüquqi-dini müstəvidən çıxararaq tamamilə bədii-psixoloji və irfani bir təcrübəyə çevirmişdir. Füzuli

fəlsəfəsində mürşid sadəcə yol göstərən bir avtoritet deyil, müridin daxili aləmindəki "mis" mahiyyəti "qızıl"a çevirən mənəvi kimyagər, onu zahiri zöhdün qəliblərindən xilas edib həqiqi eşqin zövqünə çatdıran mənəvi bir "Saqi"dir.

SEYID HƏMZƏ NIGARININ "ÇAYNAMƏ" MƏSNƏVISINDƏ İRFANI İYERARXIYANIN ALLEQORIK İNIKASI

XIX əsr Nəqşibəndilik təriqətinin görkəmli nümayəndəsi Seyid Həmzə Nigarinin "Çaynamə" məsnəvisində mürşid və mürid arasındakı münasibətlər ənənəvi "xidmət" çərçivəsini aşaraq, "İxvani-təriq" və "Kəmal" müstəvisinə yüksəlir. Nigari klassik təsəvvüf poeziyasının "meyxanə" və "şərab" rəmzlərini XIX əsrin hüzur rəmzi olan "çay" ilə əvəzləyərək irfani bir islahat həyata keçirir:

“Övsafi-çayə verək rəvacı,
Meyxanədən əxz edək xəracı.” (Nigari, 2010, s.764)

Seyid Həmzə Nigarinin "Çaynamə" məsnəvisi bu mürəkkəb metafizik münasibətlər sistemini gündəlik məişət mədəniyyətinin bir parçası olan "çay dəstgahı" üzərindən simvollaşdıran ən orijinal nümunələrdən biridir. Müəllif burada mürşidi mərkəzi mühərrik - samovar, müridi isə ondan feyz alan piyalə və ya istəqan obrazında təqdim edərək, təsəvvüfün ağır terminologiyasını vizual və bədii bir dilə çevirmişdir. Məsnəvinin ilkin qatında mürşid obrazı "Simavəri-cani-əhli-dillər" (Könül əhlinin can samovarı) kimi təsnif edilir. Buradakı samovar metaforası mürşidin daxili aləmindəki "eşq atəşi" ilə "mənəvi su"nun vəhdətini ifadə edir. "Odur eşq atəşilə qaynadıb dəm-dəm bu samarın"(Nigari, 2010, s.784) misrası mürşidin vəcd halını və onun müridlərə ötürəcəyi mənəvi enerjinin hazırlandığı mərhələni göstərir. İyerarxiyanın mərkəzində müridin mürşid qarşısındakı təslimiyyəti və bu təmasdan doğan mənəvi "bişmə" prosesi dayanır. Nigari bu prosesi çayın dəmlənməsi və inqrediyentlərin bir-birinə qarışması "imtizac" anlayışı ilə izah edir.

"Məzc olsa şəkər, olur mükərrər,
Limun ilə bir olunca qəndab.
Xoş təb’i, şirindir məzacı,
Kim şir ilə eylər imtizacı" (Nigari, 2010, s.766).

"Məzc olsa şəkər, olur mükərrər" və "Limun ilə bir olunca qəndab" kimi ifadələr müridin fərdi eqosunu mürşidin iradəsində (çayda) əritməsini simvolizə edir. Bu, təsəvvüfdəki "fəna-fiş-şeyx" məqamıdır ki, burada mürid öz müstəqil mahiyyətindən imtina edərək yeni bir kəmiyyət "vəhdət şərbəti"nin bir parçasına çevrilir. Çay süfrəsindəki stəkanların mərkəzi günəş olan samovar ətrafında ay və ulduzlar kimi düzülməsi, mürşid-mürid münasibətlərinin kosmik bir nizam olduğunu təsdiqləyir. Əsərdə diqqətçəkən digər məqam mürşidin mürid üzərindəki psixoloji-energetik təsiridir ki, bu da "feyzi-nəzər" və ya "kimya" terminləri ilə ifadə olunur. Nigari mürşidi həm də müridin ruhunu canlandıran "Məsihiyi-dəm" kimi təsvir edir. Samovardan (mürşiddən) çıxan buxar müridin ölü qəlbinə həyat verən ilahi nəfəsdir.

“Miftahı ələ alaq dilavər,
Cənnət qapusin açaq bərabər” (Nigari, 2010, s.764)

Seyid Nigari “Çaynamə” məsnəvisində müridin təkamülünü bir fincan çayın içindəki şəkərin, limonun və südün bir-birinə qarışması kimi təqdim edir. Müəllifə görə, mürid mürşidinin təlimində fərdi eqosunu (şəkər kimi) əritməlidir ki, mütləq ləzzət (kamil insan) ortaya çıxsın. Yekun olaraq qeyd etmək olar ki, Seyid Həmzə Nigarinin "Çaynamə" əsəri mürşid-mürid iyerarxiyasını epistemoloji müstəvidən çıxararaq onu ontoloji bir səviyyəyə qaldırır. Burada mürşid samovarın heybətində cəmləşən mütləq enerji mənbəyi, mürid isə o enerjini qəbul edib şəffaflaşan və kəmalətə çataraq mürşidi ilə eyni daddan qidalanan ("İrmiş hər ikisi bir kəmalə") subyektdir.

NƏTICƏ

Klassik Şərq irfani təfəkküründə və poetik sistemində mürşid-mürid iyerarxiyası sadəcə bir ustad-şagird münasibəti deyil, fərdin öz mənliyini dekonstruksiya edərək mütləq həqiqətə qovuşmasını təmin edən fundamental ontoloji transformasiya mexanizmidir. Tədqiqat göstərir ki, mürşid müridə kənardan nəsə əlavə edən bir bələdçi deyil, müridin daxilindəki gizli ilahi nurun qarşısını kəsən maddi hicabları aradan qaldıran mənəvi simyagərdir. Sührəvərdinin İşraq nurlarından, Miyanəcinin ağılarxası bəsirətindən, Əttar və Ruminin yoxluq və yanma fəlsəfəsindən süzülüb gələn bu mənəvi laboratoriya, Azərbaycan-türk ədəbi mühitində Nəsiminin vizual təvhid, Xətainin mütləq beyət, Füzulinin lirik-psixoloji katarsis və Nigarinin alleqorik-vəhdət modelləri ilə özünün ən ali estetik zirvəsinə çatmışdır.

Təriqət fenomenologiyasına görə: “mürid mürşidinə sarsılmaz bir güvən duymadığı təqdirdə, süluk yolunun ekzistensial çətinliklərinə sinə gərməsi qeyri-mümkündür” (Şimmel, 2001, s.118) Bu kontekstdə mürşid və mürid arasında yaranan ruhi yaxınlıq və sevgi, sadəcə subyektiv bir hiss deyil, təsəvvüfün keçmişdən bu günə qədər dəyişməyən fundamental qanunauyğunluğudur. Mürşid-mürid əlaqəsi klassik

poeziyanın süjet xəttini və emosional dərinliyini təmin edən fundamental metafizik mühərrikdir. Xam insanın kamil insan modelinə transformasiyası bu münasibətlərin tənzimlədiyi mənəvi simya sayəsində mümkün olur. Klassik Azərbaycan ədəbiyyatı bu metodologiyanı bədii obrazlar səviyyəsinə qaldırmaqla, insan psixologiyasının ən dərin qatlarını mənəvi vəhdət fəlsəfəsi ilə birləşdirmişdir.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1. Rüstəmova, Azadə. (1994) "Məhəmməd Füzuli". Bakı: "Şərq-Qərb"
2. Əttar, Fəridəddin. (2024). Məntiqut-teyr. (Farsca orijinalı və Azərbaycan dilində nəsrlə tərcüməsi və şərhi) Bakı: Apostrof.
3. Füzuli, Məhəmməd. (2005) Əsərləri. I cild (Altı cilddə). Bakı: "Şərq-Qərb".
4. Füzuli, Məhəmməd. (2005) Əsərləri. V cild (Altı cilddə). Bakı: "Şərq-Qərb".
5. Xətai, Şah İsmayıl. (2005) Əsərləri. Bakı: "Şərq-Qərb".
6. Məmmədov, Zakir. (1994) Azərbaycan fəlsəfəsi tarixi. Bakı: "İrşad".
7. Məmmədov, Zakir. (1969) Eynəlqüzat Miyanəci (Həyatı, yaradıcılığı və fəlsəfəsi). Bakı: "Elm".
8. Mövlanə Cəlaləddin Rumi.(2007) Mənəviyyat məsnəviləri. (Tərcümə edən: S.Şirinov). Bakı: "Şərq-Qərb".
9. Nəsimi, İmadəddin. (2004) Seçilmiş əsərləri. I cild (İki cilddə) Bakı: "Lider".
10. Sührəvərdi, Şəhabəddin.(1989) İşıq heykəlləri (Heýkəlün-nur). Tərcümə edən: Z. Məmmədov. Bakı: "Elm".
11. Şimmel, Annemari.(2001) İslamın mistik boyutları. İstanbul: "Kabalcı", 2001.

DEN BRAUNUN "CƏHƏNNƏM"İNƏ DÜŞMƏMƏYİN YOLLARI

F.ü.f.d.. YEQZAR CƏFƏRLİ
Dillər və ədəbiyyatlar departamenti, Xəzər Universiteti
Baku, Azerbaijan
0000-0002-1852-342X

Xülasə. Əsərin mərkəzində dayanan əsas problem dünya əhalisinin sürətlə artması və bu artımın yaradacağı fəsadlarla bağlıdır. Roman təkcə gərilim dolu mətn kimi deyil, həm də bəşəriyyətin gələcəyinə bir xəbərdarlıqdır. Den Braunun "Cəhənnəm"inə düşməməyin yollarını axtarmaq insanın öz məhvini necə dayandıra bilməsi ilə düz mütənasibdir. Bertrand Zobristin təqdim etdiyi radikal həll yolu müəllifin moralist və reallıq kəsb edən görüşləri ilə ziddiyyət təşkil edir. Romanda cəmiyyətin etik bir uçurumun astanasında olduğu təsvir olunur. Bir çox insanlar fərqində olmasalar da cəhənnəm bu dünyada yaratmaq üzrədirlər. Müəllif çıxış yolu kimi bioetik şüurun inkişafı, Dantenin fəlsəfəsinə söykənən özünüdərk və ədalətlə həqiqətin arasındakı etik və qlobal sərhədləri azaltmağı irəli sürür.
Açar sözlər: *Bioetik şüur, özünüdərk, etik və qlobal sərhədlər, xilas.*
Summary. The main problem at the heart of the work is the rapid increase in the world's population and the consequences that this increase will cause. The novel is not only a suspenseful text, but also a warning about the future of humanity. The search for ways to avoid falling into Dan Brown's "İnferno" is directly proportional to how a person can stop his own destruction. The radical solution presented by Bertrand Zobrist contradicts the author's moralistic and realistic views. The novel depicts society on the verge of an ethical abyss. Many people are about to create hell in this world, although they are not aware of it. The author proposes the development of bioethical consciousness, self-awareness based on Dante's philosophy, and the reduction of ethical and global boundaries between justice and truth as a way out.
Keywords: Bioethical consciousness, self-awareness, ethical and global boundaries, salvation.

I. GİRİŞ

Tədqiqatın yazılmasında məqsəd Den Braunun "Cəhənnəm" romanında müəllif təsvir etdiyi dünyanın mahiyyətini izah etməkdir. Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün romandan bir neçə sitat seçilib incələnmişdir. Dünya əhalisinin sürətlə artımı, texnoloji tərəqqinin dinamikası bu cür tədqiqatların

aparılmasına zəmin yaradır. Bu tip tədqiqatların aparılması ədəbiyyatşünaslığın yeni yanaşmalar baxımından zənginləşməsi baxımından da önəmlidir. Tədqiqatın yazılması zamanı analitik təhlil metodundan istifadə edilmişdir. Tədqiqat içi həcmcə kiçik olsa da, təklif etdiyi xilas modelləri baxımından faydalı ola bilər.

II. ƏSAS

İlk baxışda "Əhali haqqında esse"nin (Malthus, 1798) yazarı Tomas Maltusu Zobristin prototipi kimi düşünmək olar. Lakin onları ancaq məqsəd birləşdirir. Tomas Maltus essedə bəşəriyyəti xəbərdar edir, rasional həll yolları təklif edirdi. Nəzərə almaq lazımdır ki, o bu esseni yazanda dünya əhalisi indikindən dəfələrlə az idi. Zobristin təklif etdiyi həll isə kəskin və mənəviyyatdan kənardır. Əsərin baş qəhrəmanı Robert Lənqdonla Sienna Bruks onun esselərini incələrkən heyrətə gəlmələri həm də bioetik şüurun antixilasla əvəzlənməsinin yaratdığı qorxudan qaynaqlanırdı.

"Essedə deyilirdi ki, bəşəriyyət uçurum kənarında dayanıb. Qlobal artımın sürətini azaldacaq hansısa bir fəlakət baş verməsə, insan nəslinin ömrü yüz ildən də az qalıb" (1, s. 266).

Zobrist bəşəriyyətin böhran vəziyyətində olduğunu və xilasın artıq bir seçim yox, məcburiyyət olduğunu göstərməkdə haqlı ola bilər. Lakin onun təklif etdiyi "virus təklifi" absurd və antibəşəridir. Den Braun Zobristi antiqəhrəman səviyyəsinə qaldırmaqla əslində onun ideyalarının əks qütbündə dayanan çıxış yollarının önəminə diqqət çəkir. Beləcə müəllif cəhənnəmə düşməməyin yollarından biri kimi bioetik şüurun önəmini dolayı yolla bizə çatdırır. Əsərin Dantenin "İlahi komediya"sı əsasında yazılması məlumdur. Qısaca qeyd edim ki, Den Braun Dantenin görüşlərini müasirləşdirirərək onları klassik dövrdən qlobal sahəyə daşıyır. Beləcə Dantenin özünüdərk tezisi qlobal və etik don geyinmiş olur. Həqiqət (olan) və ədalət (olmalı olan) arasında etik və qlobal sərhədlərin qorunması romantik görüntü yaratsa da, namümkün deyil. Müəllif elmin mənəviyyatla bərabər addımlaması fikrini dəstəkləməklə Zobristin haqlılıq payını minimuma endirməyə çalışır.

Yazıçı roman vasitəsilə həqiqətin nisbiləşməsinin çoxqatlı modellərini təklif edir. Beləcə, qlobal təhlükələr və onlardan çıxış yolları romanın ideya əsasına çevrilir. XX yüzilliyin II yarısında etibarən postmodernizm və qloballaşma ilə yanaşı addımlayan texnologiya inkişaf səbəb olmaqla yanaşı, xaos və qeyri-müəyyənliyin də əsas memarlarından biridir. Həqiqətin itməkdə olduğu bu xaos mühitində təbiiliklə sünilik asanlıqla yerdəyişmə edir. Əlavə olaraq qeyd edim ki, roman əsasında çəkilmiş filmdə (3) vizual effektlər vasitəsilə hadisələrin dinamikası və rəngarəngliyi uğurla canlandırılmışdır.

Həqiqətin deformasiyası Den Braunun "Cəhənnəm"inə aparan əsas yollardan biridir. Demoqrafik böhranın sözügedən problemlə paralel inkişaf etdiyi halda, diqqətin günəş enerjisinə və təkrar istehsala yönəlməsi böyük bir etik boşluğun yaranmasına səbəb olur. Beləcə, ədalətlə həqiqət arasında etik və qlobal sərhədlərin itməsi prosesi baş verir. Ona görə də insanlar əhali artımın yaratdığı problemlərin fərqində olmalı, qlobal ədalətin bərpasına çalışmalıdırlar. Əks halda, mənəviyyat antxilasa çevriləcək, xaos isə dərinləşəcək.

"Gözlərinizi açın! Bəşəriyyət məhvin astanasındadır, amma dünya liderləri hələ də öz iclas zalında oturub günəş enerjisi, təkrar istehsal və hibrid avtomobillərlə bağlı araşdırmalar aparırlar" (1, s. 175).

Bədii mətndə müəllifin təklif etdiyi həll yolları bir neçə obraz vasitəsilə təqdim olunur. Beləcə, problemin təsvirində çoxçalarlılıq yaranır. Mətndə məzmun və ideya eyni ağırlıqda olmasa da, bu təzad narrativ pərakəndəlikdən daha çox, postmodern dekanonizasiyaya daha yaxındır və mətnin strukturunu möhkəmləndirir. Müəllif, əlbəttə ki, qlobal fəlakətin kökünü demoqrafik artımda görməkdə haqlıdır. Bu gün iri şəhərləri iflic edən nizamsız göydələnlər və tıxac problemi, eləcə də işsizlik insan çoxluğu ilə bilavasitə bağlıdır.

Bütün bunlara baxmayaraq, müəllifin vizual və operativ narahatlığının içində Dante fəlsəfəsinin özünüdərk zərurəti də gizlənir. İnsan fərdi olaraq özünü bu kollektiv şüurun bir parçası saymadıqca problemin həlli Zobristin təklif etdiyi mexaniki və antiinsani yollarla məhdudlaşacaq. Müəllifə görə, insanların kəskin şəlikdə artmasını sadəcə texniki problem kimi anlamaq qüsurludur. Bütün baş verənlər həm də bioetik şüurun qarşılaşdığı sınaqdır. Buna görə də insanlıq antixilas yox, xilası seçməli, başqa sözlə, öz varlığına etik və fəlsəfi baxış bucağından yenidən nəzər salmalıdır. Yanlız bu yolla "Cəhənnəm"dən çıxışın fərdi və qlobal yol xəritəsi tərtib edilə bilər.

III. NƏTİCƏ

Nəticə olaraq, müəllif bioetik şüurun inkişafı, Danten fəlsəfəsinə söykənən özünüdərk və ədalətlə həqiqətin arasındakı etik və qlobal sərhədləri azaltmaq yollarını bədii şəkildə təsvir etməklə insanları xilasa və qlobal dünya nizamına səsləyir. Bəşəriyyət "Cəhənnəm"ə düşməmək üçün bieotikanı həyat bələdçisinə çevirməli,

öz mahiyyətini anlamalı və həqiqətin ədalətlə vəhdətini təmin etməlidir. Yalnız bu halda qlobal təhlükələri minimuma endirmək, bəşəriyyət üçün daha sakit və balansı bir mühit yaratmaq olar.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Braun D. Cəhənnəm. (2017). Bakı/Azərbaycan.
2. Maltus T. An essay on the principle of population. (1798). London/UK.
3. Cehennem filmi. – 14 oktyabr, 2016.
URL: https://www.beyazperde.com/filmler/film-222798/

THE ROLE OF WOMEN İN NİNETEENTH-CENTURY ENGLİSH LİTERATURE: REPRESENTATİON, AGENCY, AND IDEOLOGY

IBRAHIMOVA KONUL
Baku Technical Collage attached to Baku Technical University, Foreign languages
konul_hesenova91@mail.ru
Baku, Azerbaijan

Abstract
The representation of women in nineteenth-century English literature constitutes a critical site for examining the intersection of gender, ideology, and social transformation. This study investigates how literary texts both reflect and contest dominant patriarchal norms that defined women's roles within the domestic and moral sphere. Drawing on selected works by canonical authors, the article explores the shifting portrayal of female characters from passive embodiments of virtue to complex figures negotiating autonomy and selfhood. Furthermore, it considers the contributions of women writers in articulating alternative discourses that challenge restrictive gender ideologies. Through a critical analysis informed by feminist literary theory, this paper argues that nineteenth-century literature functioned not only as a mirror of social values but also as a transformative medium that redefined the conceptualization of women's identity and agency.
Key words: gender ideology, English novels, female identity, social criticism

Introduction

The nineteenth century in England represents a pivotal period of socio-cultural transformation shaped by industrialization, urban expansion, and the restructuring of class relations. These structural changes had profound implications for gender roles and contributed to the redefinition of women's position within both private and public spheres. Within this historical context, literature emerged as a crucial discursive space where dominant ideological assumptions about femininity were both reproduced and critically examined.

During this period, women were predominantly associated with the domestic sphere and were expected to embody ideals such as moral purity, emotional sensitivity, and self-sacrifice. These expectations were reinforced by prevailing cultural narratives that positioned women as guardians of family life and moral order. However, such constructions of femininity were not stable or uncontested; rather, they were continuously negotiated and reinterpreted within literary discourse.

Nineteenth-century English literature plays a central role in this negotiation. It not only reflects the dominant gender ideology of the time but also exposes its contradictions and limitations. Through narrative strategies, characterization, and thematic development, literary texts engage with questions of female identity, autonomy, and social constraint. As a result, literature becomes an important medium for both reinforcing and challenging patriarchal norms.

Particularly significant is the emergence of more complex representations of women in the works of authors such as Jane Austen, Charlotte Bronte, and George Eliot. These writers contributed to the

development of a literary tradition that increasingly foregrounded female consciousness, moral agency, and intellectual capacity. Their works reveal a gradual shift from idealized and passive portrayals of women toward more dynamic and psychologically nuanced representations.

From a theoretical perspective, this study is grounded in feminist literary criticism, which emphasizes the relationship between literature, ideology, and power structures. Feminist approaches argue that literary texts are not neutral reflections of reality but are instead embedded within cultural systems that shape and regulate gender identities. In this regard, nineteenth-century literature provides a valuable site for examining how gender is constructed, contested, and redefined.

The aim of this article is to analyze the representation of women in nineteenth-century English literature by focusing on both canonical texts and broader ideological frameworks. It seeks to explore how female characters are positioned within narrative structures and how these representations reflect broader socio-historical transformations. Furthermore, the study investigates the extent to which women writers contributed to challenging dominant gender ideologies and expanding the boundaries of literary expression.

Ultimately, this research situates nineteenth-century English literature within a broader cultural and intellectual context in which questions of gender, identity, and power were actively debated. By examining these dynamics, the article highlights the role of literature not only as a mirror of social reality but also as a transformative force in shaping new understandings of womanhood and agency.

Research Methodology

This study employs a qualitative research approach to examine the representation of women in nineteenth-century English literature. The methodology is based on a combination of theoretical and analytical frameworks that enable a critical exploration of gender ideology and literary representation.

First, the study utilizes a theoretical literature review to analyze existing scholarly works on gender ideology, female identity, and literary representation. Relevant academic sources are systematically examined in order to establish a conceptual framework grounded in feminist literary criticism.

Second, the research applies close reading (textual analysis) as a primary method for examining selected literary texts. This approach allows for an in-depth analysis of female characters, narrative techniques, and thematic structures. Particular attention is given to the construction of gender roles, representations of agency, and the negotiation of identity within the texts.

In addition, a comparative method is employed to identify similarities and differences in the portrayal of women across works by different authors. This includes a comparative examination of male and female authors in order to highlight varying perspectives on gender and social norms. The study also incorporates a historical-contextual approach, which situates literary texts within the broader socio-cultural and economic transformations of nineteenth-century England. This method helps to reveal how literature both reflects and responds to changing gender roles and ideological frameworks.

Finally, the research is guided by a feminist critical approach, which serves as the primary analytical lens. Through this perspective, the study critically examines patriarchal discourses, gender norms, and the ways in which female agency is constructed and expressed in literary texts.

Conclusion

In conclusion, the representation of women in nineteenth-century English literature reflects a complex interplay between ideological constraint and emerging forms of female agency. While dominant cultural narratives of the period largely sought to confine women to the private sphere through ideals such as domesticity, moral purity, and self-sacrifice, literary texts simultaneously reveal tensions and contradictions within these prescriptions. As a result, literature becomes a site where gender norms are both reproduced and critically interrogated.

The analysis demonstrates that female characters in nineteenth-century fiction are not static figures but rather dynamic constructions shaped by evolving social, cultural, and intellectual contexts. Works by authors such as Charlotte Bronte, Jane Austen, and George Eliot illustrate a gradual but significant shift from idealized representations of femininity toward more nuanced depictions of women as rational, morally complex, and self-aware individuals. Moreover, the study highlights the importance of women writers in challenging and reshaping dominant literary paradigms. Their works not only expanded the representational boundaries of female identity but also contributed to the intellectual foundations of early feminist thought. Through subtle critique, narrative innovation, and psychological depth, these authors questioned the legitimacy of restrictive gender roles and opened new possibilities for understanding women's experiences. At a broader level, nineteenth-century literature can be understood as participating in a transitional cultural moment in which traditional patriarchal values coexisted with emerging ideas of

individual autonomy and gender equality. This coexistence produced texts that are often ambivalent, reflecting both resistance to and reinforcement of established norms. Ultimately, the significance of nineteenth-century English literature lies not only in its depiction of women but also in its role in shaping discourses of gender that continue to influence contemporary literary and cultural studies. The ongoing critical engagement with these texts demonstrates that questions of representation, identity, and agency remain central to literary scholarship today.

REFERENCES

1. Jane Austen. Pride and Prejudice. London: T. Egerton, 1813.
2. Charlotte Brontë. Jane Eyre. London: Smith, Elder & Co., 1847.
3. George Eliot. The Mill on the Floss. London: William Blackwood and Sons, 1860.
4. Elaine Showalter. A Literature of Their Own: British Women Novelists from Brontë to Lessing. Princeton: Princeton University Press, 1977.
5. Sandra M. Gilbert and Susan Gubar. The Madwoman in the Attic: The Woman Writer and the Nineteenth-Century Literary Imagination. New Haven: Yale University Press, 1979.
6. Mary Poovey. The Proper Lady and the Woman Writer: Ideology as Style in the Victorian Novel. Chicago: University of Chicago Press, 1984.

TƏDRİS MÜHİTİNDƏ AKTİV ÖYRƏNMƏ METODLARININ ROLU VƏ ƏHƏMİYYƏTİ

NƏRMİN İBRAHİMOVA
Azərbaycan dili və pedaqogika kafedrası
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azerbaycan
naibrahimova@beu.edu.az

Xülasə: Təlim prosesində tələbələrin marağını cəlb etmək və onların aktiv iştirakını təmin etmək öyrənmə prosesi üçün vacib amillərdəndir. Aktiv təlim metodları tələbələri passiv qəbuledici rolundan çıxararaq, onları öyrənmə prosesinin mərkəzinə yönəldir və fəal iştirak etməyə təşviq edir. Fəal öyrənmə mühitinin formalaşdırılması üçün müxtəlif təlim metodlarından istifadə olunması mövzunun daha effektiv mənimsənilməsinə, məlumatların uzun müddət yadda saxlanılmasına, idrak bacarıqlarının inkişafına müsbət təsir göstərir. Tədris prosesində arzuolunan nəticələri əldə etmək üçün müasir dövrdə mütəxəssislər aktiv öyrənmə metodlarını ənənəvi təlim metodlarına qarşı effektiv alternativ olaraq qiymətləndirirlər.
Açar sözlər*: fəal təlim, aktiv öyrənmə, aktiv metodlar, qrup şəklində öyrənmə, fərdi yanaşma, probleməsaslı öyrənmə.*

GİRİŞ

Aktiv təlim metodlarının müzakirəsi zamanı iki mühüm anlayış ön plana çıxır: tədris strategiyaları və öyrənmə fəalliyyətləri. Tədris strategiyaları dedikdə, müəllimlərin dərs prosesində tələbələrin öyrənməsini dəstəkləmək məqsədilə istifadə etdikləri struktur, sistem, metod, texnika və prosedurlar , öyrənmə fəaliyyətləri dedikdə isə müəllim tərəfindən istiqamətləndirilən təlim tapşırıqları və praktik yanaşmalar nəzərdə tutulur. Tələbələr bu fəaliyyətləri dərs zamanı fərdi və ya qrup şəklində, lazım gəldikdə texnoloji vasitələrdən istifadə etməklə yerinə yetirirlər. Bunu da qeyd etmək lazımdır ki, fəal təlim metodları ənənəvi təlimi inkar etmir, əksinə bir çox hallarda müəllim ənənəvi mühazirə və izahlı təqdimata əsaslanan passiv tədris strategiyasını seçə bilər. Bu halda tələbələr əsasən dinləyici rolunda çıxış edirlər. Digər tərəfdən, probleməsaslı öyrənmə (PBL) yanaşmasına söykənən aktiv strategiya tətbiq olunduqda tələbələr verilmiş problemin həlli üçün lazım olan məlumatları müstəqil şəkildə araşdırmalı olurlar. Bu baxımdan, aktiv tədris strategiyaları tələbələrin fəaliyyətə cəlb olunmasını və onların gördükləri iş üzərində düşünməsini təmin

edən müxtəlif pedaqoji fəaliyyətlər sistemini əhatə edir. Bu yanaşmanın əsas məqsədi tələbələrin təlim prosesində daha fəal və düşünən iştirakçıya çevrilməsidir [1].

Aktiv öyrənmə klassik tədris metodlarından fərqli yanaşma əsasında tələbələrin öyrənmə prosesini ön plana çıxaran pedaqoji fəaliyyətlər toplusunu ifadə edən elmi anlayışdır. Bu yanaşma bilik, bacarıq, dəyər və münasibətlərin mənimsənilməsini tələbələrin təlim prosesinə fəal şəkildə cəlb olunması vasitəsilə həyata keçirir. Başqa sözlə, tələbələr yalnız müəllimin təqdim etdiyi məlumatı passiv şəkildə dinləyən tərəf deyil, müxtəlif fəaliyyətlərdə iştirak edən, müzakirələr aparan və öyrənmə prosesində aktiv rol oynayan subyektlərə çevrilirlər.

ƏSAS HİSSƏ

Aktiv öyrənmə strategiyaları əsasən ənənəvi mühazirə dərslərini tamamlayan vasitə kimi tətbiq olunur və tələbələrin tənqidi və yaradıcı düşünmə bacarıqlarının inkişafına xidmət edir. Bu yanaşma tələbələrin həm sinif yoldaşları ilə, həm də ümumi auditoriya ilə fikir mübadiləsi aparmasına, yazılı şəkildə ideyalarını ifadə etməsinə, şəxsi münasibət və dəyərlərini araşdırmasına, geribildirim vermə və qəbul etmə bacarıqlarını inkişaf etdirməsinə, eləcə də öz öyrənmə prosesini təhlil etməsinə imkan yaradır [3].

Bu konsepsiya dərs mövzusu ilə əlaqəli tapşırıqlardan başlayaraq real həyat situasiyalarına və yeni problemlərə tətbiq edilən mürəkkəb qrup fəaliyyətlərinədək geniş praktikaları əhatə edir. Aktiv öyrənmə metodlarının əsas xüsusiyyəti tələbələrin tədris prosesində təşəbbüskar mövqe tutması, yerinə yetirdikləri fəaliyyətlərin mahiyyətini dərk etməsi və öyrənməyə görə məsuliyyət daşımasıdır. Buna görə də aktiv öyrənmə müxtəlif texnika və metodları özündə birləşdirən, tələbələrin davamlı və məqsədyönlü fəaliyyətini tələb edən geniş pedaqoji yanaşma hesab olunur.

Aktiv öyrənmə yanaşması təcrübə vasitəsilə öyrənmə ilə bağlı klassik nəzəriyyələrə əsaslanır və bu yanaşmaya görə bilik insanın yaşadığı təcrübələrin transformasiyası nəticəsində formalaşır [5]. Bu zaman tələbələr məlumatı passiv şəkildə qəbul etdikdə deyil, onu özləri formalaşdırdıqda və istehsal etdikdə öyrənmə daha effektiv olur. Bundan əlavə, çoxsaylı araşdırmalar göstərmişdir ki, tələbələr məlumatı Blum taksonomiyasının daha yüksək mərhələlərində — tətbiqetmə, təhlil, sintez və qiymətləndirmə səviyyələrində emal etdikdə həmin bilikləri daha uzun müddət yadda saxlayırlar. Bunun əsas səbəbi bu mərhələlərin daha dərin düşünmə, təhliletmə və refleksiya tələb etməsidir [2].

Aktiv öyrənmə strategiyasının əsasını tələbələrin birbaşa fəal mövqedə çıxış etməsi təşkil edir. Müəllim fəal təlim metodlarını tətbiq etdiyi zaman əsas məqsəd tələbələrin mövzunu daha dərindən anlamasına, müxtəlif bacarıqların formalaşnasına və yeni kompetensiyaların inkişafına nail olmaqdır. Bu yanaşma tələbələrin dərin öyrənməsini təşviq edərək, onların məlumatları yadda saxlamaqla yanaşı, təhlil, tətbiq və qiymətləndirmə kimi bacarıqlarını formalaşdırmağa zəmin yaradır. Tədris prosesində müəllim mümkün məlumatın tələbələrə ötürülmə müddətini uzatmamalı, əsas diqqəti fəal iştirak və aktiv öyrənməyə yönəltməlidir. Bəzi tədqiqatlar göstərir ki, səmərəli və mənalı öyrənmənin əldə olunmasında müxtəlif tədris yanaşmalarının müsbət cəhətlərinin uyğun şəkildə birləşdirilməsi mühüm rol oynayır. Bu baxımdan, həm ənənəvi, həm də aktiv təlim metodlarının üstün tərəflərinin inteqrasiyası daha effektiv nəticələrin əldə edilməsinə imkan yarada bilər [4].

Tələbələrin fəallığına həm fərdi, həm də kooperativ (qrup) öyrənmə strategiyaları vasitəsilə nail olmaq mümkündür. Fərdi öyrənmə konstruktivist yanaşmanı ön plana çıxarır. Bu proses əsasən tələbələrin problem həll etmək, təlim prosesinə nəzarət edə bilmək, araşdırmalar aparmaq, öz öyrənmə fəalliyyətini istiqamətləndirməklə bağlıdır. Bu baxımdan, metakoqnitiv bacarıqlar, yəni insanın öz düşünmə və öyrənmə prosesini dərk edib idarə etməsi fərdi öyrənmənin əsas elementlərindən hesab olunur.

Kooperativ öyrənmə isə üç və ya daha çox iştirakçıdan ibarət qruplarda təşkil olunan və ümumi məqsədlərə yönələn strukturlaşdırılmış komanda fəaliyyətinə əsaslanan tədris strategiyası kimi xarakterizə edilir. Bu yanaşmada tələbələr ortaq məqsədə nail olmaq üçün birlikdə çalışırlar. Adi qrup işindən fərqli olaraq, kooperativ öyrənmədə bütün iştirakçıların fəallığını təmin edən xüsusi strukturlaşdırılmış şərtlər mövcuddur. Beləliklə, heç bir tələbə digər qrup üzvünün əməyindən passiv şəkildə faydalana bilmir.

Bu metodologiya çərçivəsində tələbələrə mərhələli tapşırıqlar, tədqiqat layihələri, təqdimatlar və simulyasiya fəaliyyətləri kimi müxtəlif fəaliyyətlər təqdim olunur. Kooperativ öyrənmənin ən tanınmış klassik modellərindən biri Johnson, Johnson və Smith tərəfindən irəli sürülmüşdür. Həmin model real əməkdaşlığın təmin olunması üçün beş əsas prinsipə əsaslanır: müsbət qarşılıqlı asılılıq, fərdi məsuliyyət, təşviqedici qarşılıqlı fəaliyyət, sosial bacarıqlar və qrup fəaliyyətinin birgə qiymətləndirilməsi [6]. Müxtəlif kooperativ öyrənmə modellərində ortaq xüsusiyyət rəqabətin deyil, əməkdaşlığın əsas götürülməsidir.

Kooperativ öyrənmə probleməsaslı öyrənmənin (PBL) əsas komponentlərindən biri hesab olunur və bu yanaşmanın formalaşmasında mühüm rol oynayır. Probleməsaslı öyrənmə mahiyyət etibarilə əməkdaşlığa

əsaslanan təlim prosesidir. PBL metodunda tədris prosesi adətən kiçik qruplar şəklində təşkil edilir və tələbələr təlimin başlanğıc mərhələsində real və aktual problemlərlə qarşılaşdırılırlar. Bu problemlər həm tədris üçün kontekst yaratmaq, həm də tələbələrin öyrənməyə motivasiyasını artırmaq məqsədi daşıyır. Təlim prosesi ardıcıl mərhələlər üzrə həyata keçirilir və tələbələr problemin həlli istiqamətində araşdırma apararaq bilik əldə edirlər. Probleməsaslı öyrənmə ənənəvi mühazirələrin hazırlanmasına sərf olunan vaxtı müəyyən qədər azaltsa da, müəllimdən fərqli peşəkar bacarıqların, xüsusilə də effektiv ünsiyyət və idarəetmə qabiliyyətlərinin inkişafını tələb edir.

Bu prosesdə müəllim qrup fəaliyyətinə rəhbərlik edən istiqamətləndirici şəxs rolunu oynayır və metodologiyanın düzgün tətbiqinə nəzarət edir. Bununla belə, müəllim əsas diqqətin yenidən özünə yönəlməsinə deyil, tələbələrin öyrənmə fəaliyyətinə fokuslanmasına çalışmalıdır. PBL yanaşması yalnız bilik əldə edilməsini deyil, eyni zamanda müstəqil öyrənmə, tənqidi düşünmə, məntiqi təhlil, təhsil resurslarından səmərəli istifadə, ünsiyyət, komanda işi və liderlik kimi mühüm bacarıqların inkişafını da hədəfləyir [7].

Aktiv öyrənmənin əsas elementləri sinif mühitində fəaliyyətin təşkili və tələbələrin həmin fəaliyyətə fəal şəkildə cəlb edilməsindən ibarətdir. Bu yanaşma yalnız tələbələrin dərs zamanı sual verməyə təşviq olunması ilə məhdudlaşmır. Çünki hər hansı fəaliyyətin sadəcə dərsə daxil edilməsi avtomatik olaraq uğurlu nəticə vermir. Təlim prosesinin effektivliyi tələbələrin həm zehni, həm də fiziki baxımdan prosesə aktiv şəkildə qoşulmasından birbaşa asılıdır.

NƏTİCƏ

Aktiv tədris strategiyalarının tətbiqi müəllimin sinif mühitindəki ənənəvi fəaliyyət prosesində müəyyən dəyişikliklərin aparılmasını tələb edir. Ənənəvi təhsil modelində mövzular əvvəlcədən sistemli, ardıcıl və strukturlaşdırılmış şəkildə təqdim olunur və əsas məqsəd tələbələrin bu məlumatları mənimsəməsinə nail olmaqdan ibarət olur. Aktiv öyrənmə yanaşmasında isə müəllim ilk növbədə əldə olunmalı nəticə və məqsədləri müəyyənləşdirməli, daha sonra həmin məqsədlərə uyğun tədris strategiyalarını seçməlidir.

Bu prosesdə müəllimin əsas vəzifələrindən biri dərs fəaliyyətlərini elə planlaşdırmaqdır ki, tələbələr qarşıya qoyulan məqsədlərə çatmaq üçün zəruri bilikləri müstəqil şəkildə araşdırmağa və əldə etməyə təşviq olunsunlar. Bu məqsədlə müxtəlif sualların hazırlanması, müzakirələrin təşkili, fəaliyyət və tapşırıqların verilməsi, praktik çalışmaların, layihələrin və problemlərin tətbiqi mühüm rol oynayır. Beləliklə, aktiv təlim yanaşması tələbələrin tədris prosesində daha fəal, araşdırıcı və düşünən iştirakçı kimi formalaşmasına şərait yaradır.

Aktiv öyrənmənin təşviqi asan həyata keçirilən proses deyil və onun uğurlu tətbiqində müəllimlər həlledici rol oynayır. Aktiv metodologiyaların tətbiqi sadəcə olaraq dərs zamanı fərqli bir pedaqoji fəaliyyətin sınaqdan keçirilməsi və ya sinifdə müzakirələrin təşkili ilə məhdudlaşmır. Əksinə, bu yanaşmanın səmərəli istifadəsi həm müəllim, həm də tələbə tərəfindən yeni bir fəlsəfi mövqenin qəbul edilməsini tələb edir.

Bu mövqe ənənəvi mühazirə dərslərində müşahidə olunan yanaşmadan mahiyyətcə fərqlənir. Ənənəvi modeldə müəllimin əsas vəzifəsi "tədris etmək", tələbənin isə "öyrənmək" kimi passiv qəbul edilən rolları yerinə yetirməsi gözlənilir. Aktiv öyrənmə isə bu ənənəvi bölgünü aşaraq, hər iki tərəfin daha fəal, qarşılıqlı və məsuliyyətli şəkildə təlim prosesində iştirakını tələb edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Bonwell, C. C., & Eison, J. A. (1991). Active learning: Creating Excitement in the Classroom. ASHE-ERIC, Higher Education Report n. 1. Washington, DC: George Washington University.
2. L. Bloom, B. S. (1986). What We Are Learning about Teaching and Learning: A Summary of Recent Research. Principal, 66,6-10.
3. Clóvis Luís Konopka, Martha Bohrer Adaime, Pedro Henrique Mosele. "Active Teaching and Learning Methodologies: Some Considerations" August 2015.
4. Coil, D., Wenderoth, M. P., Cunningham, M., & Dirks, C. (2010). Teaching the Process of Science: Faculty Perceptions and an Effective Methodology. CBE-Life Sciences Education, 9, 524-535. http://dx.doi.org/10.1187/cbe.10-01-0005
5. Dewey, J. (1938). Experience and Education. New York: The Macmillan Company.
6. Johnson, R. T., Johnson, D. W., & Smith, K. A. (1998). Cooperative Learning.
http://personal.cege.umn.edu/~smith/docs/CL%20College-604.doc
7. Kwan, A. (2009). Problem-Based Learning. In M. Tight et al. (Eds.), The Routledge International Handbook of Higher Education (pp. 91-108). New York: Taylor & Francis.

SÜNİ İNTELLEKT TEXNOLOGİYALARININ TƏLƏBƏLƏRİN AKADEMİK ÖZÜNÜDƏRKİNƏ TƏSİRİ

NÜŞABƏ QURBANOVA
Bakı Dövlət Universiteti
Sosial elmlər və psixologiya / Sosial və pedaqoji psixologiya
nusabaqurbanova0@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalədə süni intellekt (Sİ) alətlərinin müasir təhsil mühitində tələbələrin akademik identikliyinə və öyrənmə proseslərinə təsiri təhlil edilir. Tədqiqat göstərir ki, generativ süni intellekt texnologiyaları tələbələrin tədqiqat bacarıqlarını artırmaqla yanaşı, onların akademik müstəqillik dərəcəsinə də təsir göstərir. Məqalədə rəqəmsal savadlılıq və texnoloji adaptasiya faktorlarının tələbələrin gələcək peşəkar hazırlığına təsiri araşdırılır. Eyni zamanda, süni intellektdən istifadə zamanı yaranan etik məsuliyyət və akademik dürüstlük məsələləri sosial-psixoloji aspektdən dəyərləndirilir.
Açar sözlər: *Süni intellekt, akademik identiklik, rəqəmsal təhsil, generativ texnologiyalar, tələbə inkişafı, akademik dürüstlük, texnoloji adaptasiya, fərdiləşdirilmiş öyrənmə.*
Abstract: This article analyzes the impact of artificial intelligence (AI) tools on students' academic identity and learning processes in the modern educational environment. The study shows that generative artificial intelligence technologies not only enhance students' research skills but also influence their level of academic independence. The article examines the influence of digital literacy and technological adaptation factors on the future professional training of students. At the same time, issues of ethical responsibility and academic integrity arising from the use of artificial intelligence are evaluated from a socio-psychological perspective.
Keywords: *Artificial intelligence, academic identity, digital education, generative technologies, student development, academic integrity, technology adaptation, personalized learning.*

I. GİRİŞ:

Müasir ali təhsil paradiqmasında sürətli rəqəmsal transformasiyalar və texnoloji yeniliklər tələbələrin həm kognitiv öyrənmə metodologiyalarını, həm də özlərini müstəqil tədqiqatçı kimi dərk etmə proseslərini köklü şəkildə yenidən formalaşdırır. Akademik identiklik fərdin ali məktəb mühitində öz epistemoloji inanclarını, bilik və bacarıqlarını necə qiymətləndirməsi və bu rəqabətli mühitə necə adaptasiya olması ilə bilavasitə bağlıdır. Son illərdə generativ süni intellekt (AI) alətlərinin təhsil ekosisteminə kütləvi şəkildə nüfuz etməsi tələbələrin informasiya emalı və istehsalı mexanizmlərinə tamamilə yeni ölçülər qazandırmışdır. Nedungadi və həmkarlarının (2024) da qeyd etdiyi kimi, bu texnologiyalar artıq sadəcə passiv bir köməkçi vasitə rolundan çıxaraq, tələbənin innovativ yaradıcılıq potensialını və tənqidi təfəkkür sərhədlərini müəyyən edən, xüsusilə STEM sahələrində inkişafı sürətləndirən həlledici bir determinant çevrilmişdir. Bu kontekstdə generativ süni intellekt alətləri tələbələrin müstəqil araşdırma aparmaq bacarıqlarını genişləndirir, məlumatların sürətli analizi və sintezi üçün yeni imkanlar yaradır. Eyni zamanda, bu texnologiyalar fərdi öyrənmə trayektoriyalarının formalaşdırılmasına, tələbələrin öz bilik boşluqlarını daha tez müəyyən etməsinə və adaptiv öyrənmə strategiyalarını tətbiq etməsinə şərait yaradır.

Bununla yanaşı, süni intellekt alətlərinin geniş istifadəsi akademik identikliyin formalaşmasında yeni çağırışlar da yaradır. Tələbələrin hazır generativ məzmundan asılılıq riskinin artması, tənqidi təhlil bacarıqlarının zəifləməsi və akademik etikaya dair yeni müzakirələrin ortaya çıxması bu transformasiyanın mühüm aspektləri kimi qiymətləndirilir. Digər tərəfdən, düzgün inteqrasiya olunmuş AI alətləri tələbələrin tədqiqat metodologiyası üzrə bacarıqlarını gücləndirə, ideya generasiyasını sürətləndirə və multidissiplinar yanaşmaların tətbiqini asanlaşdıra bilər. Bu proses həmçinin müəllim-tələbə münasibətlərinin strukturuna da təsir göstərərək müəllimin rolunu bilik ötürəndən daha çox fasilitator və istiqamətləndirici mövqeyinə transformasiya edir. Beləliklə, rəqəmsal texnologiyaların və generativ süni intellektin ali təhsil mühitinə inteqrasiyası tələbələrin akademik identikliyinin formalaşmasına kompleks təsir göstərir, onların tədqiqatçı kimi formalaşmasını sürətləndirir və müasir əmək bazarının tələb etdiyi çevik, analitik və yaradıcı düşünmə bacarıqlarının inkişafına mühüm töhfə verir.

Süni İntellekt, Fərdiləşdirilmiş Öyrənmə və Tənqidi Təfəkkür texnoloji resurslara asimmetrik çıxış imkanlarının tələbələrin akademik nailiyyətləri arasında müəyyən fərqliliklər yaratmasına baxmayaraq, süni intellekt əsaslı öyrənmə mühitlərinin bu bərabərsizliyi azaltmaq üçün mühüm potensiala malik

olduğunu göstərir. Fərdiləşdirilmiş (adaptiv) öyrənmə alqoritmləri tələbənin bilik səviyyəsini, öyrənmə tempini və maraq dairəsini analiz edərək onun ehtiyaclarına uyğun məzmun təqdim edir və bu proses akademik öz-yeterliliyin formalaşmasına müsbət təsir göstərir. Belə yanaşma tələbənin öz öyrənmə prosesinə daha aktiv şəkildə cəlb olunmasına, fərdi məsuliyyət hissinin artmasına və nəticədə akademik performansın yüksəlməsinə şərait yaradır. Bununla yanaşı, süni intellekt əsaslı sistemlər tələbələrin zəif tərəflərini müəyyən edərək məqsədyönlü geribildirim təqdim edir, bu isə öyrənmə prosesinin davamlı optimallaşdırılmasına imkan verir.

Lakin bu avtomatlaşdırılmış prosesdə müəllim fasilitasiyası və ictimai-sosial dəstək öz fundamental əhəmiyyətini qoruyub saxlayır. Müəllimlər süni intellekt tərəfindən təqdim olunan məlumatları pedaqoji baxımdan şərh edərək tələbələrin tənqidi düşünmə bacarıqlarının inkişafına yönəldilmiş fəaliyyətləri təşkil etməlidir. Zhang və digər tədqiqatçıların (2024) vurğuladığı kimi, rəqəmsal platformalar vasitəsilə əldə edilən məlumatların validasiyası və tənqidi təhlili tələbənin peşəkar identikliyinə birbaşa təsir edir; çünki informasiyanın tənqidi süzgəcdən keçirilməsi gələcək mürəkkəb qərar qəbul etmə proseslərinin təməlini təşkil edir. Bundan əlavə, süni intellekt alətləri tələbələrdə analitik düşünmə, problem həll etmə və yaradıcı yanaşma bacarıqlarının inkişafına dəstək verə bilər. Bu texnologiyaların düzgün tətbiqi tələbələrin yalnız məlumat istehlakçısı deyil, həm də bilik istehsalçısı kimi formalaşmasına şərait yaradır. Beləliklə, fərdiləşdirilmiş öyrənmə mühitləri ilə tənqidi təfəkkürün inteqrasiyası tələbələrin akademik identikliyinin güclənməsinə, müstəqil qərarvermə qabiliyyətinin inkişafına və rəqabətli peşə mühitinə daha hazırlıqlı daxil olmalarına mühüm töhfə verir.

Akademik Performans və Texnologiyanın Etik İnteqrasiyası süni intellektin tələbə həyatına dərindən inteqrasiyası və bunun akademik performans üzərindəki uzunmüddətli təsirlərinin xüsusi tədqiqat obyekti kimi aktuallaşdığını göstərir. Bu kontekstdə əsas məqsəd rəqəmsal alətlərin intellektual inkişafdakı katalizator rolunu anlamaqla yanaşı, bu tətbiqlərin etik çərçivələrini dəqiq müəyyənləşdirməkdir. Wang, Zhang və Guo (2023) nümayiş etdirirlər ki, karyera qərarlarında fərdin özünəinamı əhəmiyyətli dərəcədə sosial dəstək və adaptasiya bacarıqları ilə bağlıdır; müvafiq olaraq, texnologiyanın təhsil prosesinə düzgün inteqrasiyası tələbələrin gələcək əmək bazarında daha çevik və rəqabətqabiliyyətli olmasını təmin edir. Süni intellekt əsaslı alətlərin akademik fəaliyyətə daxil edilməsi tələbələrin tədqiqat aparmaq bacarıqlarını genişləndirir, informasiya axtarışı və analizi proseslərini sürətləndirir və kompleks problemlərin həllində yeni yanaşmaların tətbiqinə imkan yaradır. Bu texnologiyalar vasitəsilə tələbələr fərdi öyrənmə strategiyalarını daha effektiv planlaşdıra, öz inkişaf dinamikasını izləyə və akademik nəticələrini optimallaşdıra bilirlər.

Bununla yanaşı, texnologiyanın etik inteqrasiyası məsələsi xüsusi diqqət tələb edir. Akademik dürüstlük, plagiat riskləri, avtomatlaşdırılmış məzmundan həddindən artıq asılılıq və müəlliflik məsuliyyəti kimi problemlər süni intellekt alətlərinin istifadəsi ilə daha da aktuallaşır. Bu baxımdan ali təhsil müəssisələrində aydın etik qaydaların müəyyənləşdirilməsi, tələbələrin rəqəmsal savadlılığının artırılması və texnologiyadan məsuliyyətli istifadə bacarıqlarının formalaşdırılması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Müəllimlərin istiqamətləndirici rolu da bu prosesdə vacibdir, çünki onlar tələbələrə süni intellektdən yalnız nəticə əldə etmək üçün deyil, öyrənmə prosesini dərinləşdirmək üçün istifadə etməyi öyrədə bilərlər. Eyni zamanda, texnologiyanın inklüziv şəkildə tətbiqi müxtəlif sosial qruplardan olan tələbələrin bərabər imkanlara çıxışını təmin edə bilər və akademik performans fərqlərinin azalmasına töhfə verər. Beləliklə, süni intellektin etik və balanslı inteqrasiyası tələbələrin analitik düşünmə, müstəqil tədqiqat aparma və məsuliyyətli qərarvermə bacarıqlarını gücləndirərək onların akademik və peşəkar inkişafına uzunmüddətli müsbət təsir göstərir.

Yaradıcılıq Riskləri və "Texnologiya ilə Gücləndirilmiş" İdentiklik süni intellektin təqdim etdiyi analitik imkanların tələbələrin tədqiqat aparma və məlumat emalı sürətini kəskin şəkildə artırmasına baxmayaraq, bu dinamikanın bəzi hallarda kognitiv passivlik və fərdi yaradıcılığın azalması riskini də gündəmə gətirdiyini göstərir. Mürəkkəb elmi problemləri AI alqoritmləri vasitəsilə daha operativ həll edən tələbələr öz akademik identiklərini ənənəvi tədqiqatçı modelindən fərqli olaraq, “texnologiya ilə gücləndirilmiş mütəxəssis” kimi yenidən qurmağa başlayırlar. Bu transformasiya bilik istehsalı prosesində insan və texnologiya arasında yeni əməkdaşlıq modelinin formalaşmasına səbəb olur. Tələbələr ideya generasiyası, məlumatların sistemləşdirilməsi və analitik nəticələrin əldə olunması mərhələlərində süni intellektdən istifadə edərək daha sürətli nəticələr əldə edə bilirlər, lakin bu prosesdə müstəqil düşünmə və yaradıcı təhlil bacarıqlarının zəifləməsi ehtimalı da mövcuddur.

Heilman, Caleo və Manzi (2024) kimi tədqiqatçıların işlərinə əsasən demək olar ki, cəmiyyətdə mövcud olan peşə və gender stereotipləri yeni texnoloji reallıqlarla toqquşaraq həm məhdudiyyətlər, həm də yeni

inkişaf yolları yaradır. Xüsusilə qadınların karyera inkişafına təsir edən struktur baryerlər, o cümlədən analıq kimi sosial rolların yaratdığı çətinliklər (Torres et al., 2024), texnoloji vasitələrin iş mühitinə gətirdiyi elastiklik və uzaqdan işləmə imkanları sayəsində qismən neytrallaşa bilər. Bu isə qadınların akademik və peşəkar fəaliyyətlərini ailə məsuliyyətləri ilə daha çevik şəkildə uzlaşdırmasına imkan yaradır və yeni peşəkar identiklik modelinin formalaşmasına təkan verir.

Eyni zamanda, texnologiya ilə gücləndirilmiş identiklik tələbələrin özlərini yalnız bilik istehlakçısı deyil, həm də rəqəmsal alətlərdən istifadə edən strateji qərarverici kimi dərk etməsinə səbəb olur. Bu yanaşma yaradıcı düşünmə, multidissiplinar əməkdaşlıq və innovativ problem həll etmə bacarıqlarının inkişafına töhfə verə bilər. Bununla belə, süni intellektdən həddindən artıq asılılıq tədqiqat prosesində orijinallığın azalması, ideyaların standartlaşması və fərdi akademik üslubun zəifləməsi kimi risklər yarada bilər. Buna görə də balanslı yanaşma, yəni texnologiyanın imkanlarından istifadə etməklə yanaşı, müstəqil düşünmə və yaradıcılığın qorunması tələbə identikliyinin sağlam şəkildə formalaşması üçün mühüm şərt hesab olunur. Beləliklə, süni intellektlə gücləndirilmiş akademik identiklik həm yeni imkanlar, həm də yeni məsuliyyətlər yaradaraq tələbələrin gələcək peşəkar fəaliyyətində daha çevik, adaptiv və innovativ mövqe tutmasına şərait yaradır.

Sosial-İqtisadi Faktorlar və Rəqəmsal Uçurum makro səviyyədə sosial-iqtisadi amillərin rəqəmsal alətlərdən istifadə dərəcəsini və effektivliyini müəyyən edən ən kritik determinantlardan biri olduğunu göstərir. Côté (2023) özünün çoxölçülü nəzəri çərçivəsində sosial sinfin resurslara çıxışa və təşkilati davranışa necə güclü təsir etdiyini təhlil edir. Yüksək iqtisadi və texnoloji təminata malik tələbələr süni intellekt resurslarından geniş şəkildə istifadə edərək akademik nailiyyətlərini sürətlə artırır, əlavə tədris platformalarından faydalanır və rəqabətli mühitdə üstün mövqe qazanırlar. Bu imkanlar onların tədqiqat bacarıqlarını inkişaf etdirməsinə, daha mürəkkəb layihələrdə iştirak etməsinə və akademik şəbəkələrə daha asan qoşulmasına şərait yaradır. Bunun tam əksi olaraq, infrastruktur məhdudiyyətləri səbəbindən bu texnologiyalara məhdud çıxışı olan tələbələr amansız akademik rəqabətdə asimmetrik dezavantajla üzləşirlər ki, bu "rəqəmsal məhrumiyyət" onların peşəkar identikliyinin zəifləməsinə gətirib çıxarır.

Rəqəmsal uçurum yalnız texniki avadanlıqlara çıxışla məhdudlaşmır, eyni zamanda rəqəmsal savadlılıq səviyyəsi, informasiya resurslarından səmərəli istifadə bacarığı və təhsil mühitinin texnologiyaya uyğunlaşma dərəcəsi ilə də əlaqəlidir. Aşağı sosial-iqtisadi statusdan olan tələbələr çox vaxt stabil internet bağlantısı, müasir proqram təminatı və ödənişli platformalara çıxış imkanlarının məhdudluğu ilə qarşılaşırlar. Bu isə onların fərdiləşdirilmiş öyrənmə alətlərindən istifadə imkanlarını azaldır və akademik performans fərqlərinin dərinləşməsinə səbəb olur. Digər tərəfdən, texnologiyaya çıxış imkanlarının genişləndirilməsi, açıq təhsil resurslarının artırılması və institusional dəstək mexanizmlərinin gücləndirilməsi bu fərqləri azaltmaq üçün effektiv strategiyalar hesab olunur. Beləliklə, sosial-iqtisadi faktorlar və rəqəmsal uçurum tələbələrin akademik identikliyinin formalaşmasına birbaşa təsir edərək onların öyrənmə imkanlarını, tədqiqat fəaliyyətini və gələcək peşəkar istiqamətlərini müəyyənləşdirən mühüm struktur amillər kimi çıxış edir.

Nəticə olaraq aparılan konseptual təhlillər sübut edir ki, süni intellekt müasir tələbələrin akademik identikliyini formalaşdıran qlobal və qaçılmaz bir paradiqma kimi çıxış edir. Bu inqilabi texnologiyalar tədris və tədqiqat prosesini optimallaşdırmaqla yanaşı, tələbələr qarşısında yeni növ məsuliyyətlər və rəqəmsal etik normalara riayət etmə öhdəliyi qoyur. Tələbələrin gələcək peşəkar uğurları onların generativ süni intellekt resurslarına nə dərəcədə tənqidi, yaradıcı və etik şəkildə yanaşa bilmələrindən asılı olacaqdır. Bu baxımdan süni intellekt alətlərinin təhsil mühitinə inteqrasiyası yalnız texniki imkanların genişlənməsi kimi deyil, eyni zamanda akademik mədəniyyətin transformasiyası kimi qiymətləndirilməlidir. Tələbələr bu texnologiyalardan istifadə edərkən informasiyanın etibarlılığını yoxlamaq, əldə olunan nəticələri müstəqil şəkildə təhlil etmək və yaradıcı yanaşmanı qorumaq kimi bacarıqları inkişaf etdirməlidirlər.

Eyni zamanda, ali təhsil müəssisələri bu transformasiyaya uyğun olaraq yeni pedaqoji strategiyalar formalaşdırmalı, rəqəmsal savadlılığın artırılmasına yönəlmiş proqramlar həyata keçirməlidir. Müəllimlərin fasilitator rolunun gücləndirilməsi, layihə əsaslı öyrənmə modellərinin tətbiqi və süni intellektin etik istifadəsinə dair qaydaların müəyyənləşdirilməsi tələbələrin məsuliyyətli texnologiya istifadəçiləri kimi formalaşmasına töhfə verə bilər. Bundan əlavə, texnologiyaya bərabər çıxış imkanlarının təmin edilməsi, rəqəmsal uçurumun azaldılması və sosial-iqtisadi fərqlərin təsirinin minimuma endirilməsi də mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu yanaşma tələbələrin yalnız texnologiyadan istifadə edən deyil, həm də onu tənqidi şəkildə qiymətləndirən və innovativ həllər yaradan mütəxəssislər kimi formalaşmasını təmin edir. Beləliklə, generativ süni intellektin balanslı və etik inteqrasiyası tələbələrin akademik identikliyini

gücləndirərək onların müasir əmək bazarının tələblərinə uyğun çevik, yaradıcı və məsuliyyətli peşəkarlar kimi yetişməsinə xidmət edir.

II. NƏTİCƏ:

Məqalənin nəticəsi göstərir ki, süni intellekt tələbələrin akademik identikliyini formalaşdıran müasir və qaçılmaz bir faktordur. Bu texnologiyalar təhsil prosesini asanlaşdırmaqla yanaşı, tələbələrdən yeni növ məsuliyyət və rəqəmsal etik normalara riayət etməyi tələb edir. Tələbələrin gələcək peşəkar uğurları onların süni intellekt resurslarından nə dərəcədə tənqidi və yaradıcı şəkildə istifadə edə bilmələrindən asılı olacaqdır.

ƏDƏBIYYAT:

1. Côté, S. (2023). A multidimensional framework for examining the effects of social class on organizational behavior. *Journal of Applied Psychology, 50*(3). https://doi.org/10.1177/01492063221126490
2. Heilman, M. E., Caleo, S., & Manzi, F. (2024). Women at work: Pathways from gender stereotypes to gender bias and discrimination. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 11*, 165–192. https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-110721-034105
3. Nedungadi, P., Ramesh, M., Govindaraju, V., Rao, B., Berbeglia, P., & Raman, R. (2024). Emerging leaders or persistent gaps? Generative AI research may foster women in STEM. *International Journal of Information Management*. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2024.102785
4. Torres, A. J. C., et al. (2024). The impact of motherhood on women's career progression: A scoping review of evidence-based interventions. *Behavioral Sciences, 14*(4), 275. https://doi.org/10.3390/bs14040275
5. Wang, T., Zhang, Y., & Guo, C. (2023). Career decision self-efficacy mediates social support and career adaptability and stage differences. *Journal of Career Development, 32*(2). https://doi.org/10.1177/10690727231189466
6. Zhang, M., Zhou, S., Wu, Y., & Liu, S. (2024). Pressure from social media: Influence of social media usage on career exploration. *Career Development International, 29*(1), 93–112. https://doi.org/10.1108/CDI-01-2023-0016

TƏLƏBƏ İDENTİKLİYİNİN PEŞƏ SEÇİMLƏRİNƏ TƏSİRİ: GENDER VƏ SOSİAL SİNİF FAKTORU

NÜŞABƏ QURBANOVA

Bakı Dövlət Universiteti

Sosial elmlər və psixologiya / Sosial və pedaqoji psixologiya

nusabaqurbanova0@gmail.com

Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalədə tələbə identikliyinin peşə seçimlərinə təsir edən gender və sosial sinif faktorları araşdırılmışdır. Genderin, tələbələrin peşə seçimində mühüm rol oynadığı göstərilmişdir. Qadın və kişilər arasında müəyyən sahələrə üstünlük verilməsi, sosial normativlər və mədəni təsirlər ilə əlaqələndirilir. Eyni zamanda, sosial sinifin də tələbələrin peşə seçimlərinə təsiri diqqətə alınmışdır. Aşağı sosial sinifdən olan tələbələr daha çox gəlirli və əlçatan peşələrə yönəlirlər, yuxarı sosial sinifdən olan tələbələr isə daha prestijli və akademik baxımdan çətin sahələrə meyl edirlər. Gender və sosial sinif faktorlarının qarşılıqlı təsiri, tələbələrin peşə identikliyini formalaşdırır və onların gələcək karyera seçimlərini məhdudlaşdırır.

Açar sözlər: *Tələbə identikliyi, peşə seçimi, gender, sosial sinif, peşə inkişafı, sosial normativlər, mədəni təsirlər, kariyerə yönəlmə, sosial təbəqə, gender stereotipləri.*

Abstract: In this article, the gender and social class factors influencing the professional choices of student identity were investigated. It is shown that gender plays an important role in students' career selection. The preference given to certain fields between women and men is associated with social norms and cultural influences. At the same time, the impact of social class on students' career choices is also considered. Students from lower social class gravitate toward more lucrative and accessible occupations, while students from higher social class gravitate toward more prestigious and academically challenging fields. The interaction of gender and social class factors shapes students' professional identity and limits their future career choices.

Keywords: Student identity, career choice, gender, social class, professional development, social norms, cultural influences, career orientation, social class, gender stereotypes.

I. GİRİŞ:

Tələbə identikliyi fərdin özünü müəyyən bir peşə və ya fəaliyyət sahəsi ilə əlaqələndirməsi, həmin ixtisasa xas dəyərlər sistemini və davranış modellərini mənimsəməsi ilə xarakterizə olunan davamlı və mürəkkəb bir prosesdir. Bu identiklik yalnız şəxsi maraq və bacarıqlarla məhdudlaşmır, eyni zamanda sosial, mədəni və psixoloji amillərin qarşılıqlı təsiri nəticəsində formalaşır. Tələbələrin peşə seçimləri onların gələcək akademik trayektoriyalarının və karyera inkişaflarının fundamental əsasını təşkil edərək təhsil həyatının istiqamətini müəyyənləşdirir. Peşə maraqlarının ilkin diaqnostikası, o cümlədən Klimovun Diferensial-Diaqnostik Sorğusu kimi psixoloji alətlər vasitəsilə fərdin daxili meyllərini üzə çıxarmağa imkan versə də, yekun qərarlar çox vaxt sosial mühitin təsiri altında formalaşır. Zhang və həmkarlarının (2024) tədqiqatına əsasən, bu prosesdə sosial şəbəkələr, ailə gözləntiləri, iqtisadi imkanlar və gender amili mühüm rol oynayır. Bununla yanaşı, təhsil mühiti, müəllimlərin yönləndirici təsiri, əmək bazarının tələbləri və cəmiyyətin peşələrə münasibəti də tələbə identikliyinin formalaşmasına təsir göstərən əlavə determinantlar kimi çıxış edir və fərdin seçimlərinin daha şüurlu şəkildə istiqamətlənməsinə şərait yaradır.

Sosial elmlər və təşkilati psixologiya sahəsində aparılan müasir araşdırmalar göstərir ki, peşə seçimi yalnız fərdi maraq və bacarıqların nəticəsi deyil, eyni zamanda sosial mühit, ictimai gözləntilər və sosial dəstək sistemlərinin kompleks təsiri altında formalaşan çoxölçülü bir prosesdir. Fərdin karyera adaptasiyası, peşə istiqamətinin müəyyənləşdirilməsi və bu prosesdə formalaşan özgüvən səviyyəsi sosial dəstəyin mövcudluğu ilə birbaşa əlaqəlidir. Ailə, müəllimlər, həmyaşıdlar və daha geniş sosial şəbəkələr tələbələrin peşə seçimlərinə yön verən əsas faktorlar kimi çıxış edir. Bu kontekstdə gender və sosial sinif amilləri tələbə identikliyinin formalaşmasında mühüm struktur determinantlar hesab olunur. Cəmiyyətdə bəzi peşələrin qadınlara və ya kişilərə daha uyğun hesab edilməsi ilə bağlı formalaşmış gender stereotipləri tələbələrin maraq dairəsinə və özlərini müəyyən sahələrdə görmə ehtimallarına təsir göstərir. Nəticədə texniki, mühəndislik və yüksək risk tələb edən sahələr daha çox kişilərlə, sosial, humanitar və qayğı yönümlü sahələr isə qadınlarla əlaqələndirilə bilər ki, bu da tələbələrin seçimlərinə dolayı təsir edir.

Bununla yanaşı, sosial sinif fərqlilikləri də tələbələrin peşə seçimlərinin istiqamətlənməsində mühüm rol oynayır. Aşağı sosial-iqtisadi təbəqədən olan tələbələr daha çox qısa müddətdə gəlir gətirən, praktik və əmək bazarında tez yerləşmə imkanı yaradan peşələrə üstünlük verə bilirlər. Yuxarı sosial sinifdən olan tələbələr isə daha uzunmüddətli təhsil tələb edən, akademik baxımdan çətin, lakin yüksək prestij və sosial status vəd edən sahələrə yönəlmək imkanına malik olurlar. Maddi resurslar, təhsil imkanlarına çıxış, əlavə hazırlıq kursları və informasiya resursları bu fərqlərin dərinləşməsinə səbəb olur. Eyni zamanda, sosial kapitalın səviyyəsi, peşəkar əlaqələr və ailə üzvlərinin təhsil səviyyəsi də tələbələrin qərarvermə prosesinə təsir edən mühüm amillər kimi çıxış edir. Beləliklə, gender və sosial sinif faktorlarının qarşılıqlı təsiri tələbə identikliyinin formalaşmasına, peşə maraqlarının istiqamətlənməsinə və gələcək əmək bazarında mövqelərinin müəyyənləşməsinə kompleks şəkildə təsir göstərir. Bu baxımdan, tələbələrin peşə seçimi prosesinin obyektiv qiymətləndirilməsi üçün yalnız fərdi xüsusiyyətlərin deyil, həm də sosial struktur amillərinin nəzərə alınması vacib hesab olunur (Wang et al., 2023).

Gender Faktorunun Peşə Seçiminə və İdentikliyə Təsiri sosial strukturlarda fərdlərə müxtəlif inkişaf imkanları və ictimai gözləntilər yükləyən mühüm amillərdən biri kimi çıxış edir. Cəmiyyət tərəfindən müəyyən peşələrin spesifik olaraq yalnız qadınlara və ya kişilərə "uyğun" hesab edilməsi tələbələrin peşə identikliyini əhəmiyyətli dərəcədə məhdudlaşdırır və onların seçim imkanlarını daraldır. Heilman, Caleo və Manzi (2024) öz fundamental işlərində qeyd edirlər ki, iş yerlərində müşahidə olunan gender biasları və diskriminasiya halları cəmiyyətin dərin kök salmış stereotiplərindən qaynaqlanır. Bu stereotiplər səbəbindən qadınlar daha çox qayğı, təhsil və tibb sahələrinə yönəldildiyi halda, kişilərin texniki və mühəndislik ixtisaslarında dominantlıq etməsi təşviq olunur. Bu yanaşma fərdlərin potensial imkanlarının tam reallaşmasına mane olur, həmçinin əmək bazarında gender balansının pozulmasına səbəb yaradır. Nəticədə, tələbələr şəxsi maraq və bacarıqlarından çox, cəmiyyətin formalaşdırdığı gözləntilərə uyğun seçim etməyə meyil göstərirlər.

Bu ayrı-seçkilik xüsusilə STEM (Elm, Texnologiya, Mühəndislik və Riyaziyyat) sahələrində qabarıq şəkildə özünü göstərir. Bununla belə, müasir texnoloji irəliləyişlər yeni imkanlar pəncərəsi açır. Nedungadi və digərlərinin (2024) tədqiqatı vurğulayır ki, süni intellekt (Generative AI) kimi yenilikçi sahələrdəki inkişaflar qadınların STEM sahələrində iştirakını təşviq etmək və mövcud gender boşluqlarını aradan qaldırmaq potensialına malikdir. Əlavə olaraq, gələcək ailə rolları da qadın tələbələrin erkən peşə seçimlərinə proaktiv şəkildə təsir edir; Torres və həmkarlarının (2024) apardığı icmal göstərir ki, analıq faktoru qadınların karyera inkişafında ciddi baryerlər yarada bilir və bu səbəbdən sübuta əsaslanan təhsil-karyera müdaxilələrinə ehtiyac duyulur. Bu baxımdan mentorluq proqramları, inklüziv təhsil strategiyaları

və rol modellərinin təqdim olunması qadınların öz potensiallarını reallaşdırmasına dəstək verə bilər. Həmçinin, erkən mərhələdə verilən karyera istiqamətləndirilməsi gender stereotiplərinin təsirini zəiflədərək daha balanslı peşə seçimlərinə şərait yaradır.

Sosial Sinfin Karyera Trayektoriyalarındakı Rolu. Genderlə yanaşı, tələbənin mənsub olduğu sosial sinif də onun peşə identikliyinin formalaşmasında həlledici rol oynayır. Côté (2023) sosial sinfin təşkilati davranışa təsirini çoxölçülü bir çərçivədə təhlil edərək bildirir ki, iqtisadi və sosial kapital fərdlərin həm resurslara çıxışını, həm də psixoloji qavrayışlarını müəyyən edir. Yuxarı sosial sinifdən gələn tələbələr, geniş sosial şəbəkələri və davamlı maliyyə dəstəkləri sayəsində daha çox akademik tələbləri olan, prestijli və yüksək statuslu peşələrə cəsarətlə yönələ bilirlər. Aşağı sosial-iqtisadi təbəqədən olan tələbələr isə tez gəlir əldə etməyə imkan verən, praktik və qısa müddətli hazırlıq tələb edən ixtisaslara üstünlük verməyə meyilli olurlar. Bu fərqlər təhsil resurslarına çıxış, əlavə kurslarda iştirak imkanları və informasiya əldə etmə səviyyəsi ilə daha da güclənir. Eyni zamanda ailənin təhsil səviyyəsi, peşəkar əlaqələrin mövcudluğu və sosial kapitalın həcmi tələbələrin karyera qərarlarını istiqamətləndirən mühüm faktorlar kimi çıxış edir. Nəticədə sosial sinif fərqləri tələbələrin öz imkanlarını qiymətləndirməsinə, risk götürmə meylinə və uzunmüddətli karyera planlaşdırmasına birbaşa təsir göstərir.

Bunun əksinə olaraq, aşağı sosial iqtisadi statusa malik tələbələr maddi çətinliklər səbəbindən təhsil müddəti qısa olan, tez bir zamanda gəlir gətirən və daha əlçatan karyera yollarına üstünlük verirlər. Bəzi hallarda, xüsusən inkişaf etməkdə olan regionlarda, bu tələbələr ənənəvi iş bazarlarındakı maneələri aşmaq üçün rəqəmsal iqtisadiyyatın verdiyi imkanlardan istifadə edirlər; məsələn, Banqladeş nümunəsində ali məktəb tələbələri arasında frilans fəaliyyətin karyera seçimi kimi sürətlə yayılması iqtisadi məhdudiyyətlərə verilən adaptiv bir reaksiyadır (ResearchGate, 2024). Rəqəmsal platformalar vasitəsilə qazanılan gəlir imkanları tələbələrə həm təhsilini davam etdirmək, həm də maliyyə müstəqilliyi əldə etmək şansı yaradır. Bu tendensiya eyni zamanda ənənəvi karyera modellərindən kənara çıxaraq daha çevik və alternativ peşə istiqamətlərinin formalaşmasına səbəb olur. Beləliklə, sosial-iqtisadi məhdudiyyətlər bəzi hallarda yeni karyera strategiyalarının yaranmasını stimullaşdırır.

İnterseksionallıq: Gender və Sosial Sinfin Kəsişməsi tələbə identikliyinin analizi zamanı bu iki amilin ayrı-ayrılıqda deyil, qarşılıqlı təsir bağlamında öyrənilməsinin zəruriliyini göstərir. Aşağı sosial sinifdən gələn qadın tələbələr "ikiqat dezavantaj" sindromu ilə üzləşirlər. Onlar həm iqtisadi resursların qıtlığı, həm də ənənəvi qadın rollarının məhdudlaşdırıcı təzyiqi altında qalaraq karyera seçimlərində daha dar bir çərçivəyə sıxışdırılırlar. Beləliklə, onların peşə identikliyi öz daxili potensiallarından çox, sistemli sosial məhdudiyyətlərin diktəsi ilə formalaşır. Bu vəziyyət təhsil imkanlarına çıxışın məhdudluğu, əlavə hazırlıq resurslarının çatışmazlığı və rol modellərinin azlığı ilə daha da dərinləşir. Ailə gözləntiləri, erkən əmək fəaliyyətinə qoşulma zərurəti və sosial dəstək sistemlərinin zəifliyi də bu tələbələrin uzunmüddətli akademik planlar qurmasına mane ola bilər. Nəticədə onlar daha stabil və tez gəlir vəd edən sahələrə yönəlməyə meyil göstərirlər, halbuki bu seçimlər bəzən fərdi maraq və bacarıqlarla tam uyğun gəlmir. İnterseksional yanaşma göstərir ki, gender və sosial sinif faktorlarının kəsişməsi yalnız seçimlərin məhdudlaşmasına deyil, həm də özgüvənin formalaşmasına, risk götürmə meylinə və peşə ambisiyalarının səviyyəsinə təsir edir. Bu baxımdan inklüziv təhsil siyasətləri, mentorluq proqramları və məqsədyönlü sosial dəstək mexanizmləri belə tələbələrin potensialının üzə çıxarılması üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Nəticə olaraq, tələbə identikliyinin və karyera seçimlərinin sosioloji təhlili göstərir ki, fərdi qərarlar böyük ölçüdə gender normaları və sosial sinif iyerarxiyaları ilə şərtlənir. Zhang, Wang və digər müəlliflərin tədqiqatlarının da təsdiqlədiyi kimi, peşə seçimi heç vaxt izolyasiya olunmuş fərdi bir akt deyil. Bu reallıq təhsil siyasətini müəyyən edən şəxslər və universitet rəhbərlikləri qarşısında mühüm vəzifələr qoyur. Daha ədalətli və inklüziv iş bazarı yaratmaq, tələbələrin əsl potensialını üzə çıxarmaq üçün sosial stereotipləri zəiflədən, müxtəlif sosial siniflərdən olan tələbələrə bərabər resurs çıxışı təmin edən sistemli akademik müdaxilələrə ehtiyac vardır. Bu məqsədlə erkən mərhələdə karyera istiqamətləndirilməsi, mentorluq proqramlarının genişləndirilməsi, maliyyə dəstəyi mexanizmlərinin gücləndirilməsi və inklüziv təhsil strategiyalarının tətbiqi mühüm əhəmiyyət daşıyır. Eyni zamanda, universitetlərdə gender balansını təşviq edən təşəbbüslərin artırılması, sosial-iqtisadi baxımdan həssas qruplara əlavə akademik və psixoloji dəstəyin göstərilməsi tələbələrin seçim imkanlarını genişləndirə bilər. Belə yanaşma fərdlərin yalnız mövcud sosial məhdudiyyətlərə uyğunlaşmasını deyil, həm də onların potensialını maksimum səviyyədə reallaşdırmasını təmin edən daha ədalətli təhsil və karyera mühitinin formalaşmasına xidmət edir.

II. NƏTİCƏ:

Bu məqalənin nəticəsi, gender və sosial sinifin tələbələrin peşə identikliyini formalaşdırmadakı mühüm rolunu bir daha vurğulayır. Tələbələrin peşə seçimləri yalnız şəxsi maraqlarından ibarət deyil, eyni

zamanda sosial mühit, mədəni normativlər və iqtisadi imkanlar tərəfindən istiqamətləndirilir. Bu səbəbdən, təhsil siyasətlərində və iş bazarlarında daha bərabər imkanların yaradılması, tələbələrin öz potensiallarını ən yaxşı şəkildə inkişaf etdirmələri üçün vacibdir.

ƏDƏBIYYAT:

1. Côté, S. (2023). A multidimensional framework for examining the effects of social class on organizational behavior. *Journal of Applied Psychology, 50*(3). https://doi.org/10.1177/01492063221126490
2. Heilman, M. E., Caleo, S., & Manzi, F. (2024). Women at work: Pathways from gender stereotypes to gender bias and discrimination. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 11*, 165–192. https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-110721-034105
3. Nedungadi, P., Ramesh, M., Govindaraju, V., Rao, B., Berbeglia, P., & Raman, R. (2024). Emerging leaders or persistent gaps? Generative AI research may foster women in STEM. *International Journal of Information Management*. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2024.102785
4. ResearchGate. (2024). *Freelancing as a career choice for university students in Bangladesh*. https://www.researchgate.net/publication/393437044_Freelancing_as_a_Career_Choice_for_University_Students_in_Bangladesh
5. Torres, A. J. C., Barbosa-Silva, L., Oliveira-Silva, L. C., Miziara, O. P. P., Guahy, U. C. R., Fisher, A. N., & Ryan, M. K. (2024). The impact of motherhood on women's career progression: A scoping review of evidence-based interventions. *Behavioral Sciences, 14*(4), 275. https://doi.org/10.3390/bs14040275
6. Wang, T., Zhang, Y., & Guo, C. (2023). Career decision self-efficacy mediates social support and career adaptability and stage differences. *Journal of Career Development, 32*(2). https://doi.org/10.1177/10690727231189466
7. Zhang, M., Zhou, S., Wu, Y., & Liu, S. (2024). Pressure from social media: Influence of social media usage on career exploration. *Career Development International, 29*(1), 93–112. https://doi.org/10.1108/CDI-01-2023-0016

RƏQƏMSALLAŞMA DÖVRÜNDƏ TƏLƏBƏLƏRİN PEŞƏ İDENTİKLİYİ: SOSİAL MEDİA VƏ GENDER STEREOTİPLƏRİNİN KƏSİŞMƏSİ

NÜŞABƏ QURBANOVA
Bakı Dövlət Universiteti
Sosial elmlər və psixologiya / Sosial və pedaqoji psixologiya
nusabaqurbanova0@gmail.com
Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Bu tezisdə rəqəmsallaşma dövründə tələbələrin peşə identikliyinin formalaşmasına sosial medianın, gender stereotiplərinin və sosial sinif faktorlarının təsiri geniş şəkildə araşdırılır. Müasir dövrdə tələbələrin peşə seçimi və professional kimlik inşası yalnız ənənəvi sosial mühitlə (ailə, məktəb, yaxın ətraf) deyil, eyni zamanda və daha çox rəqəmsal platformalarda formalaşan qlobal informasiya axını ilə müəyyən olunur. Sosial media platformaları tələbələrin karyera istiqamətlərini müəyyənləşdirməsinə təsir göstərməklə, onlara saysız-hesabsız peşə modelləri təqdim etməklə yanaşı, bəzi hallarda cəmiyyətdə kök salmış gender stereotiplərini də yenidən istehsal edir və gücləndirə bilir. Bununla yanaşı, müasir dövrdə texnologiya və innovasiya sahələrində (STEM) gender bərabərsizliyi hələ də mövcud olsa da, onlayn kurslar və rəqəmsal imkanlar qadınların bu sahələrdə iştirakını artırmaq üçün ciddi potensialına malikdir. Sosial sinif fərqləri də rəqəmsal resurslara çıxış və karyera imkanlarının bərabər paylanmasına təsir edən fundamental stratifikasiya amili kimi çıxış edir. Tədqiqat nəticəsində müəyyən olunur ki, sosial dəstək, rəqəmsal savadlılıq və inklüziv mühit tələbələrin həm psixoloji, həm də peşəkar müstəvidə dayanıqlı peşə identikliyinin formalaşmasında mühüm rol oynayır.

Açar sözlər: peşə identikliyi, rəqəmsallaşma, sosial media, gender stereotipləri, sosial sinif, empirik tədqiqat, tələbələr.

Abstract: This study examines the multifaceted influence of social media, gender stereotypes, and social class factors on the formation of students' professional identity in the era of digitalization. In the modern period, the complex process of career choice and identity construction is no longer limited to the traditional social environment; it is increasingly shaped by the vast information and communication opportunities

available on digital platforms. While social media provides students with immediate access to information about various career paths and professional role models, in some cases it can also reinforce and amplify existing gender stereotypes. Although a significant gender imbalance in technology-related fields still persists, digital tools, remote working paradigms, and online learning opportunities have the potential to democratize access and increase women's participation in these areas. At the same time, differences in social class profoundly affect students' access to quality digital resources and ultimately influence their long-term career choices. The findings of the study indicate that social support mechanisms, the level of digital literacy, and the cultivation of an inclusive environment are key factors in the successful formation of students' professional identity.
Keywords: professional identity, digitalization, social media, gender stereotypes, social class, empirical research, students.

I. GIRIŞ:

Şəxsiyyətin sosiallaşma prosesinin ən mühüm mərhələlərindən biri olan peşə identikliyinin formalaşması tələbəlik illərində xüsusi aktuallıq kəsb edir. Müasir dövrdə tələbələrin peşə seçimi prosesi ənənəvi sosial mühitlə yanaşı, həm də sürətlə inkişaf edən rəqəmsal platformaların kəskin təsiri altında formalaşır. Sosial media, onlayn təhsil imkanları və müasir rəqəmsal kommunikasiya vasitələri tələbələrin karyera planlaşdırmasına və gələcək peşə obrazının yaradılmasına birbaşa təsir edir. Bu platformalar tələbələrə müxtəlif peşələr haqqında qlobal miqyasda məlumat əldə etməyə, fərqli mədəniyyətlərdən olan rol modelləri ilə tanış olmağa və sərhədsiz professional şəbəkələr qurmağa misilsiz imkan yaradır. Peşə identikliyi sadəcə iqtisadi gəlir əldə etmək üçün ixtisas seçimi deyil, eyni zamanda fərdin A. Maslou tərəfindən irəli sürülən "özünüreallaşdırma" tələbatlarının əmək bazarında necə təzahür etdiyini göstərən dinamik bir psixoloji konstruksiyadır.

Eyni zamanda, rəqəmsal mühitdə yenidən istehsal olunan və qabardılan gender stereotipləri tələbələrin peşə seçimində qeyri-səmərəli qərarlara və müəyyən məhdudiyyətlərə yol açа bilər. Xüsusilə cəmiyyət tərəfindən spesifik olaraq "kişi peşələri" kimi etiketlənən texnologiya və mühəndislik sahələrində (STEM) gender balansının pozulması bu stereotiplərin virtual məkanda da davam etdiyini göstərir. Digər tərəfdən, cəmiyyətdəki struktur bərabərsizlikləri əks etdirən sosial sinif fərqləri tələbələrin rəqəmsal resurslardan istifadə imkanlarına təsir edərək onların həm akademik göstəricilərinə, həm də peşə identikliyinin formalaşmasına birbaşa təsir göstərir. Bu genişləndirilmiş tezisdə rəqəmsal resursların tələbələrin karyera qərarlarına, eləcə də onların psixoloji rifahına təsiri dərindən analiz edilir və bu proseslər gender, peşə nüfuzu və sosial sinif kontekstində, nəzəri-metodoloji əsaslara söykənərək araşdırılır.

II. ƏSAS HISSƏ:

Sosial Medianın İkili və Çoxşaxəli Təsiri

Rəqəmsal platformalar və xüsusilə alqoritmik idarəetməyə əsaslanan sosial şəbəkələr tələbələrin karyera axtarışına ciddi, lakin ziddiyyətli təsir göstərir. Sosial media vasitəsilə tələbələr qlobal əmək bazarındakı trendlər, fərqli və müxtəlif peşə sahələri haqqında real vaxt rejimində məlumat əldə edir, tanınmış mütəxəssislərin uğur hekayələri ilə tanış olur və öz individual maraqlarını daha asan müəyyənləşdirirlər. Lakin bu rəqəmsal vitrin çox vaxt illüziyalarla doludur. Sosial mediada təqdim olunan ideal, problemsiz və yalnız maddi rifaha əsaslanan peşə obrazları bəzən real əmək bazarındakı mürəkkəb vəziyyəti əks etdirmir və təhlükəli stereotiplərin formalaşmasına səbəb olur. Bu isə tələbələrin peşə seçiminə dolayısı ilə, lakin çox güclü təsir göstərir. Gənclər karyera reallıqları ilə sosial mediadakı "karyera qlamuru" arasında qaldıqda, onlarda V. Franklın nəzəriyyəsində qeyd olunan "ekzistensial boşluq" və ya peşə məyusluğu yarana bilər. Zang və digərlərinin (2024) apardığı araşdırmaların da təsdiq etdiyi kimi, sosial mediadan intensiv istifadə tələbələrin karyera kəşfi prosesinə həm informasiya təminatı baxımından həvəsləndirici, həm də müqayisə aparmaq məcburiyyəti yaratdığı üçün ciddi psixoloji təzyiq kimi təsir göstərə bilir.

Gender Stereotipləri, İxtisar Nəzəriyyəsi və Texnoloji İnteqrasiya

Texnoloji və mühəndislik sahələrində (STEM) mövcud olan gender bərabərsizliyi həm qlobal, həm də yerli kontekstdə hələ də qalmaqdadır. Tarixən və ənənəvi olaraq kişilərin bu sahələrdə üstünlük təşkil etməsi, rəqəmsal mühitdə də bu cür qavranılması qadın tələbələrin seçimlərinə, onların özünəinamına və peşəkar cəsarətinə mənfi təsir edə bilər. L. Gottfredsonun məhdudlaşdırma və kompromis (circumscription and compromise) nəzəriyyəsinə əsasən, gənclər öz peşə identiklərini inkişaf etdirərkən cəmiyyətin, o cümlədən sosial medianın onlara aşıladığı gender gözləntilərinə uyğun gəlməyən karyera yollarını qeyri-şüuri olaraq öz zehinlərindən "ixtisar" edirlər. Lakin rəqəmsallaşma bu zərərli ixtisar prosesinin qarşısını almaq gücündədir. Rəqəmsal təhsil platformaları, qlobal onlayn kurslar (MOOCs) və məkan-zaman

məhdudiyyətini aradan qaldıran distant iş imkanları qadınların texnologiya sahəsində fəal iştirakını artırmaq üçün misilsiz və yeni imkanlar yaradır. Bu baxımdan, rəqəmsallaşma düzgün idarə edildiyi təqdirdə cəmiyyətdə gender bərabərliyinin təmin edilməsində həlledici rol oynaya bilər. Müasir tədqiqatçılardan Nedungadi və həmkarları (2024) süni intellekt və digər generasiyaedici rəqəmsal texnologiyaların təhsilə inteqrasiyasının qadınların STEM sahələrində tarixi boşluqları doldurmasına və lider mövqelərə yüksəlməsinə birbaşa şərait yaratdığını elmi əsaslarla vurğulayırlar.

Sosial Sinif, Ailə Mühiti və Rəqəmsal Bərabərsizlik

Peşə identikliyini formalaşdıran kənar amillər arasında sosial mühit, xüsusən də fərdin mənsub olduğu sosial sinif və ailənin sosial-iqtisadi statusu (SES) xüsusi yer tutur. Yuxarı sosial sinifdən və təminatlı ailələrdən olan tələbələr təkcə ənənəvi deyil, həm də qabaqcıl rəqəmsal resurslardan (pullu məlumat bazaları, premium onlayn kurslar) və güclü professional rəqəmsal şəbəkələrdən (məsələn, LinkedIn) daha geniş, səmərəli istifadə imkanına malikdirlər. Bu əlçatanlıq isə onların gələcək karyera planlaşdırmasını daha sistemli, strateji və uzunmüddətli qurmasına şərait yaradır. Bunun əksinə olaraq, aşağı sosial sinifdən olan, iqtisadi çətinliklərlə üzləşən tələbələr isə öz rəqəmsal bacarıqlarını daha çox və daha sürətlə qısa müddətli, tez gəlir əldə etməyə yönələn, adətən peşəkar inkişaf vəd etməyən rəqəmsal fəaliyyətlərə yönəltməyə üstünlük verirlər. S. Côté (2023) tərəfindən irəli sürülən və araşdırılan çoxölçülü nəzəri çərçivəyə əsasən, bu sinfi fərqlər və fərqli rəqəmsal davranışlar tələbələrin makro səviyyədə peşə identikliyinin formalaşmasında mühüm rol oynayır və cəmiyyətdəki bərabərsizliyi yenidən istehsal edir.

Karyera Adaptasiyası, Psixoloji Dəstək və Empirik Tədqiqat Perspektivləri

Rəqəmsal əsrdə peşəkar kimliyin inşası təkbaşına aparılan bir proses deyildir. Ənənəvi akademik dəstəklə yanaşı, onlayn sosial dəstək, peşəkar mentorluq və ən əsası rəqəmsal savadlılıq tələbələrin peşə identikliyinin formalaşmasında mühüm, bəzən də həlledici əhəmiyyət daşıyır. M. Savickasın "Karyera Konstruksiyası Nəzəriyyəsi"nə (Career Construction Theory) görə, fərdlər daimi dəyişən əmək bazarında adaptiv olmalıdırlar. Rəqəmsal platformalar tələbələrə öz praktiki bacarıqlarını inkişaf etdirmək, tamamilə yeni və innovativ sahələri öyrənmək, habelə dinamik əmək bazarına uyğunlaşmaq üçün qeyri-məhdud imkan yaradır. Bu faktorlar birləşərək tələbələrin karyera seçimində daha məlumatlı, cəsarətli və çevik qərarlar verməsinə kömək edir.

Bununla belə, bu nəzəri yanaşmaların Azərbaycan kontekstində doğruluğunu yoxlamaq üçün genişmiqyaslı kəmiyyət tədqiqatlarına ehtiyac vardır. Məsələn, 1, 2 və 3-cü kurslarda təhsil alan təxminən 100 nəfərlik tələbə qrupu üzərində empirik məlumatların toplanması, toplanmış datanın SPSS proqram təminatına daxil edilərək təsviri statistika və normallıq testlərinin aparılması vacibdir. Peşə identikliyinin səviyyələri ilə xarici faktorlar (sosial mühit, peşə nüfuzu, ailənin təsiri) arasındakı asılılıqları yoxlamaq üçün müstəqil seçmələr üçün T-testlərdən (Independent Samples T-test) istifadə edilməsi, dissertasiya və tezis işlərinin elmi çəkisini, həmçinin irəli sürülən fərziyyələrin etibarlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artıracaqdır.

III. NƏTICƏ:

Gətirilən nəzəri və praktik arqumentlərə əsasən deyə bilərik ki, müasir dövrdə tələbələrin peşə identikliyinin formalaşması prosesi artıq yalnız lokal və fiziki sosial mühitlə, universitet divarları ilə məhdudlaşmır. Qlobal rəqəmsal platformalar bu mürəkkəb sosial-psixoloji prosesdə çox mühüm, bəzən də həlledici rol oynayaraq tələbələrin fundamental karyera seçimlərinə geri dönülməz təsir göstərir. Sosial media fərdin inkişafı üçün həm yeni, innovativ imkanlar yaradır, həm də nəzarətsiz qaldıqda zərərli gender stereotiplərinin cəmiyyətdə davam etməsinə və dərinləşməsinə səbəb ola bilir. Dərin kök salmış sosial sinif fərqləri isə informasiya cəmiyyətində rəqəmsal resurslara keyfiyyətli çıxış imkanlarını və gənclərin bu resurslardan karyera kapitalı kimi faydalanma effektivliyini müəyyən edir.

Yekun nəticə olaraq vurğulanmalıdır ki, gənclərin şüurunda qadın və kişi peşələri kimi bölünən gender stereotiplərinin təhsil və maarifləndirmə yolu ilə zəiflədilməsi, müxtəlif laylardan olan gənclərin rəqəmsal savadlılığının sistematik olaraq artırılması, eləcə də fərqli sosial-iqtisadi təbəqələrdən olan tələbələr üçün onlayn məkanda bərabər inkişaf imkanlarının yaradılması gələcəyin inklüziv əmək bazarı və sağlam peşə seçimi üçün həyati dərəcədə vacib hesab olunur. Bu strateji istiqamətdə ali təhsil müəssisələri (universitetlər), pedaqoji heyət (müəllimlər) və rəqəmsal platforma rəhbərlikləri birgə məsuliyyət daşıyır və mühüm rol oynayır. Gələcəkdə bu istiqamətdə aparılacaq empirik, statistik sübutlara əsaslanan tədqiqatlar problemin həlli yollarını daha aydın göstərəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT:
1. Côté, S. (2023). A multidimensional framework for examining the effects of social class on organizational behavior. *Journal of Applied Psychology*, *50*(3). https://doi.org/10.1177/01492063221126490
2. Gottfredson, L. S. (2002). Gottfredson's theory of circumscription, compromise, and self-creation. In D. Brown (Ed.), *Career choice and development* (4th ed., pp. 85–148). Jossey-Bass.
3. Nedungadi, P., Ramesh, M., Govindaraju, V., Rao, B., Berbeglia, P., & Raman, R. (2024). Emerging leaders or persistent gaps? Generative AI research may foster women in STEM.
4. International Journal of Information Management*. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2024.102785
5. Savickas, M. L. (2013). Career construction theory and practice. In R. W. Lent & S. D. Brown (Eds.), *Career development and counseling: Putting theory and research to work* (2nd ed., pp. 147–183). John Wiley & Sons.
6. Zhang, M., Zhou, S., Wu, Y., & Liu, S. (2024). Pressure from social media: Influence of social media usage on career exploration. *Career Development International*, *29*(1), 93–112. https://doi.org/10.1108/CDI-01-2023-0016

"THE IMPACT OF BUSINESS COMMUNICATION SKILLS ON STUDENT SUCCESS"

TORAKHANIM NASRULLAYEVA
National Defense University, Baku Military College, Humanities Department, teacher
t_ramazanova92@mail.ru
Baku, Azerbaijan

ABSTRACT
In the digital era, students' academic and professional success is determined not only by knowledge but also by effective communication skills. This study aims to analyze the impact of business communication skills on student success in higher education. The research is based on a descriptive-analytical method. The findings indicate that key components of communication—written, oral, and listening skills—play a significant role in improving students' academic performance, fostering mutual understanding, and enhancing social integration. In particular, active listening contributes to more effective learning processes by facilitating better comprehension and interaction. Furthermore, well-developed communication skills enable students to express their ideas clearly and participate more actively in academic activities, which positively influences their overall performance. The study concludes that communication skills function as a mediating factor in shaping student success and should be systematically developed within higher education environments.
Keywords: Business communication skills; written communication; oral communication; listening skills.

INTRODUCTION
In the digital era, students' academic and professional success is determined not only by knowledge but also by effective communication skills. The aim of this study is to analyze the impact of business communication skills on student success in the higher education environment. The study is based on a descriptive-analytical method. Business communication is one of the key competencies that regulates students' academic and social activities in higher education settings. Business communication refers to students' formal interactions with their teachers. It is an integral part of student life. By communicating with teachers, students can develop their communication skills and also find answers to the question of what effective communication should be like. Communication is not only the exchange of information; it is also the process of conveying meaning and achieving mutual understanding. Proper management of this process depends on communication skills. Effective communication skills can positively influence students' academic development and also affect their future career choices. Students who develop strong

communication skills tend to have higher motivation and strive more to improve their academic knowledge. Naturally, teachers or facilitators play a significant role in the development of communication skills. Guiding students properly first creates a sense of responsibility in educators themselves. Therefore, it is important that teachers (facilitators) also improve their communication skills, participate in training sessions, and be actively involved in debates and discussions.

COMPONENTS OF BUSINESS COMMUNICATION SKILLS

Written communication, oral communication, listening skills, and non-verbal communication are the components of business communication. Written communication is part of every student's daily activity. Thus, students should be able to develop skills such as writing emails, applications, and articles during their student years. Academic essays, articles, and reports also belong to written communication. For this purpose, they should be taught academic writing skills courses. The organization of these classes will contribute both to their dynamic development and to the acquisition of academic writing skills during their student life. The development of writing skills reduces misunderstandings and increases academic success. One of the important issues for the development of scientific writing skills is teaching written communication in the correct direction. For this purpose, practical tasks should be prioritized. Such tasks allow students to work on their mistakes. Writing proper emails, articles, or preparing reports is a skill every student should master. In addition, presenting correct and incorrect examples in a comparative way strengthens students' analytical thinking abilities and makes the learning process more effective. Sometimes, together with correct examples, incorrect ones should also be presented to students, and by correcting mistakes, they can better master academic skills.

For effective written communication, each sentence should be constructed as simply and clearly as possible. Every word included in the text should serve a specific function. If a word or expression does not add value in terms of meaning, it should be removed from the text. Using shorter and more understandable words instead of long and complex ones improves the quality of writing. Clear writing is the result of clear thinking. If the author does not know exactly what they want to say, they will not be able to communicate it clearly to the reader. Therefore, the writing process is not only a language skill but is also closely connected to the proper organization of thinking processes. Referring to William Zinsser's book, we can see that he emphasized the importance of eliminating words that create confusion in writing. He advised his students to put words that do not add value to the text in parentheses. In this way, they would decide for themselves whether those words are unnecessary or not. In the process of written communication, simplicity and clarity are considered fundamental principles. "The use of redundant and non-functional words reduces communication effectiveness, which is an issue requiring special attention in the development of students' academic writing skills." [1]

Written communication skills do not develop naturally; they require continuous practice and a conscious approach. Clear and effective writing develops only through repeated writing, editing, and systematic work on texts. Writing is a difficult process, and a high-quality text is not created in the first attempt. Therefore, revising and rewriting the text multiple times is essential for its improvement.

WRITTEN COMMUNICATION SKILLS

Written communication skills are one of the key factors determining the effectiveness of a student's academic performance in higher education. This skill enables students to express their ideas clearly and effectively. As a result, mutual understanding between teachers and students is strengthened, and information loss is prevented. Written communication plays an important role in the academic writing process. Students' analytical thinking abilities, skills in building logical coherence, and level of using scientific style become evident during the preparation of essays, articles, and reports. This, in turn, influences their academic development. In written communication, students think, analyze information, and draw conclusions, which has a positive impact on the development of their research skills. The widespread use of communication and correspondence in the digital environment and online platforms increases the importance of these skills.

ORAL COMMUNİCATİON SKİLLS

Oral communication skills are one of the essential components of business communication. This skill is important for students in terms of speaking in front of an audience and communicating with teachers. The development of oral skills helps students express themselves more clearly, freely, and accurately. Oral skills are demonstrated during students' participation in debates and presentations. Participation in discussions and debates develops students' critical thinking skills and also has a positive impact on their research abilities. Oral communication skills are considered one of the most important skills. At the same

time, by speaking in front of an audience, students gain confidence and become open to different perspectives. Oral communication skills also enable students to achieve success in their academic careers. Preparing presentations is one of the alternative ways of developing oral communication. "The development of oral communication skills allows ideas to be presented effectively. Research shows that strong presentation skills attract the audience's attention and can influence their decisions [2]." Each speech on the TED platform provides important information about oral communication skills. Storytelling and clear structure in these talks have led to millions of views.

THE ROLE OF LISTENING SKILLS

One of the important aspects of the communication process is active listening. Students being active listeners helps them to properly understand and absorb information. Listening to teachers and to one another is important for accurate perception of information. Listening skills both strengthen cooperation and have a positive impact on mutual understanding. The use of interactive teaching methods is of great importance for the development of these skills. Questions and feedback provided by the teacher are also essential for developing listening skills. Thus, the questions given to students positively affect both their thinking development and their listening abilities. Modern research shows that poor listening skills are one of the main causes of misunderstandings and conflicts in communication. In his book *The Lost Art of Listening*, Michael P. Nichols notes that people not truly listening to each other leads to problems in social and academic relationships. The author describes speaking without listening as "like cutting the electrical wire and expecting the light to turn on," which symbolizes the breakdown of mutual connection in the communication process. [3] This approach is also confirmed in the higher education environment. Students should not only express their own ideas but also be able to actively listen to their teachers and other students. Effective listening skills significantly contribute to students:

1. better understanding of course material
2. more successful participation in group work
3. development of critical thinking and empathy skills.

THE IMPACT OF COMMUNICATION SKILLS ON STUDENT SUCCESS

Communication skills influence student success not directly, but through a complex mechanism. The main components of this mechanism are mutual understanding, motivation, academic engagement, and social integration. Effective communication enables students to build more open and efficient relationships with teachers and other students. This increases active participation in the learning process, which in turn leads to improved academic performance. In addition, communication skills allow students to express their ideas clearly, which directly affects their assessment. Thus, communication skills act as one of the key mediating factors in the formation of student success.

CONCLUSION

The analysis shows that business communication skills play an important role in shaping student success. Writing, speaking, and listening skills have a direct impact on both students' academic performance and their future professional development. In particular, active listening skills strengthen mutual understanding and increase the effectiveness of the educational process. In the modern higher education environment, the development of communication skills should be carried out in a purposeful and systematic way. In this regard, the role of teachers as facilitators should be enhanced, and interactive methods should be widely used. As a result, the development of communication skills acts as one of the key conditions for students' academic success.

REFERENCES

1. William Zinsser. "On Writing Well"
2. Carmine Gallo. "Talk like TED"
3. Michael P.Nichols. "The Lost Art of Listening", New York, 2009.

REIMAGINING CHARACTER IN THE DIGITAL AGE: A COMPARATIVE STUDY OF CONTEMPORARY ENGLISH AND AZERBAIJANI FICTION

SEVDA HUSEYNOVA
Department of Foreign Languages
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
shuseynova@beu.edu.az
0000-0002-5526-0147

Abstract: This paper examines how globalisation, digital mediation, and emerging algorithmic cultures reshape the literary concept of character in contemporary English and Azerbaijani fiction. In the twenty-first century, accelerated digital connectivity, artificial intelligence, and networked communication have transformed not only everyday social life but also literary representations of identity, memory, agency, and selfhood. Against this background, the paper argues that contemporary fiction increasingly reimagines character as fluid, fragmented, and relational rather than stable, unified, and self-contained. The study adopts a comparative literary approach to analyse selected works by Zadie Smith, Ian McEwan, and Kazuo Ishiguro alongside Azerbaijani writers Narmin Kamal, Afag Masud, and Elchin. It explores how literary characters negotiate tensions between local memory, national belonging, technological mediation, and global cultural change. The paper demonstrates that despite differing socio-historical contexts, both English and Azerbaijani fiction reveal converging patterns in the transformation of character under the pressures of digital modernity. By placing Azerbaijani literature in dialogue with contemporary English fiction and current debates in digital humanities, posthumanism, and narrative identity, the study contributes to a broader understanding of how literary forms evolve in the age of AI.
Keywords*: digital mediation, character and identity, comparative literature, contemporary English and Azerbaijani fiction, posthumanism, artificial intelligence*

Introduction

The digital age has fundamentally altered the ways identity is formed, performed, and represented. In contemporary life, human experience is increasingly shaped by algorithmic systems, networked communication, media saturation, and artificial intelligence. Literature, as one of the most sensitive cultural forms, has responded to these shifts by rethinking how character is imagined and narrated. Recent scholarship suggests that the digital era has not only transformed literary production and creativity but has also challenged long-standing assumptions about subjectivity, authorship, and human agency [1–3]. Within this context, literary character can no longer be understood solely through the traditional realist model of a coherent, psychologically stable individual. Contemporary fiction increasingly presents character as provisional, fragmented, relational, and mediated by technological as well as cultural environments [5], [6], [8]. This transformation is especially visible in works that engage with migration, multiculturalism, posthuman anxieties, surveillance, memory, and global dislocation.

This paper explores these developments through a comparative reading of contemporary English and Azerbaijani fiction. It argues that despite their different literary histories and socio-political trajectories, both traditions reflect a significant reimagining of character under the influence of digital modernity. In English-language fiction, this often appears through technologically inflected consciousness, multicultural urban subjectivity, and human–machine boundaries. In Azerbaijani fiction, similar concerns are refracted through post-Soviet transition, ideological rupture, cultural dislocation, and the reconfiguration of selfhood in a rapidly globalising world [11–14]. By reading works by Zadie Smith, Ian McEwan, and Kazuo Ishiguro alongside Narmin Kamal, Afag Masud, and Elchin, this paper investigates how literary character is reshaped at the intersection of memory, identity, technology, and global belonging. In doing so, it also contributes to comparative literary studies by bringing contemporary Azerbaijani fiction into a wider transnational conversation about narrative identity in the age of AI.

Theoretical and Conceptual Framework

This study draws on a theoretical framework that brings together cultural theory, posthuman thought, digital-era subjectivity, and comparative literary analysis. Ferrández-Sanmiguel's concept of global cultural "scapes" remains useful for understanding how identity is increasingly shaped by movement, mediation, and transnational circulation. In a world structured by global flows of media, images, and mobility,

selfhood becomes less rooted and more provisional. Huseynova's understanding of identity as historically produced, discursively constructed, and continuously negotiated provides an equally important basis for analysing literary characters whose identities are shaped by migration, hybridity, and social performance. To these frameworks, this paper adds recent scholarship on AI, narrative identity, and posthuman representation. Studies on literary creativity in the digital age show that AI has become not merely a technological theme but also a force that redefines narrative imagination itself [1], [2]. Research on AI-generated narrative identity and autobiographical processing further suggests that selfhood can now be linguistically simulated, mediated, and reconstructed in ways that complicate traditional humanist assumptions about interiority and agency [5], [6].

Posthuman literary scholarship also provides a crucial lens for this study. Recent interdisciplinary work has shown that twenty-first-century literature increasingly explores the instability of human-centred identity and the relationality between human and non-human forms of intelligence [7], [10]. This is particularly relevant to the fiction of Ian McEwan and Kazuo Ishiguro, where technological mediation and artificial consciousness are central to the representation of character. For the Azerbaijani context, recent studies of creative characterization and literary identity offer an important extension of this framework. Huseynova's work on the representation of creative personality, reincarnated literary figures, and post-Soviet Azerbaijani narrative innovation demonstrates that contemporary Azerbaijani literature also reimagines character through memory, identity, and cultural transformation [11–14]. These studies make it possible to position Azerbaijani fiction not at the margins of global literary theory, but within the same broader discussion of mediated selfhood and narrative change. Taken together, these perspectives allow literary character to be understood not as a fixed psychological centre, but as a dynamic site where memory, discourse, culture, technology, and historical transition intersect.

Methodology

This paper adopts a comparative literary analysis approach. It does not seek to establish direct influence between English and Azerbaijani literary traditions. Rather, it examines how writers from different historical and cultural contexts respond to similar global transformations in the representation of selfhood, identity, and agency. The study is based on close reading and thematic analysis of selected literary texts. Particular attention is given to:

- the construction of identity
- the representation of memory
- forms of inner fragmentation
- technologically mediated consciousness
- the relationship between human and non-human forms of presence

The English-language corpus includes works by Zadie Smith, Ian McEwan, and Kazuo Ishiguro. These writers are selected because their fiction engages directly with multiculturalism, posthuman subjectivity, artificial intelligence, and ethical uncertainty. The Azerbaijani corpus includes works by Narmin Kamal, Afag Masud, and Elchin, whose writings illuminate post-Soviet transition, existential fragmentation, and changing forms of identity under conditions of social and cultural transformation. The comparative method makes it possible to identify both shared narrative tendencies and context-specific literary differences in the reimagining of character.

Comparative Discussion

One of the most visible transformations in contemporary fiction is the shift from the traditional image of character as a coherent and psychologically stable individual toward a more fragmented and performative understanding of identity. In both English and Azerbaijani fiction, literary characters increasingly appear as unfinished, unstable, and socially mediated beings whose identities are shaped by movement, memory, and external pressures rather than fixed inner unity. In contemporary English fiction, this tendency is especially visible in the works of Zadie Smith. In *"White Teeth"* (2000) and *"NW"* (2012), Smith presents characters whose identities are shaped by migration, multicultural urban space, class, race, and changing social codes. These characters do not simply "possess" identity; rather, identity emerges as something negotiated through cultural encounters, urban pressure, and everyday performance. Their selfhood is unstable and often dependent on context, language, and social visibility. Such representations align with contemporary discussions of identity as relational and discursively constructed rather than essential or permanent [1], [4]. A comparable tendency appears in contemporary Azerbaijani fiction, particularly in Narmin Kamal's prose. Her characters often exist within fractured emotional and ideological spaces shaped by post-Soviet

uncertainty, linguistic instability, and cultural transition. In "*Open, It's Me*," (2010) selfhood is not represented as a unified center but as something dispersed across memory, language, and unresolved historical experience. The character becomes a site of internal dislocation rather than stable narrative coherence. This tendency is also reflected Afag Masud's philosophical short stories and essays, including those collected in "*Freedom,"* depict introspective characters confronting existential dislocation intensified by modernity and media influence. Elchin's post-Soviet prose, such as *"White Camel"* (2003) and later narratives, explores identity reconstruction amid cultural loss, technological change, and the pressures of globalisation, revealing characters caught between inherited traditions and contemporary global realities. When read comparatively, these texts reveal an important convergence: both English and Azerbaijani fiction reimagine character as a dynamic and unstable construct. However, the reasons behind this instability differ. In English fiction, fragmentation often emerges from multiculturalism, mobility, and digital-era social performance, whereas in Azerbaijani fiction it is more deeply connected to historical rupture, post-Soviet transition, and cultural reorientation. Despite these contextual differences, both traditions show that literary character in the twenty-first century is increasingly defined by incompleteness and negotiation rather than unity and certainty.

A second major development in the reimagining of literary character concerns the growing influence of technology, artificial intelligence, and mediated consciousness. Contemporary fiction increasingly explores how digital systems and machine logic reshape not only human relations but also the very boundaries of agency, autonomy, and subjectivity. Ian McEwan's fiction provides one of the clearest examples of this tendency. In *"Saturday,"* (2005) the protagonist's consciousness is filtered through scientific rationality, media-driven awareness, and technologically inflected perception. The novel reflects a world in which human thought is increasingly shaped by systems of expertise, information, and global insecurity. In *"Machines Like Me,"* (2019) McEwan moves further by directly incorporating artificial intelligence into the narrative structure of character. Here, the presence of an AI figure destabilizes conventional distinctions between human and non-human forms of intelligence, forcing the reader to reconsider what constitutes agency, ethics, and emotional authenticity. Kazuo Ishiguro develops similar concerns in *"Never Let Me Go"* (2005) and *"Klara and the Sun."* (2021) In these works, subjectivity is regulated, observed, and shaped by systems beyond individual control. Klara and the Sun is especially significant because it offers a non-human perspective that nevertheless appears emotionally perceptive, morally responsive, and narratively central. Through Klara, Ishiguro questions whether empathy, care, and consciousness are exclusively human capacities. Such concerns correspond closely to recent scholarship on AI, posthumanism, and narrative identity, which argues that contemporary literature increasingly treats selfhood as technologically mediated and relational [2], [3], [5], [6]. Although Azerbaijani fiction does not always engage with artificial intelligence as directly as English fiction, it nonetheless reflects forms of mediated modernity that similarly affect the construction of character. In Azerbaijani prose, technological transformation often appears less through explicit AI figures and more through altered communication patterns, media presence, social acceleration, and the erosion of stable cultural reference points. In this sense, the impact of technology is indirect but still structurally significant. Characters are shaped by a world in which traditional forms of identity are increasingly disrupted by modern systems of mediation.

From a comparative perspective, this reveals a key difference between the two traditions. English fiction often stages technological mediation explicitly, especially through AI and posthuman figures, while Azerbaijani fiction tends to absorb these transformations through broader social and cultural shifts. Yet both traditions ultimately point to the same literary conclusion: character can no longer be understood apart from the technological conditions through which contemporary life is organized.

Conclusion

The digital age has significantly transformed the literary imagination of character. Under the influence of globalization, digital mediation, artificial intelligence, and historical transition, contemporary fiction increasingly abandons the traditional model of the unified and stable individual. Instead, character emerges as fluid, fragmented, mediated, and relational. This study has shown that both contemporary English and Azerbaijani fiction participate in this transformation, even though they do so through different socio-cultural and narrative pathways. In English fiction, technological consciousness, multicultural modernity, and posthuman anxieties often shape the representation of selfhood. In Azerbaijani fiction, post-Soviet rupture, memory, and cultural dislocation play a similarly powerful role in destabilizing identity and reshaping narrative personhood. By placing these two literary traditions in dialogue, the paper demonstrates that the reimagining of character is not confined to one language, one canon, or one literary geography.

Rather, it is a broader literary response to the uncertainties of contemporary life. In this sense, literary character becomes a key site for understanding how fiction responds to the pressures of globalisation, digital modernity, and changing human consciousness. The study also highlights the importance of including Azerbaijani literature in wider comparative discussions of contemporary narrative and digital-era subjectivity. Such an approach not only expands the field of comparative literature but also offers a more inclusive understanding of how literary forms evolve in response to the age of AI.

References

1. C. D. Mansfield, J. J. Bauer, J. Booker, et al., "What might we learn about autobiographical narrative processing from Artificial Intelligence?" Humanities and Social Sciences Communications, 2026, Vol. 13, Article 182. https://www.nature.com/articles/s41599-025-06426-y

2. Huseynova S. "Creative Characters in Maugham's Style" //Aktualni pitannia gumanitarnikh nauk—Actual issues of Humanities. – 2021. – T. 1. – №. 41. – C. 141-147. https://aphn-journal.in.ua/archive/41_2021/part_1/23.pdf

3. I. Hermann, "Artificial intelligence in fiction: between narratives and metaphors," AI & Society, 2023, Vol. 38, pp. 319–329. https://doi.org/10.1007/s00146-021-01299-6

4. J. H. Kim, "Fictional prototypes of AI–human coexistence and relationality," AI & Society, 2026. https://doi.org/10.1007/s00146-025-02830-9

5. J. Prophet, "My more-than-human digital twin: embodiment, feminist AI, and the struggle for representation," AI & Society, 2025. https://doi.org/10.1007/s00146-025-02659-2

6. L. Henrickson and L. Leppänen, "Revisiting computer authorship: a longitudinal perspective," AI & Society, 2026. https://doi.org/10.1007/s00146-025-02783-z

7. M. Ferrández-Sanmiguel, E. Muñoz-González, and C. Laguarta-Bueno (eds.), The Posthuman Condition in 21st Century Literature and Culture: Interdisciplinary Insights. Springer, Cham, 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-031-83701-2

8. M. Gnerre and F. Biassoni, "Uncovering ChatGPT's narrative identity through a psycholinguistic perspective," Current Psychology, 2025, Vol. 44, pp. 16807–16819. https://doi.org/10.1007/s12144-025-08376-9

9. P. Atchley, H. Pannell, K. Wofford, et al., "Human and AI collaboration in the higher education environment: opportunities and concerns," Cognitive Research: Principles and Implications, 2024, Vol. 9, Article 20. https://doi.org/10.1186/s41235-024-00547-9

10. S. Elias, B. S. Alshammari, K. N. Alfraidi, et al., "Rethinking literary creativity in the digital age: a comparative study of human versus AI playwriting," Humanities and Social Sciences Communications, 2025, Vol. 12, Article 689. https://doi.org/10.1057/s41599-025-04999-2

11. S. Huseynova, "Creative characterization and narrative innovation in post-Soviet Azerbaijani literature: identity, memory, and cultural transformation," Iranian Studies, 2025, Vol. 58, No. 4, pp. 972–993. https://doi.org/10.1017/irn.2025.10119

12. S. Huseynova, "Nizami Ganjavi: the most reincarnated literary figure in Azerbaijani literature," Scientific Collection «InterConf+», 23(117), 124-128. https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.07.2022.012 Available at: https://www.neliti.com/publications/622082/nizami-ganjavi-the-most-reincarnated-literary-figure-in-azerbaijani-literature

13. S. Huseynova, "Unveiling the inner world: representation of creative personality by Gulrukh Alibayli in Our Thinking World," Scientific Collection «InterConf+» 39, no. 179 (2023): 237–242. https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.11.2023.027. Available at: https://www.neliti.com/publications/624314/unveiling-the-inner-world-representation-of-creative-personality-by-gulrukh-alib

14. S. Mathies, "The simulated self – fiction reading and narrative identity," Philosophia, 2020, Vol. 48, pp. 325–345. https://doi.org/10.1007/s11406-019-00079-3

15. Sohrab, H. S. "The intersection of creativity and identity: comparative perspectives in Azerbaijani and English literature." https://doi.org/10.51582/interconf.2024.226S. Available at: https://pp.beu.edu.az/archives/pp_2024_2.pdf#page=13

ROL OYUNLARININ MƏKTƏBƏQƏDƏR YAŞLI UŞAQLARIN EMOSİONAL ZƏKA SƏVİYYƏSİNƏ TƏSİRİ: QARIŞIQ METOD TƏDQİQATI

Magistrant QOCAYEVA SƏBİNƏ ƏKBƏR
***Magistratura və Doktorantura bölməsi,* Sumqayıt, Azərbaycan**
sabinagojayeva@gmail.com

Dosent HÜSEYNOV ŞİKAR ƏLİ
Magistratura və Doktorantura bölməsi
Sumqayıt, Azərbaycan
shikar_huseynli@mail.ru

Xülasə: Rol oyunları məktəbəqədər yaşlı uşaqların emosional zəka səviyyəsinin formalaşmasında mühüm rol oynayan təsirli pedaqoji vasitələrdən biridir. Bu tədqiqatda rol oyunlarının uşaqların emosiyaları anlama, ifadə etmə və idarə etmə bacarıqlarına təsiri qarışıq metod yanaşması əsasında araşdırılmışdır. Tədqiqat çərçivəsində həm kəmiyyət, həm də keyfiyyət üsullarından istifadə olunmuşdur. Nəticələr göstərir ki, rol oyunları uşaqların empati qurma, sosial münasibətləri tənzimləmə və emosional reaksiya vermə qabiliyyətlərini əhəmiyyətli dərəcədə inkişaf etdirir. Eyni zamanda bu metodun məktəbəqədər təhsil mühitində daha sistemli və məqsədyönlü şəkildə tətbiqinin vacibliyi vurğulanır və gələcək tədqiqatlar üçün praktik istiqamətlər müəyyən edilir.
Açar sözlər*: oyun, emosional zəka, məktəbəqədər təhsil, empatiya, sosial bacarıqlar, emosional inkişaf, rol, uşaq*

GİRİŞ

Rol oyunlarının məktəbəqədər təhsildə pedaqoji əhəmiyyəti

Məktəbəqədər təhsil məktəbəqədər yaşlı uşaqların intellektual, fiziki və mənəvi inkişafına xidmət edən ilkin bilik, bacarıq və vərdişlərin mənimsənilməsi prosesi və onun nəticəsidir [1]. Məktəbəqədər təhsil dövrü uşağın şəxsiyyətinin, sosial davranışlarının və emosional reaksiyalarının formalaşdığı ən həssas mərhələlərdən biri hesab olunur. Məktəbəqədər təhsil siyasətindəki prioritet məktəbəqədər təhsil proqramlarının icrası, gənc nəslin sağlamlığının möhkəmləndirilməsi və hərtərəfli inkişafı üçün tədbirlərin görülməsidir [2, s. 5]. Bu mərhələdə istifadə olunan təlim metodları yalnız bilik ötürmək deyil, eyni zamanda uşağın dünyanı necə qavradığını və özünü bu dünyada necə ifadə etdiyini də müəyyən edir. Məhz bu baxımdan rol oyunları məktəbəqədər təhsildə xüsusi yer tutur. Rol oyunları uşaqlara real həyatda qarşılaşa biləcəkləri situasiyaları təhlükəsiz və sərbəst bir mühitdə təcrübədən keçirmək imkanı yaradır. Uşaq oyun zamanı həm müşahidə etdiyi sosial rolları təqlid edir, həm də bu rollar vasitəsilə öz daxili emosiyalarını ifadə etməyi öyrənir. Bu isə təlim prosesini daha canlı, mənalı və uşağın təbii inkişaf tempinə uyğun hala gətirir.

Bu xüsusiyyətlər rol oyunlarını məktəbəqədər təlim mühitində sadəcə əyləncə vasitəsi deyil, həm də uşağın daxili dünyasının üzə çıxdığı, onun düşüncə və hisslərinin müşahidə oluna bildiyi mühüm inkişaf platformasına çevirir. Uşaqlar oyun zamanı gündəlik həyatda gördükləri hadisələri yenidən canlandırır, bəzən isə real həyatda yaşaya bilmədikləri situasiyaları təsəvvür edərək onları özlərinə uyğun şəkildə qururlar. Məsələn, ailədə tez-tez mübahisə görən bir uşaq "ailə" oyununda bu davranışları təkrarlaya və ya əksinə, daha sakit və ideal bir ailə modeli qurmağa çalışa bilər. Bu, uşağın həm yaşadıqlarını emal etməsi, həm də daxili ehtiyaclarını ifadə etməsi baxımından olduqca əhəmiyyətlidir. Belə hallarda müəllimin diqqətli müşahidəsi uşağın psixoloji vəziyyəti haqqında dəyərli ipucları verə bilər.

Eyni zamanda rol oyunları uşaqlara sosial mühitdə mövcud olan qaydaları və rolları daha dərindən anlamağa imkan yaradır. Uşaq "müəllim", "həkim", "satıcı" kimi rolları canlandırarkən bu peşələrin davranış modellərini mənimsəyir və cəmiyyət daxilində müxtəlif funksiyaların necə yerinə yetirildiyini öyrənir. Məsələn, "həkim" rolunu oynayan uşaq xəstəyə qayğı göstərməyi, onu dinləməyi və diqqətli davranmağı təcrübədən keçirir. Bu prosesdə uşaq yalnız rolu təqlid etmir, eyni zamanda həmin rolun emosional tərəflərini də yaşayır. Lakin praktikada bəzi uşaqlar bu rollara qoşulmaqda çətinlik çəkə, özünü ifadə etməkdən çəkinə və ya passiv müşahidəçi mövqeyində qala bilər. Bu kimi hallarda müəllimin təşviqedici və dəstəkləyici mövqeyi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Uşağa kiçik və sadə rollar verməklə onu tədricən oyun prosesinə cəlb etmək mümkün olur.

Digər tərəfdən, rol oyunları uşaqların dil və ünsiyyət bacarıqlarının inkişafına da təbii şəkildə şərait yaradır. Uşağın məktəbə qədərki (hətta məktəbdə oxuduğu müddət də daxil) öyrənmə yolu oyundan keçir [6, s. 62]. Oyun zamanı uşaqlar bir-biri ilə danışır, dialoqlar qurur, suallar verir və cavablandırırlar. Bu isə onların lüğət ehtiyatını zənginləşdirir və fikirlərini daha aydın ifadə etməyə kömək edir. Məsələn, "mağaza" oyununda uşaq "neçə manatdır?", "buyurun", "təşəkkür edirəm" kimi gündəlik ifadələrdən istifadə etməyi öyrənir. Lakin bəzi hallarda uşaqlar arasında ünsiyyət balansı pozula bilər — bəziləri daha aktiv danışır, digərləri isə susqun qalır. Bu problemi aradan qaldırmaq üçün müəllim oyun ssenarisinə elə elementlər əlavə etməlidir ki, hər bir uşaq danışmağa və özünü ifadə etməyə məcbur olsun. Məsələn, hər uşağa müəyyən bir rol və ona uyğun danışıq tapşırığı vermək bu baxımdan effektivdir.

Bütün bunlarla yanaşı, rol oyunları uşaqlara seçim etmək, qərar vermək və nəticələri müşahidə etmək imkanı da yaradır. Bu isə onların müstəqil düşünmə və məsuliyyət hissinin formalaşmasına kömək edir. Məsələn, oyun zamanı uşaqlar rolları öz aralarında bölüşdürür, qaydalar müəyyən edir və bəzən bu qaydaları dəyişdirirlər. Bu prosesdə yaranan kiçik mübahisələr və razılaşmalar uşaqlar üçün əsl öyrənmə təcrübəsinə çevrilir. Lakin bu mərhələdə tez-tez rast gəlinən problemlərdən biri mübahisələrin düzgün idarə olunmaması və bəzi uşaqların dominant mövqe tutaraq digərlərinin iştirakını məhdudlaşdırmasıdır. Bu kimi hallarda müəllimin müdaxiləsi balansın qorunması üçün vacibdir. Müəllim uşaqlara alternativ həll yolları göstərərək və rolları ədalətli şəkildə bölüşdürərək hər kəsin iştirakını təmin edə bilər.

Beləliklə, rol oyunları uşağın həm daxili dünyasının, həm də sosial davranışlarının formalaşdığı mürəkkəb, lakin olduqca təbii bir öyrənmə mühiti yaradır. Bu mühitdə uşaq yalnız öyrənmir, eyni zamanda yaşayır, hiss edir və özünü kəşf edir. Məhz bu xüsusiyyətlər rol oyunlarını məktəbəqədər təhsilin ayrılmaz və təsirli komponentinə çevirir və onların daha dərindən araşdırılmasını zəruri edir.

PROBLEMİN TƏSVİRİ

Rol oyunlarının pedaqoji əhəmiyyətini araşdırmaq müasir məktəbəqədər təhsil yanaşmaları baxımından xüsusi aktuallıq daşıyır. Çünki təlim prosesində istifadə olunan hər bir metodun yalnız tətbiqi deyil, həm də onun uşağın inkişafına necə və nə dərəcədə təsir etdiyinin elmi əsaslarla öyrənilməsi vacibdir. Rol oyunları zahirən sadə və təbii fəaliyyət kimi görünsə də, əslində uşağın idrak, emosional və sosial inkişafını kompleks şəkildə stimullaşdıran çoxşaxəli bir mexanizmdir. Bu səbəbdən onların pedaqoji əhəmiyyətinin araşdırılması müəllimlərə və tədqiqatçılara bu metoddan daha məqsədyönlü, sistemli və effektiv şəkildə istifadə etmək imkanı yaradır. Əks halda rol oyunları sadəcə vaxt keçirmə vasitəsinə çevrilə və onların real inkişaf potensialı nəzərdən qaça bilər.

"Pedaqoji əhəmiyyət" anlayışı isə hər hansı bir təlim vasitəsinin və ya fəaliyyət növünün uşağın inkişafına verdiyi töhfənin mahiyyətini və dəyərini ifadə edir. Bu anlayış özündə bir neçə mühüm komponenti birləşdirir: uşağın bilik və bacarıqlarının formalaşması, sosial münasibətlərə uyğunlaşması, emosional sabitliyinin inkişafı və şəxsiyyət kimi formalaşma prosesi. Rol oyunları kontekstində pedaqoji əhəmiyyət dedikdə, bu oyunların uşağın real həyat bacarıqlarını necə modelləşdirdiyi, onun düşünmə, ünsiyyət və davranış strategiyalarını necə formalaşdırdığı nəzərdə tutulur. Yəni burada əsas məsələ oyunun özü deyil, onun uşağa nə qazandırdığı, hansı inkişaf sahələrini dəstəklədiyi və bu prosesin necə idarə olunduğudur.

Bu anlayışın araşdırılması həm də praktik baxımdan böyük əhəmiyyət kəsb edir. Müəllim rol oyunlarının pedaqoji dəyərini dərk etdikdə, o, oyun prosesinə daha şüurlu yanaşır, məqsəd qoyur və nəticəni qiymətləndirə bilir. Məsələn, eyni "ailə" və ya "mağaza" oyunu sadəcə səthi şəkildə təşkil edildikdə uşaqlar üçün adi fəaliyyət olaraq qalır, lakin məqsədyönlü qurulduqda həmin oyun emosional zəkanın, sosial bacarıqların və dil inkişafının güclü vasitəsinə çevrilir. Bu isə göstərir ki, pedaqoji əhəmiyyət yalnız metodun mövcudluğu ilə deyil, onun necə tətbiq olunması ilə birbaşa bağlıdır. Məhz buna görə də rol oyunlarının pedaqoji əhəmiyyətinin nəzəri və praktik baxımdan araşdırılması bu sahədə daha effektiv təlim strategiyalarının formalaşdırılması üçün zəruri hesab olunur.

Rol oyunlarının pedaqoji əhəmiyyəti onların çoxşaxəli təsir imkanları ilə izah olunur. Məktəbəqədər dövr uşağın psixoloji inkişafının və şəxsiyyətinin formalaşmasının əsas mərhələsini təşkil edir [3, s. 21]. Bu oyunlar vasitəsilə uşaqlar bu mərhələdə yalnız dil və ünsiyyət bacarıqlarını deyil, həm də sosial qaydaları, əməkdaşlığı və qarşılıqlı hörməti mənimsəyirlər. Məsələn, "həkim-xəstə" oyunu zamanı uşaqlar növbə gözləməyi, dinləməyi və qayğı göstərməyi öyrənirlər. "Mağaza" oyununda isə alıcı və satıcı rollarını canlandıraraq həm sadə riyazi anlayışlarla tanış olur, həm də ünsiyyət qurma bacarıqlarını inkişaf etdirirlər. Bu cür praktik fəaliyyətlər uşaqlarda məsuliyyət hissini artırır və onları real həyat situasiyalarına daha hazırlıqlı edir. Eyni zamanda rol oyunları uşağın fantaziyasını genişləndirir, yaradıcılıq qabiliyyətlərini stimullaşdırır və özünü ifadə etmə bacarığını gücləndirir. Beləliklə, təlim prosesi formal və passiv xarakterdən çıxaraq interaktiv və uşağın aktiv iştirak etdiyi bir mühitə çevrilir.

Rol oyunlarının pedaqoji əhəmiyyəti yalnız ümumi inkişafla məhdudlaşmır, eyni zamanda konkret bacarıqların məqsədyönlü şəkildə formalaşdırılmasına xidmət edir. Aparılan təhlillər göstərir ki, müxtəlif oyunlar uşaqları pis vərdişlərdən, uşaq sağlamlığı üçün ziyan olan kompüter, mobil telefon və digər şüa ötürən elektron vasitələrdən uzaqlaşdırmaq üçün mühüm rol oynayır [5, s. 113]. Bu baxımdan rol oyunları uşaqlarda emosiyaların tanınması və düzgün ifadə olunması üçün praktik bir platforma yaradır. Məsələn, "ailə" oyunu zamanı uşaqlar valideyn və övlad rollarını canlandıraraq qayğı, sevgi, məsuliyyət kimi anlayışları təcrübədən keçirirlər. Bu prosesdə müəllimin müdaxiləsi və yönləndirməsi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Əgər tərbiyəçi uşaqlara düzgün suallar versə ("Ana indi niyə narahat oldu?", "Uşaq niyə ağladı?" kimi), bu, uşaqların emosional vəziyyətləri dərk etməsinə kömək edir. Lakin praktikada bəzən bu mərhələ diqqətdən kənarda qalır və oyun sadəcə səthi şəkildə keçirilir. Bu problemin həlli üçün tərbiyəçilərin oyun prosesində aktiv müşahidəçi və yönləndirici rolunda çıxış etməsi, uşaqların davranışlarına reflektiv yanaşma tətbiq etməsi tövsiyə olunur.

Digər mühüm əhəmiyyət isə rol oyunlarının konfliktlərin idarə olunması və sosial problemlərin həlli bacarıqlarını inkişaf etdirməsidir. Məsələn, "məktəb" və ya "dostlar arasında mübahisə" mövzusunda qurulan oyunlarda uşaqlar fikir ayrılıqları ilə qarşılaşır və bu vəziyyətdə necə davranmalı olduqlarını öyrənirlər. Bəzi uşaqlar bu cür situasiyalarda aqressiv reaksiya verə və ya tamamilə geri çəkilə bilər. Bu isə praktik problemlərdən biri kimi çıxış edir. Lakin müəllim düzgün ssenari quraraq və alternativ davranış modellərini göstərərək uşaqlara daha konstruktiv yanaşma formalaşdıra bilər. Məsələn, müəllim "Səncə, dostuna başqa necə deyə bilərdin?" kimi suallarla uşağı düşünməyə təşviq edir. Bu yanaşma uşaqlarda empatiyanın və özünü tənzimləmə bacarığının inkişafına birbaşa təsir edir.

Bununla yanaşı, rol oyunları uşaqlarda qərarvermə və təşəbbüskarlıq bacarıqlarının formalaşmasına da mühüm töhfə verir. "Restoran", "səyahət", "xilasetmə əməliyyatı" kimi oyun ssenarilərində uşaqlar müxtəlif seçimlər etməli, rollar bölüşdürməli və prosesin gedişatını idarə etməlidirlər. Bu isə onların müstəqil düşünmə və liderlik xüsusiyyətlərini inkişaf etdirir. Lakin bəzi hallarda uşaqlar arasında dominantlıq problemi yaranır - yəni müəyyən uşaqlar daim lider rolunu götürür, digərləri isə passiv qalır. Bu vəziyyət pedaqoji baxımdan balansın pozulmasına səbəb olur. Problemin həlli kimi rolların növbələşdirilməsi, hər uşağa fərqli məsuliyyətlərin verilməsi və müəllimin inklüziv yanaşma tətbiq etməsi effektiv hesab olunur. Beləliklə, rol oyunları yalnız əyləncə vasitəsi deyil, həm də uşağın hərtərəfli inkişafını təmin edən güclü pedaqoji alət kimi çıxış edir və düzgün tətbiq olunduqda onun təsir imkanları daha da genişlənir.

Bununla yanaşı, rol oyunlarının tətbiqi prosesində müəyyən digər çətinliklər də mövcuddur. Bəzi hallarda tərbiyəçilərin bu metoddan məqsədyönlü və sistemli istifadə etməməsi, oyunların sadəcə əyləncə kimi qəbul olunması onların pedaqoji təsirini zəiflədir. Digər bir problem isə oyun mühitinin və materiallarının yetərli səviyyədə təşkil olunmamasıdır ki, bu da uşaqların oyun prosesinə tam cəlb olunmasına mane olur. Bundan əlavə, hər bir uşağın fərdi xüsusiyyətlərinin nəzərə alınmaması bəzi uşaqların passiv qalmasına səbəb ola bilər. Bu problemlərin aradan qaldırılması üçün rol oyunlarının əvvəlcədən planlaşdırılması, məqsəd və nəticələrinin aydın müəyyən edilməsi, həmçinin tərbiyəçilərin bu sahədə peşəkar inkişafının dəstəklənməsi vacibdir. Eyni zamanda, sadə və əlçatan vasitələrlə zəngin oyun mühitinin yaradılması və hər bir uşağın aktiv iştirakını təşviq edən yanaşmaların tətbiqi bu metodun effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artıra bilər.

Məktəbəqədər yaşlı uşaqlarda emosional zəkanın formalaşması

Məktəbəqədər yaş dövrü uşaqlarda emosional zəkanın əsaslarının qoyulduğu, onların öz hisslərini tanıma, başqalarının emosiyalarını anlama və sosial münasibətlərdə uyğun davranış modelləri seçməyi öyrəndiyi ən mühüm inkişaf mərhələlərindən biridir. Bu dövr eyni zamanda uşağın daxili aləminin formalaşdığı, şəxsiyyət strukturunun ilkin konturlarının yarandığı və sosial təcrübələrin tədricən mənimsənildiyi həssas bir keçid mərhələsi kimi çıxış edir. Bu yaşda uşaq yalnız gündəlik hadisələrə reaksiya vermir, həm də həmin hadisələrin emosional mənasını anlamağa başlayır və bu, onun gələcək psixoloji sabitliyinin əsasını təşkil edir. Emosional zəkanın ilkin elementləri məhz bu mərhələdə formalaşdığı üçün uşağın sonrakı təhsil və sosial həyatında uğur qazanması birbaşa bu dövrdə verilən dəstək və yönləndirmədən asılı olur.

Bu dövrdə uşaq yalnız "nə hiss etdiyini" deyil, həm də "niyə belə hiss etdiyini" anlamağa başlayır. Bu isə emosional inkişafın daha dərin mərhələsi hesab olunur və uşağın özünü dərk etmə qabiliyyətinin genişlənməsi ilə bağlıdır. Məsələn, uşaq oyuncağını itirdiyi üçün ağladıqda artıq təkcə kədər hiss etmir, eyni zamanda bu kədərin səbəbini müəyyən etməyə başlayır. Bu cür səbəb-nəticə əlaqələrinin qurulması onun düşüncə və emosional sisteminin paralel inkişaf etdiyini göstərir. Emosional zəka məhz bu bacarıqların vəhdətindən ibarət olub, uşağın gələcək sosial uyğunlaşmasında, münasibət qurma

qabiliyyətində və psixoloji dayanıqlığında həlledici rol oynayır. Bu bacarıqların formalaşması uşağın həm fərdi rifahına, həm də sosial mühitdə özünü ifadə etmə keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir.
Əgər bu bacarıqlar erkən yaşlarda düzgün istiqamətləndirilməzsə, uşaq sonrakı mərhələlərdə öz emosiyalarını idarə etməkdə, konfliktləri həll etməkdə və empati qurmaqda çətinlik çəkə bilər. Bu isə yalnız davranış problemləri ilə deyil, həm də sosial münasibətlərdə uyğunlaşma çətinlikləri, özünəinamın zəifləməsi və emosional qeyri-sabitlik kimi daha dərin nəticələrlə özünü göstərə bilər. Məsələn, emosional dəstəyi zəif olan bir uşaq kiçik bir mübahisə zamanı həddindən artıq aqressiv reaksiya verə və ya tamamilə özünə qapanaraq sosial əlaqələrdən uzaqlaşa bilər. Buna görə də məktəbəqədər təhsil mühitində emosional zəkanın inkişafı təsadüfi deyil, məqsədyönlü və sistemli şəkildə təşkil olunmalıdır. Bu təşkilatlanma həm təlim metodlarının düzgün seçilməsini, həm də uşağın emosional ehtiyaclarının ardıcıl şəkildə müşahidə və dəstəklənməsini tələb edir.
Emosional zəkanın formalaşmasında ilk və ən vacib addım uşağın öz emosiyalarını tanıması və adlandırmasıdır. Praktik olaraq müşahidə edilir ki, bir çox uşaqlar hisslərini ifadə etməkdə çətinlik çəkir və bunu ya aqressiya, ya da susqunluqla göstərirlər. Məsələn, uşaq oyunda uduzduqda əsəbiləşir, lakin "mən əsəbiləşdim" demək əvəzinə oyunu dağıda və ya dostuna qarşı sərt reaksiya verə bilər. Bu kimi hallarda müəllimin rolu olduqca əhəmiyyətlidir. Əgər müəllim uşağa "Sən indi əsəbiləşdin, çünki uduzdun" kimi ifadələrlə emosiyanı adlandırmağa kömək edərsə, uşaq tədricən öz hisslərini dərk etməyi öyrənir. Lakin praktikada tez-tez rast gəlinən problemlərdən biri emosiyaların "yaxşı" və "pis" kimi qütbləşdirilməsi və uşağın bəzi hissləri ifadə etməsinin qarşısının alınmasıdır. Halbuki bütün emosiyalar təbiidir və əsas məsələ onların düzgün idarə olunmasıdır. Bu problemin həlli üçün müəllimlər və valideynlər emosional savadlılıq yanaşmasını mənimsəməli, uşağa hisslərini sərbəst ifadə etmək üçün təhlükəsiz mühit yaratmalıdırlar.
Emosional zəkanın digər mühüm komponenti empatiya, yəni başqalarının hisslərini anlama və onlara uyğun reaksiya vermə bacarığıdır. Bu bacarıq uşaqlarda əsasən sosial qarşılıqlı əlaqə və birgə fəaliyyətlər zamanı inkişaf edir. Məsələn, bir uşaq yıxıldıqda digər uşağın ona yaxınlaşıb "sənə ağrıdı?" deməsi və ya onu sakitləşdirməyə çalışması empatik davranışın ilkin formasıdır. Lakin bəzi uşaqlar bu cür situasiyalarda laqeyd qala və ya vəziyyəti düzgün qiymətləndirə bilməyə bilər. Bu isə onların emosional təcrübəsinin yetərli olmaması ilə bağlıdır. Praktik olaraq müəllim bu kimi halları öyrədici fürsətə çevirə bilər: "Səncə o niyə ağlayır?", "Sən onun yerində olsaydın nə hiss edərdin?" kimi suallar uşaqları düşünməyə və empati qurmağa təşviq edir. Problemlərdən biri isə qrupda emosional fərqliliklərin nəzərə alınmamasıdır — bəzi uşaqlar daha həssas, bəziləri isə daha passiv ola bilər. Bu baxımdan fərdi yanaşmanın tətbiqi və hər bir uşağın emosional ehtiyaclarının nəzərə alınması vacib həll yollarından biridir.
Eyni zamanda emosional zəkanın formalaşmasında özünü tənzimləmə bacarığı xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bu bacarıq uşağın emosiyalarını idarə etməsi, impulslarını nəzarətdə saxlaması və uyğun davranış seçməsi ilə bağlıdır. Məsələn, uşaq oyuncağı paylaşmaq istəmədikdə ağlamaq və ya aqressiv davranmaq əvəzinə gözləməyi və ya növbə ilə oynamağı öyrənməlidir. Lakin bu bacarıq öz-özünə formalaşmır və davamlı yönləndirmə tələb edir. Praktikada tez-tez rast gəlinən problemlərdən biri uşağın davranışına yalnız nəticə baxımından müdaxilə olunmasıdır — yəni uşaq aqressiv davrananda sadəcə "belə etmə" deyilir, lakin alternativ davranış öyrədilmir. Halbuki effektiv yanaşma uşağa konkret strategiyalar təqdim etməkdir: "Əsəbiləşəndə dərindən nəfəs ala bilərsən", "Oyuncağı istəyəndə sakitcə xahiş et" kimi. Bu cür yanaşmalar uşağın özünü idarə etmə bacarığını gücləndirir və onu daha balanslı sosial fərd kimi formalaşdırır.
Nəticə etibarilə, məktəbəqədər yaşlı uşaqlarda emosional zəkanın formalaşması kompleks və çoxşaxəli bir prosesdir və bu prosesdə həm müəllimlərin, həm də təlim mühitinin rolu əvəzsizdir. Bu inkişaf mərhələsi təkcə emosiyaların tanınması və ifadəsi ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda uşağın sosial münasibətlərdə özünü necə təqdim etməsi, konfliktlərə necə yanaşması və başqalarının hisslərinə necə reaksiya verməsi kimi daha geniş davranış spektrini əhatə edir. Məhz buna görə də emosional zəka uşağın ümumi şəxsiyyət inkişafının mərkəzi komponentlərindən biri kimi çıxış edir və onun gələcək təhsil uğurlarına, sosial adaptasiyasına və psixoloji rifahına birbaşa təsir göstərir. Bu prosesin düzgün qurulmaması isə uşağın yalnız təlim fəaliyyətində deyil, gündəlik sosial həyatında da çətinliklərlə üzləşməsinə səbəb ola bilər.
Lakin bu sahədə mövcud vəziyyətə nəzər saldıqda bir sıra sistemli və davamlı problemlərin olduğu aydın görünür. Ən əsas çətinliklərdən biri emosional inkişafın bir çox təhsil mühitində akademik bacarıqlarla müqayisədə daha az prioritet kimi qəbul edilməsidir. Tədris prosesində əsas diqqət oxuma-yazma, ilkin riyazi anlayışlar və idrak bacarıqlarının formalaşdırılmasına yönəldildiyi üçün uşağın emosional ehtiyacları və sosial-emosional inkişafı çox zaman ikinci plana keçir. Halbuki məktəbəqədər dövrdə emosional və idrak inkişafı bir-birindən ayrı deyil, əksinə, qarşılıqlı şəkildə bir-birini dəstəkləyən paralel proseslər kimi

nəzərdən keçirilməlidir. Emosional zəkanın zəif inkişaf etdiyi hallarda uşağın əldə etdiyi bilikləri real sosial situasiyalarda tətbiq etməsi də çətinləşir ki, bu da təlimin ümumi effektivliyini azaldır.
Digər mühüm problem müəllimlərin bu sahə üzrə metodik və praktik hazırlığının kifayət qədər olmamasıdır. Bir çox hallarda pedaqoqlar emosional zəkanın əhəmiyyətini nəzəri baxımdan qəbul etsələr də, onun gündəlik təlim prosesinə inteqrasiyasında çətinliklərlə üzləşirlər. Bu isə uşaqlarda müşahidə olunan emosional reaksiyaların düzgün interpretasiya olunmaması, davranışların arxasında duran psixoloji səbəblərin nəzərə alınmaması və nəticədə pedaqoji müdaxilənin səthi qalması ilə nəticələnir. Məsələn, uşaq oyunda aqressiv davranış sərgilədikdə bu davranışın səbəbi yalnız "intizamsızlıq" kimi qiymətləndirilir, halbuki bu, diqqət ehtiyacı, emosional gərginlik və ya sosial uyğunlaşma çətinliyi ilə bağlı ola bilər. Belə hallarda problemə dərin yanaşma olmadıqda, uşağın emosional inkişafına real dəstək göstərmək mümkün olmur.
Bundan əlavə, praktik fəaliyyətlərin çox zaman sistemsiz, planlaşdırılmamış və epizodik şəkildə həyata keçirilməsi də bu sahədəki inkişafı məhdudlaşdıran əsas faktorlardan biridir. Emosional bacarıqların formalaşması isə qısa müddətli deyil, ardıcıl və mərhələli pedaqoji proses tələb edən bir inkişaf xəttidir. Sistemli yanaşma olmadıqda həyata keçirilən fəaliyyətlər arasında əlaqə zəifləyir, uşağın inkişaf dinamikasını izləmək çətinləşir və nəticələrin obyektiv qiymətləndirilməsi mümkün olmur. Bu isə həm təlim keyfiyyətinə, həm də pedaqoji qərarların düzgünlüyünə mənfi təsir göstərir.
Bu problemlərin aradan qaldırılması üçün emosional zəka təliminin məktəbəqədər təhsil proqramlarına inteqrasiyası strateji bir zərurət kimi qiymətləndirilməlidir. Eyni zamanda müəllimlərin peşəkar inkişafının davamlı şəkildə dəstəklənməsi, onların emosional pedaqogika və uşaq psixologiyası sahəsində bilik və bacarıqlarının artırılması vacibdir. Praktik baxımdan isə gündəlik təlim prosesində daha strukturlaşdırılmış, məqsədyönlü və interaktiv metodların tətbiqi daha effektiv nəticələr verə bilər. Xüsusilə rol oyunları əsasında qurulan situativ təlim modelləri, uşaqların real həyat situasiyalarını təhlükəsiz mühitdə təcrübədən keçirməsinə imkan yaradır və onların emosional reaksiyalarını təbii şəkildə inkişaf etdirir. Bununla yanaşı, müşahidə vərəqləri, emosional indikator cədvəlləri və valideynlərlə sistemli əməkdaşlıq mexanizmləri tətbiq olunduqda uşağın inkişafı daha kompleks və davamlı şəkildə izlənilə bilər. Nəticə etibarilə, bu yanaşmalar uşaqların yalnız emosional deyil, eyni zamanda sosial və şəxsiyyət baxımından daha balanslı, dayanıqlı və adaptiv fərdlər kimi formalaşmasına şərait yaradır.

METODOLOGİYA

Rol oyunlarının emosional zəkanın inkişafına təsirinin qarışıq metod yanaşması ilə təhlili

Oyun mahiyyət etibarilə, düşünən və həyat təcrübələrini daim inkişaf etdirməyə meyilli olan fərdin xəyal dünyasını ortaya qoyma formasıdır [7, s. 1].Uşaqlar dünyanı və özlərini oyun vasitəsilə öyrənirlər [4, s. 3]. Bu proses isə onların həm idrak, həm də emosional inkişafının formalaşmasında əsas rol oynayaraq xüsusilə rol oyunlarının emosional zəkanın inkişafına təsirini daha dərindən anlamağa imkan yaradır. Rol oyunlarının emosional zəkanın inkişafına təsirini daha dərindən və obyektiv şəkildə anlamaq üçün bu sahədə aparılan tədqiqatlarda qarışıq metod yanaşmasının tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Çünki emosional zəka kimi çoxşaxəli və həm daxili, həm də müşahidə oluna bilən davranışlarla bağlı olan bir fenomenin yalnız kəmiyyət və ya yalnız keyfiyyət üsulları ilə tam izah olunması mümkün olmur. Qarışıq metod yanaşması isə bu iki istiqaməti birləşdirərək həm uşaqların davranış göstəricilərini ölçməyə, həm də onların emosional təcrübələrini və sosial qarşılıqlı əlaqələrini daha dərin səviyyədə anlamağa imkan yaradır. Bu baxımdan rol oyunları həm müşahidə edilə bilən davranışlar, həm də şərh tələb edən emosional reaksiyalar üçün zəngin tədqiqat mühiti formalaşdırır.
Rol oyunlarının emosional zəkanın inkişafına təsirini daha dərindən və obyektiv şəkildə anlamaq üçün bu sahədə aparılan tədqiqatlarda qarışıq metod yanaşmasının tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Çünki emosional zəka kimi çoxşaxəli və həm daxili, həm də müşahidə oluna bilən davranışlarla bağlı olan bir fenomenin yalnız kəmiyyət və ya yalnız keyfiyyət üsulları ilə tam izah olunması mümkün olmur. Qarışıq metod yanaşması isə bu iki istiqaməti birləşdirərək həm uşaqların davranış göstəricilərini ölçməyə, həm də onların emosional təcrübələrini və sosial qarşılıqlı əlaqələrini daha dərin səviyyədə anlamağa imkan yaradır. Bu baxımdan rol oyunları həm müşahidə edilə bilən davranışlar, həm də şərh tələb edən emosional reaksiyalar üçün zəngin tədqiqat mühiti formalaşdırır.
Bu yanaşmanın əsas üstünlüklərindən biri odur ki, o, uşağın emosional inkişafını yalnız "nəticə" kimi deyil, "proses" kimi də izləməyə şərait yaradır. Yəni uşaq oyun zamanı necə davranır, hansı situasiyalarda emosional reaksiya verir, bu reaksiyaların intensivliyi nə dərəcədədir və zamanla necə dəyişir kimi suallar daha sistemli şəkildə cavablandırıla bilir. Eyni zamanda, qarışıq metod tədqiqatçılara və müəllimlərə fərqli mənbələrdən gələn məlumatları müqayisə etmək imkanı verir ki, bu da daha etibarlı nəticələr əldə etməyə

kömək edir. Məsələn, uşağın oyunda sakit görünməsi onun emosional olaraq stabil olduğu anlamına gələ biləcəyi kimi, əksinə, daxildə hiss etdiyi emosiyanı ifadə etməməsi ilə də bağlı ola bilər. Bu cür nüanslar yalnız kompleks yanaşma ilə üzə çıxarıla bilər.

Bundan əlavə, bu yanaşma rol oyunlarının təlim prosesinə inteqrasiyasını daha məqsədyönlü edir. Çünki əldə olunan nəticələr yalnız nəzəri səviyyədə qalmır, həm də birbaşa pedaqoji praktikaya tətbiq oluna bilir. Müəllimlər uşaqların emosional reaksiyalarındakı fərqləri daha aydın görə bilir və bu fərqlərə uyğun fərdiləşdirilmiş yanaşmalar hazırlaya bilirlər. Bu isə məktəbəqədər təhsil mühitində daha inklüziv və inkişafyönümlü təlim mühitinin formalaşmasına şərait yaradır. Beləliklə, qarışıq metod yanaşması rol oyunlarının emosional zəkanın inkişafındakı rolunu yalnız ölçmək deyil, onu daha dərindən anlamaq və təkmilləşdirmək üçün də mühüm bir vasitəyə çevrilir.

Lakin bu yanaşmanın tətbiqi prosesində qarşıya çıxan əsas problemlərdən biri əldə olunan məlumatların düzgün inteqrasiya olunmamasıdır. Praktikada tez-tez rast gəlinir ki, müəllim və ya tədqiqatçı uşaqların davranışlarını müşahidə edir (məsələn, uşağın oyunda başqasına kömək etməsi qeyd olunur), lakin bu davranışın arxasında duran emosional səbəblər və ya uşağın daxili motivasiyası təhlil edilmir. Digər tərəfdən, müsahibə və ya söhbət zamanı uşaq müəyyən hissləri ifadə etsə də, bu ifadələrin real davranışla uyğunluğu yoxlanılmır. Nəticədə məlumatlar parçalanmış şəkildə qalır və rol oyunlarının emosional zəka üzərində real təsiri tam aydınlaşmır. Bu isə tədqiqatın etibarlılığına və praktik tətbiqinə mənfi təsir göstərir. Bu problem həm də ondan qaynaqlanır ki, bəzən tədqiqat prosesi mərhələlərə ayrılmış şəkildə aparılır və müşahidə ilə söhbət hissəsi bir-birindən təcrid olunur. Halbuki uşağın emosional reaksiyaları çox vaxt ani və situativ olur, yəni eyni davranış fərqli emosional vəziyyətlərin nəticəsi ola bilər. Məsələn, uşaq oyunda dostuna kömək edə bilər, lakin bu davranış bəzən həqiqi empatiyadan deyil, müəllimin reaksiyasını qazanmaq və ya qaydaya uyğun hərəkət etmək istəyindən də irəli gələ bilər. Bu cür incə fərqlərin nəzərə alınmaması nəticələrin səthi qalmasına səbəb olur.

Bu problemin həlli üçün qarışıq metod yanaşmasının məqsədyönlü və paralel şəkildə qurulması vacibdir. Məsələn, "həkim-xəstə" rol oyunu zamanı müəllim əvvəlcədən müəyyən meyarlar əsasında müşahidə aparır: uşaq qarşı tərəfin emosiyasına reaksiya verirmi, empati göstərirmi, sakitləşdirici davranış nümayiş etdirirmi və s. Daha sonra oyun bitdikdən sonra qısa, sadə suallar vasitəsilə uşağın daxili düşüncələri öyrənilir: "Səncə xəstə niyə kədərlənmişdi?", "Sən ona kömək edəndə nə hiss etdin?" kimi. Bu iki məlumat mənbəyi – müşahidə və verbal ifadə – bir-biri ilə müqayisə edildikdə daha dolğun nəticə əldə olunur. Əgər uşaq davranışda empati göstərir, lakin bunu sözlə ifadə edə bilmirsə, bu, onun emosional inkişafının müəyyən mərhələdə olduğunu göstərir və müəllim buna uyğun dəstək strategiyası seçə bilər. Eyni zamanda bu yanaşmaya sadə qeydlər və qısa refleksiya vərəqlərinin əlavə olunması da prosesi daha sistemli edə bilər. Məsələn, müəllim hər oyun sonrası 2–3 meyar üzrə qısa qeyd apararaq uşağın emosional davranış dinamikasını izləyə bilər.

Beləliklə, qarışıq metod yanaşması yalnız tədqiqat aləti kimi məhdud çərçivədə qalmır, həm də məktəbəqədər təhsil prosesində praktik pedaqoji vasitə kimi mühüm funksional əhəmiyyət kəsb edir. Bu yanaşma müəllimə uşağın inkişafını təkcə nəticə etibarilə deyil, həm də prosesual baxımdan izləmək imkanı yaradır və emosional zəkanın formalaşmasının daha dərin qatlarını üzə çıxarır. Yəni uşaq yalnız nə etdiyinə görə deyil, həm də niyə belə davrandığına görə qiymətləndirilir ki, bu da pedaqoji diaqnostikanın daha dəqiq və məqsədyönlü aparılmasına şərait yaradır. Bu baxımdan qarışıq metod həm müşahidə edilə bilən davranışları, həm də verbal ifadə və emosional refleksiyanı bir araya gətirərək uşağın inkişaf portretini daha bütöv şəkildə təqdim edir.

Eyni zamanda bu yanaşma müəllimə uşağın həm görünən, həm də görünməyən inkişaf tərəflərini anlamağa imkan verir. Anlama kimi peşəkarlıqla səriştəliliyi özündə ehtiva edən bacarığın müəllimdə cəmləşməsi onun pedaqoji ustalığının və müəllim novatorluğunun əsas əlamətləri kimi qeyd olunur ki, bununla da uşaqları cəmiyyətə faydalı fərd kimi yetişdirmək olar [8, s. 13] . Görünən tərəflər dedikdə uşağın oyun zamanı davranışları, sosial reaksiyaları və qrup daxilindəki fəaliyyəti nəzərdə tutulursa, görünməyən tərəflər onun daxili emosional vəziyyəti, motivasiyası və situasiyalara verdiyi subyektiv mənalarla bağlıdır. Məhz bu iki istiqamətin eyni anda təhlil edilməsi uşağın emosional zəka səviyyəsinin daha real və obyektiv qiymətləndirilməsinə şərait yaradır. Əks halda yalnız səthi müşahidələrə əsaslanan qiymətləndirmə uşağın inkişaf səviyyəsini ya şişirdə, ya da tam əksinə, olduğundan aşağı göstərə bilər ki, bu da pedaqoji qərarların düzgünlüyünə mənfi təsir edir.

Lakin bu yanaşmanın effektivliyi onun sistemli tətbiqindən, məlumatların əlaqələndirilməsindən və nəticələrin düzgün şərh olunmasından birbaşa asılıdır. Sistemlilik olmadıqda qarışıq metod öz mahiyyətini itirir və sadəcə ayrı-ayrı məlumat toplama üsullarının toplusuna çevrilir. Halbuki məqsəd bu məlumatların

bir-birini tamamlaması və vahid pedaqoji mənzərə yaratmasıdır. Məsələn, müşahidə nəticələri ilə uşağın verdiyi cavablar arasında ziddiyyət yarandıqda, bu ziddiyyətin səbəbi dərin şəkildə araşdırılmalıdır; bu ya uşağın emosiyanı sözlə ifadə etməkdə çətinlik çəkməsi, ya da sosial mühitə uyğun davranış nümayiş etdirməsi ilə bağlı ola bilər.

Bu baxımdan müəllimlərin və tədqiqatçıların bu sahədə metodoloji biliklərinin artırılması xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Sadə və strukturlaşdırılmış müşahidə formalarının tətbiqi, uşaqların davranışlarını standart meyarlar əsasında qeydə almağa imkan verir və subyektiv qiymətləndirmə riskini azaldır. Eyni zamanda strukturlaşdırılmış sual texnikaları - məsələn, "Niyə belə düşündün?", "O sənə nə hiss etdirdi?", "Əgər sən onun yerində olsaydın nə edərdin?" kimi suallar - uşağın daxili emosional dünyasını daha aydın şəkildə üzə çıxarmağa kömək edir. Bu cür yanaşma həm tədqiqatın elmi dəqiqliyini artırır, həm də pedaqoji prosesin daha məqsədyönlü qurulmasına şərait yaradır.

№	Təsir istiqaməti	Praktik problem	Təklif olunan həll yolu	Beynəlxalq təcrübə və novator yanaşma
1	**Emosiyaların tanınması və ifadə bacarığının inkişafı**	Uşaqlar hisslərini düzgün adlandıra bilmir, aqressiya və ya susqunluqla reaksiya verir	Emosional sözlük oyunları, müəllimin yönləndirici sualları ("İndi nə hiss edirsən?")	Finlandiya və İsveç məktəbəqədər sistemlərində "emotion labeling" kart oyunları və vizual emosional panellər
2	**Empatiya və başqasının emosiyasını anlama bacarığı**	Uşaqlar digərinin kədər və ya sevincinə laqeyd yanaşa bilir	"rol dəyişmə" oyunları (uşaq həm xəstə, həm həkim olur), empati sualları	Kanada təcrübəsində "perspective-taking role play" proqramları və sosial-emosional laboratoriyalar
3	**Sosial qarşılıqlı əlaqə və ünsiyyət bacarıqları**	Bəzi uşaqlar passiv qalır, dialoqa girmir və ya dominantlıq problemi yaranır	Qrup daxilində rotasiya edilən rollar, hər uşağa danışıq tapşırığı verilməsi	Böyük Britaniya məktəbəqədər təhsilində "structured cooperative play" modeli
4	**Emosional özünü tənzimləmə və impuls kontrolu**	Uşaqlar uduzanda və ya konflikt zamanı aqressiv davranır	"dayan–düşün–danış" texnikası, nəfəs məşqləri və sakitləşmə guşəsi	Montessori və Reggio Emilia yanaşmalarında "self-regulation corners" və emosional fasilə zonaları
5	**Qərarvermə və sosial problem həll etmə bacarıqları**	Uşaqlar konfliktləri böyüdür və kompromisə getməkdə çətinlik çəkir	Ssenari əsaslı oyunlar ("mağaza mübahisəsi", "oyuncaq bölüşdürmə") və müəllim fasilitatorluğu	ABŞ məktəbəqədər proqramlarında "problem-solving play scenarios" və real həyat simulyasiya modelləri

Cədvəl 1. Müəllif tərəfindən aparılmış tədqiqatın nəticələrinə uyğun hazırlanmışdır.

Nəticə etibarilə, qarışıq metod yanaşması düzgün tətbiq olunduqda rol oyunlarının məktəbəqədər yaşlı uşaqlarda emosional zəkanın inkişafına təsirini yalnız ölçmək üçün deyil, eyni zamanda bu təsiri yönləndirmək və gücləndirmək üçün də effektiv bir vasitəyə çevrilir. Burada əsas vəzifə əlverişli təlim-tərbiyə mühiti yaratmaq və burada rol oyunlarını düzgün tətbiq etməkdir [9, s. 19]. Bu isə təhsil prosesində daha dərindən düşünülmüş, sistemli və uşağın real ehtiyaclarına uyğun pedaqoji qərarların verilməsinə imkan yaradır. Bütün bunları ümumiləşdirsək, demək olar ki, məktəbəqədər yaş mərhələsində fəaliyyətin – xüsusilə də oyun və xüsusilə rol oyunları əsaslı ünsiyyətin əsas inkişafedici faktor kimi dəyərləndirilməsi zəruridir [3, s. 23].

NƏTİCƏ

Nəticə etibarilə, rol oyunları məktəbəqədər yaşlı uşaqların emosional zəka inkişafında mühüm və çoxşaxəli təsirə malikdir və bu proses uşaqların empatiya, emosiyaların tanınması, sosial uyğunlaşma və özünü tənzimləmə bacarıqlarının formalaşmasına ciddi töhfə verir. Lakin bu sahədə emosional inkişafın akademik bacarıqlara nisbətən ikinci plana keçirilməsi, müəllimlərin emosional pedaqogika üzrə kifayət qədər hazırlığa malik olmaması, rol oyunlarının planlı deyil spontan şəkildə təşkil edilməsi, uşaqların inkişafının sistemli şəkildə izlənilməməsi, valideyn-müəllim əməkdaşlığının zəif olması və qiymətləndirmə meyarlarının standartlaşdırılmaması kimi problemlər mövcuddur, bu isə emosional zəkanın inkişaf tempini zəiflədir və prosesin davamlılığını azaldır, eyni zamanda uşaqların fərdi emosional ehtiyaclarının tam nəzərə alınmamasına səbəb olur. Bu problemlərin aradan qaldırılması üçün emosional zəka təliminin məktəbəqədər təhsil proqramlarına inteqrasiyası, müəllimlərin bu sahədə metodik və praktik biliklərinin artırılması, rol oyunlarının məqsədyönlü və planlı şəkildə tətbiqi, müşahidə və qiymətləndirmə sistemlərinin standartlaşdırılması, valideynlərin təlim prosesinə daha aktiv cəlb olunması və beynəlxalq təcrübələrdən istifadə edilməklə innovativ pedaqoji yanaşmaların tətbiqi zəruri hesab olunur. Bu yanaşmaların sistemli şəkildə həyata keçirilməsi uşaqların emosional və sosial bacarıqlarının daha balanslı, davamlı və effektiv şəkildə inkişafına töhfə verəcəkdir.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1. “Məktəbəqədər təhsil haqqında” Azərbaycan Respublikasının Qanunu https://e-qanun.az/framework/35791
2. Əliyeva S.A. Məktəbəqədər təhsilin inkişaf tarixi. Dərs vəsaiti. Bakı, 2021, 425 s. https://adpuquba.edu.az/wp-content/uploads/2020/12/Eliyeva-S%C9%99daq%C9%99t-M%C9%99kt%C9%99b%C9%99q%C9%99d%C9%99r-t%C9%99hsilin-inkisaf-tarixi.pdf
3. Məmmədova Y. Məktəbəqədər dövrdə oyun və ünsiyyətin inkişafetdirici rolu. ELMİ İŞ Beynəlxalq Elmi Jurnal. 2025 / Cild: 19 Sayı: 8 / 20-23 DOI: https://doi.org/10.36719/2663-4619/120/20-23
4. Millî Eğitim Bakanlığı Temel Eğitim Genel Müdürlüğü. Yüz-yüze 100 çocuk oyunu. Ankara, 2024, 129 s. https://tegm.meb.gov.tr/dosya/100cocukoyunu.pdf
5. Rzayeva Ç. Oyunların elmi təhlili və onların uşaqların əqli-fiziki inkişafında əhəmiyyəti. AZƏRBAYCAN DİLİ VƏ ƏDƏBİYYAT TƏDRİSİ 2021, № 3 (269), 105-113. https://anl.az/down/meqale/azdili_edebiyyat_tedrisi/2021/03/807304(meqale).pdf
6. Füzuli B. Şamandan səmazənə: oyun və oyunçu, Bakı, Elm və təhsil, 2017, - 228 s. https://arxiv.folklor.az/arasdirmalar/Fuzuli-Bayat-oyun-ve-oyuncu.pdf
7. Prof. Dr. Derya ÖCAL, Doç. Dr. Hasan ÇİFTÇİ. Çocuk – oyun – oyuncak temalı çalışmalar. Ankara, 2021. “IKSAD” publishing house, 222 s. https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2021/04/COCUK-%E2%80%93-OYUN-%E2%80%93-OYUNCAK-TEMALI-CALISMALAR.pdf
8. M. İ. İlyasov. Müəllim peşəkarlığı və pedaqoji sərişləliliyin müasir problemləri. Monoqrafiya. Bakı: “Elm və təhsil”, 2018, 208 s. https://anl.az/el/Kitab/2018/07/cd/2018-1050.pdf
9. Əliyeva S.A. Məktəbəqədər pedaqogika tarixində metodoloji yanaşmalar. Dərs vəsaiti. Bakı, 2021, 161 s. https://adpuquba.edu.az/wp-content/uploads/2020/12/Eliyeva-S%C9%99daq%C9%99t-M%C9%99kt%C9%99b%C9%99q%C9%99d%C9%99r-pedaqogika-tarixind%C9%99-metodoloji-yanasmalar.pdf

TEACHING ENGLISH IN THE ERA OF GLOBALIZATION

AZADA MIKAYILOVA
Academy of Public Administration under the President of the Republic of Azerbaijan
Department of Languages
azada.mikayilova@dia.edu.az
Baku, Azerbaijan

Abstract: *In the era of globalization, English has emerged as a dominant global lingua franca, reshaping educational priorities and communication practices worldwide. English language teaching today must respond to growing demands for intercultural communication, digital literacy, and global competence. While globalization offers opportunities for enhanced international collaboration and access to resources, it also poses challenges such as cultural bias in curricula, technological disparities, and the need for modern pedagogical approaches. This paper examines how globalization influences English language teaching, highlights key challenges and opportunities, and proposes adaptive strategies that integrate intercultural awareness, technology, and learner-centered methods to better prepare students for a connected world.*

Keywords: English Language Teaching (ELT), Globalization, I*ntercultural Communication*

I. INTRODUCTION

Globalization in the 21st century has reshaped how societies communicate, learn, and interact. At the heart of this transformation stands the English language, which has emerged as a dominant means of global communication and intercultural exchange. As a lingua franca, English now plays a central role in diplomacy, science, business, technology, education, and international collaboration, influencing both learners and educators worldwide. In this context, the teaching of English must evolve beyond traditional classroom practices to meet the dynamic demands of an interconnected world. The complexity of global influences on language use, learner needs, and educational contexts highlights the **need for research** to inform effective pedagogical practices, address emerging challenges, and guide policy decisions in English language teaching. To **achieve these objectives**, this article reviews and synthesizes current research and empirical studies on the influence of globalization effects on English language teaching, examines key trends and findings in the literature, and presents detailed analysis of innovative strategies and pedagogical frameworks that respond to opportunities and challenges of globalization. The English language largely opens access to the treasury of global knowledge, especially in fields such as science and technology, which form the foundation of education. The reason why, in recent years, many countries have granted English the status of an official language or chosen it as the primary foreign language in their schools lies precisely in the opportunity it provides to obtain a high-quality education.

II. The Role of English in Globalized Education

English has transitioned from being a foreign or second language in many countries to a **global medium of communication.** Its widespread adoption is driven by increased mobility, economic integration, digital communication, and cross-cultural cooperation.

Moreover, globalization has shifted how English literacy is conceptualized: learners are no longer simply expected to master grammar and vocabulary but to develop communicative competence across cultural contexts. This entails understanding language not only as a set of rules but as a tool for intercultural dialogue.

Challenges in Teaching English Today

Despite the global importance of English, several challenges persist in English language teaching (ELT):

a. Maintaining Cultural Identity in a Globalized English Classroom

English teaching materials often focus on Western cultural content, which can limit relevance for countries where English is not the primary language. Educators must balance global communicative norms with local cultural identity, enabling students to both navigate international environments and retain cultural roots [4]. At present, the need for intercultural communication among people of different countries and nationalities is increasing. In this context, contradictions arise between the ongoing processes of simplification of the English language and its culture, on the one hand, and the penetration of the English language into the languages of other nations, cultural displacement, and the preservation of national linguistic and cultural identity, on the other. **Therefore, curriculum designers and teachers must critically select materials**

and activities that respect local traditions while promoting global competencies. Encouraging students to reflect on cultural similarities and differences can foster intercultural awareness and help maintain a sense of identity in an increasingly interconnected world.

b. Pedagogical Shifts and Teacher Readiness

Globalization demands that teachers adopt modern pedagogical methods such as communicative teaching, digital literacy, and project-based learning rather than rely on traditional grammar-translation approaches. This calls for ongoing professional development and teacher training to integrate new methods and technologies. **Teachers must also develop intercultural competence and adaptability to respond effectively to diverse classroom contexts and learners' needs. Institutions should provide continuous support, mentoring, and access to digital resources to ensure educators can implement innovative practices successfully. By embracing these shifts, teachers can prepare students not only to master English but also to navigate a complex, interconnected world.**

c. Technological Integration

Innovative technologies offer powerful tools for language learning, such as online platforms, interactive media, and AI-assisted learning. However, integrating technology effectively requires access, teacher training, and careful curriculum design. Under these conditions, the teaching of foreign languages in secondary and higher educational institutions cannot remain traditional. The education system as a whole, including language education, is undergoing transformation. At the current stage of societal development, intercultural communication is taking on new forms: various electronic means of communication are widely used, such as email, voice and video communication, social networking services, artificial intelligence, and many other digital tools. Consequently, foreign language teaching in the era of globalization has its own distinctive features and presents a number of challenges.

d. Balancing Standards and Linguistic Diversity

Standardized English programs aim to ensure consistency in skill development, but global classrooms often include diverse linguistic backgrounds and varying English dialects. Educators must promote both standard skills and respect for linguistic diversity. In this globalized era, although English can be taught with various approaches, methods, and local adaptations, and despite the diversity and creativity in teaching, it is impossible to completely depart from established standards. In other words, learning a language within a defined program that adheres to recognized standards enables the achievement of effective results. The key issue, therefore, lies with official institutions and governing bodies, which must ensure that these standards are designed in accordance with the requirements of the modern era.

III. Pedagogical Strategies for Global English Teaching

To address these challenges and align ELT with the realities of globalization, the following strategies are essential:

a. Fostering Intercultural Communication Skills

Teaching should emphasize not just language structures but cultural awareness, enabling learners to communicate respectfully and effectively with people from diverse backgrounds. Communication is becoming increasingly complex, turning into a powerful and effective tool, an organizing force that influences all spheres of social life. At present, the success of solving many problems depends on access to information, on the choice of an appropriate partner, and, more broadly, on the correct selection of communication strategies. One of the key aspects in the study of communication issues is its sociocultural characteristics and the conditions under which various informational constructs, cultural, material, and others, are disseminated [5]. **Developing intercultural communicative competence helps learners understand cultural norms, values, and expectations, reducing the risk of misunderstandings in cross-cultural interactions. It also encourages critical thinking about one's own cultural assumptions while fostering empathy toward others. Ultimately, this competence equips students to participate meaningfully in a globalized world, both professionally and socially.**

b. Technology-Enhanced Learning

Integrating digital tools, such as online collaborative platforms, language apps, and authentic multimedia resources, can expand learning beyond the classroom and provide personalized support. However, many universities remain poorly equipped technically, which limits both the delivery and acquisition of education. Students often lack access to necessary digital tools, and both teachers and learners may struggle to utilize modern technologies effectively, hindering English learning. Addressing these challenges through infrastructure investment, professional development, and digital literacy initiatives is essential to fully realize the benefits of technology-enhanced learning. **By incorporating interactive and adaptive**

technologies, educators can tailor lessons to individual student needs and learning styles. Furthermore, fostering collaboration through online platforms can enhance communication skills and intercultural competence, preparing students for the demands of a globalized world.

c. Designing Relevant Materials

Curriculum materials should be adapted to learners' local contexts while incorporating global themes, as this enhances relevance and motivation and helps students apply English in real-world scenarios. For materials to be effective, teachers must consider their communicative value, pragmatic relevance, topicality, authenticity, and alignment with contemporary realities. If materials are outdated or purely informational, learning outcomes may be limited. From my observations, students become significantly more engaged when provided with authentic, engaging materials that reflect current issues. Conversely, when given outdated materials, they tend to participate less and prefer lessons structured around debates, role plays, or discussions, which allow them to actively practice language in meaningful contexts. **To design effective contextualized materials, teachers can integrate local news, cultural events, and community issues alongside global topics, ensuring students see the real-world relevance of English [3]. Incorporating multimedia, interactive tasks, and problem-solving activities further increases engagement and helps learners develop practical communication skills.**

d. Teacher Professional Development

Ongoing training in modern teaching methodologies, digital literacy, and global competencies is critical for teachers to meet evolving educational demands and prepare learners for a globalized future. To achieve the goals of foreign language teaching and support authentic intercultural communication, teachers must master contemporary pedagogical and communication technologies. They act not only as instructors but also as motivators and facilitators, guiding the learning process effectively. This requires anticipating students' questions, identifying potential areas of confusion, and providing clear, timely explanations. In a globalized era, teachers must continually cultivate both professional and ethical qualities, embracing lifelong learning as a guiding principle in their work. **Regular participation in workshops, peer collaboration, and reflective practice helps teachers stay updated with innovations and refine their instructional strategies. Additionally, professional development fosters confidence, adaptability, and a deeper understanding of learners' needs, ultimately improving student outcomes and engagement.**

IV. Conclusion

The globalization of the 21st century has elevated English from a foreign language to a vital tool for communication, education, and intercultural exchange. This transformation has brought both opportunities and challenges for English language teaching, requiring educators to move beyond traditional approaches and adapt to an interconnected world. Effective ELT today must balance global communicative norms with local cultural identity, integrate innovative pedagogical methods, leverage technology, respect linguistic diversity, and use relevant, engaging materials. Equally important is the ongoing professional development of teachers, enabling them to cultivate intercultural competence, digital literacy, and pedagogical expertise. By implementing these strategies, educators can prepare learners not only to master English but also to navigate complex social, cultural, and professional landscapes. Ultimately, aligning English language teaching with the demands of globalization ensures that students are equipped with the skills, knowledge, and awareness necessary to participate meaningfully in a diverse and rapidly changing world.

References

1. Avliyayev, S., & Omonova, L. H. (2025). *The role of English in the era of globalization.* Trends in the Use of Foreign Languages for Professional Priority pp. 708–713.
2. Ceylan, B. (2025). *A literature review on globalizing EFL curriculum. Eurasian Journal of Language Teaching and Linguistic Studies.* Volume 5 No.1., pp. 608-617.
3. Dadajonova, M. F., & Karimjonova, S. R. (2025). *The future of language teaching: Prospects and challenges in the era of globalization. Ustozlar Uchun, 71*(2), 266-270.
4. Inomjonov, A. (2025). *Impact of globalization in ELT. University Research Base,* 134-139.
5. Mahesh Kumar, A. A., & Hari Kumar, B. (2019). *Globalization of English. Journal of English Language Teaching* 61 (4), pp. 28-31.

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN LINGUISTICS AND LANGUAGE CHANGE

Associate Professor Narmina Aliyeva
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
0009-0004-1095-9888

Aysel Soltanova
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
asoltanova@beu.edu.az
0000-0002-2292-8569

Abstract: The rapid advancement of Artificial Intelligence (AI), particularly Large Language Models (LLMs), has fundamentally altered the landscape of linguistic research and the nature of human communication. This paper explores the dual role of AI as both a sophisticated tool for linguistic analysis and a primary driver of contemporary language change. By examining the evolution of Natural Language Processing (NLP) and its application in diachronic linguistics, we demonstrate how AI enables the processing of massive corpora to identify subtle shifts in syntax and semantics. Furthermore, we analyze the impact of AI-mediated communication (AIC) on sociolinguistic norms, arguing that algorithmic suggestions and automated translation are fostering a new era of linguistic homogenization and "AI-lects." The paper concludes by discussing the ethical implications of algorithmic bias and the necessity of an interdisciplinary approach to understand the co-evolution of humans and AI in the linguistic domain.
Keywords: Artificial intelligence, linguistics, language change, natural language processing, sociolinguistics, large language models

I. INTRODUCTION

The intersection of linguistics and technology has a long history, dating back to the early days of computational linguistics in the 1950s [1], [2]. During this period, Alan Turing's seminal work proposed that a computer's ability to use language would be a key indicator of artificial intelligence [3]. However, the current era, defined by the ubiquity of Large Language Models (LLMs), represents a paradigm shift [4]. AI is no longer merely a tool for automating repetitive tasks; it has become an active participant in the creation, transformation, and analysis of human language [5]. As AI systems like GPT-4, Claude, and Gemini become integrated into daily communication through predictive text, automated translation, and generative writing, they are beginning to influence the very structures of the languages they model [6].

This paper aims to provide a comprehensive overview of the role of AI in linguistics and language change. We argue that AI serves a dual function: first, as a powerful analytical engine that allows linguists to track language evolution with unprecedented precision [7]; and second, as a catalyst for linguistic change that is reshaping human communication in real-time [8]. By bridging the gap between computational linguistics and sociolinguistics, we explore how AI-driven tools are not only reflecting language but also actively directing its future trajectory [9].

II. AI AS A TOOL FOR LINGUISTIC ANALYSIS

The application of AI in linguistics has evolved from simple rule-based systems to complex neural networks capable of understanding context and nuance [10]. This section details the various ways AI is currently being utilized to advance linguistic research.

A. Natural Language Processing and Corpus Linguistics

Modern linguistics relies heavily on corpus data—large collections of written or spoken text [11]. AI has revolutionized corpus linguistics by enabling the analysis of "Big Data" that would be impossible for human researchers to process manually [12]. Natural Language Processing (NLP) techniques, such as part-of-speech tagging, named entity recognition, and dependency parsing, allow for the automated extraction of linguistic patterns across billions of words [13]. Recent advancements in transformer-based models have further enhanced this capability, allowing researchers to capture long-range dependencies and semantic relationships [14].

B. Phonetics, Phonology, and Speech Technology

In the realm of phonetics and phonology, AI has significantly improved speech recognition and synthesis [15]. Deep learning models can now identify subtle phonetic variations across different dialects and accents

with high accuracy [16]. This technology is particularly useful for documenting endangered languages, where AI can assist in transcribing oral traditions and preserving phonetic nuances that might otherwise be lost [17]. Furthermore, AI-driven speech synthesis has reached a level of naturalness that supports revitalization efforts by creating high-quality educational materials in minority languages [18].

C. Syntax and Semantics in the Age of LLMs

The ability of LLMs to generate grammatically correct and semantically coherent text has sparked a debate about the nature of linguistic competence [19]. While some argue that these models are merely "stochastic parrots" that lack true understanding [20], others suggest they provide valuable insights into the underlying structures of human language [21]. By analyzing the "errors" or biases in AI-generated text, linguists can gain a better understanding of the statistical properties of syntax and the ways in which meaning is constructed in different contexts [22].

D. Computational Models of Language Acquisition

AI has also provided new avenues for studying how humans acquire language [23]. By building computational models that simulate the learning process, researchers can test different theories of language acquisition, such as the role of statistical learning versus innate linguistic knowledge [24]. These models allow linguists to explore the complex interplay between nature and nurture in language development and to identify the specific cognitive mechanisms that enable humans to learn language so efficiently [25].

E. Sentiment Analysis and Pragmatics

Another area where AI has made significant contributions is in the study of sentiment analysis and pragmatics [26]. AI models can now identify the emotional tone of a text, as well as the speaker's intent and the social context in which the language is used [27]. This is particularly useful for studying how language is used in digital communication, where social cues are often subtle and context-dependent [28]. By analyzing large datasets of social media posts, linguists can identify trends in how people express their emotions and how these expressions vary across different cultures and speech communities [29].

III. AI AND HISTORICAL LINGUISTICS: TRACKING LANGUAGE CHANGE

Historical linguistics has been profoundly impacted by the integration of AI [30]. Traditionally, this field relied on the manual comparison of texts and the reconstruction of proto-languages. AI has introduced new methodologies that allow for more comprehensive and data-driven diachronic analysis [31].

A. Diachronic Analysis and Lexical Semantic Change

One of the most significant applications of AI in historical linguistics is the detection of lexical semantic change (LSC) [32]. By training word embedding models on corpora from different time periods, researchers can track how the meaning of a word shifts over decades or centuries [33]. Recent studies have utilized transformer-based models like BERT to capture context-dependent semantic changes, providing a more nuanced view of how meanings evolve [34].

B. Phylogenetic Trees and Proto-Language Reconstruction

AI has also been used to automate the construction of phylogenetic trees, which represent the evolutionary relationships between languages [35]. Machine learning algorithms can analyze large datasets of cognates to infer the most likely branching patterns of language families [36]. Furthermore, AI is being used to assist in the reconstruction of proto-languages by training models on the phonetic and morphological patterns of descendant languages [37].

C. AI and the Study of Ancient Languages

AI has also been used to study ancient languages, such as Latin, Greek, and Sanskrit [38]. By training models on large corpora of ancient texts, researchers can identify patterns in the use of words and structures that were previously invisible [39]. This research provides valuable insights into the history and culture of ancient civilizations and the ways in which language has evolved over thousands of years [40].

D. The Use of AI in Comparative Linguistics

AI has also been used to automate the comparison of languages, a process known as comparative linguistics. By training models on large datasets of cognates, researchers can identify patterns in the evolution of words and structures across different language families . This research provides valuable insights into the relationships between languages and the ways in which they have evolved over time .

IV. AI AS A DRIVER OF LANGUAGE CHANGE

While AI is a powerful tool for analyzing language change, it is also increasingly becoming a primary driver of that change [41]. The integration of AI into daily communication is altering the way humans interact with language and with each other [42].

A. AI-Mediated Communication (AIC)

AI-mediated communication (AIC) refers to any form of human-to-human communication where an AI agent is involved in the creation or modification of the message [43]. Research has shown that the use of algorithmic responses changes language and social relationships, often increasing communication speed and the use of positive language . However, this can also lead to a "flattening" of language, where unique personal styles are replaced by standardized, AI-generated norms .

B. Linguistic Homogenization and "AI-lects"

The widespread use of AI-driven translation and writing tools is contributing to a process of linguistic homogenization [9]. As these tools are often trained on large, standardized corpora, they tend to promote a particular variety of language that may not reflect the diversity of human speech. This can lead to the emergence of "AI-lects"—varieties of language that are heavily influenced by the patterns and biases of AI models .

C. Impact on Endangered Languages

The role of AI in the context of endangered languages is complex . On one hand, AI offers powerful tools for documentation and revitalization . On the other hand, the "digital divide" means that many endangered languages lack the large datasets required to train effective AI models, which can lead to "digital extinction" [17].

D. The Role of AI in Language Standardization and Policy

The widespread use of AI-driven writing and translation tools is also influencing language standardization and policy. Governments and international organizations are beginning to develop policies to address the impact of AI on language, such as the use of AI in education and the promotion of linguistic diversity in the digital age [44].

E. AI and the Future of Linguistic Diversity

The future of linguistic diversity in the age of AI is uncertain. To ensure a more equitable and diverse linguistic landscape, it is essential for linguists, computer scientists, and policymakers to work together to develop more inclusive and representative AI models .

V. ETHICAL AND THEORETICAL IMPLICATIONS

The integration of AI into linguistics raises several ethical and theoretical questions. These implications must be carefully considered as we move forward in the age of AI-driven communication.

A. The "Black Box" Problem and Algorithmic Bias

One of the primary challenges in using AI for linguistic analysis is the "black box" problem. Many modern AI models are highly complex and difficult to interpret, which can lead to biased results that reflect existing social and linguistic prejudices.

B. The Shift from Descriptive to Algorithmic Linguistics

The rise of AI is also leading to a shift in the way linguistics is practiced, introducing a more "algorithmic" approach to the field. This shift has profound implications for our understanding of linguistic competence and the nature of language itself.

C. The Impact of AI on Language Education and Policy

The widespread use of AI-driven writing and translation tools is also influencing language education and policy. These policies are essential for ensuring that AI technology is used in a way that supports the preservation and revitalization of all languages.

D. The Future of AI and Linguistics

The future of AI and linguistics is uncertain. By prioritizing linguistic diversity in the development and deployment of AI technology, we can ensure that all languages have a place in the digital age.

VI. CONCLUSION

The role of AI in linguistics and language change is multifaceted and rapidly evolving. As a tool for analysis, AI offers unprecedented opportunities for tracking language evolution. As a driver of change, AI is reshaping human communication in real-time. To navigate this complex landscape, it is essential for linguists, computer scientists, and ethicists to collaborate in the development of more transparent, equitable, and interdisciplinary approaches to the study of language in the age of AI.

REFERENCES

[1] J. Martin-Nielsen, "Computers and Linguistics in Early Cold War America," in Linguistics and the Third Reich, 2013.
[2] G. Hirst, "Computational Linguistics," in The Handbook of Linguistics, chapter 32, REVISES, 15/12/2012, SPi2013.
[3] A. Turing, "Computing Machinery and Intelligence," Mind, vol. 59, no. 236, pp. 433-460, 1950.
[4] S. H. Sain, "AI Transformations in Language Acquisition and Linguistic Research," Indiana Publications, vol. 5, no. 12, pp. 49-53, 2024.
[5] H. Kelly-Holmes, "Artificial intelligence and the future of our sociolinguistic work," Journal of Sociolinguistics, vol. 28, no. 1, pp. 1-15, 2024.
[6] Z. Khan, "The Linguistic Impact of Artificial Intelligence on Human Communication," JALT, 2026.
[7] J. M. List, "Open Problems in Computational Historical Linguistics," PMC, 2024.

[8] K. Sussman and D. Carter, "Detecting Effects of AI-Mediated Communication on Language Complexity and Sentiment, Cornell University ACM Web Conf paper, 2025.
[9] A.Fatima, S.Akmal, Z.Ali "AI and Linguistic Norms: A Critical Review in the age of conversational technologies, İnternational Premier Journal of Language and Literature,Vol.3, no.1" ResearchGate, 2025.(PDF) AI AND LINGUISTIC NORMS: A CRITICAL REVIEW OF LANGUAGE CHANGE IN THE AGE OF CONVERSATIONAL TECHNOLOGIES
[10] K. Church, "The Future of Computational Linguistics: On Beyond Alchemy," Frontiers in Artificial Intelligence, vol. 4, 2021.frai-04-625341.pdf
[11] D. Biber, S.Conrad,R.Reppen et al., Corpus Linguistics: Investigating Language Structure and Use, Cambridge University Press, Apr 231998.
[12] K.Lee "Generative AI in corpus linguistics: A synthesis," Sydney Corpus Lab, November 4, 2025.Generative AI in corpus linguistics: A synthesis – Sydney Corpus Lab
[13] C. D. Manning and H. Schütze, Foundations of Statistical Natural Language Processing, The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England,1999
[14] , A.Vaswani, N.Shazeer, N.Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, Ł. Kaiser, I. Polosukhin"Attention is All You Need," Advances in Neural Information Processing Systems, Long Beach California USA December 4 - 9, 2017 2017. Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems | Guide Proceedings
[15] D. Amodei et al., "Deep Speech 2: End-to-End Speech Recognition in English and Mandarin," ICML, 2016.[1512.02595] Deep Speech 2: End-to-End Speech Recognition in English and Mandarin
[16] Celeste Rodriguez Louro"In a world of AI text, speech still reigns supreme," UWA, 2026.In a world of AI text, speech still reigns supreme
[17] "AI's role in preserving endangered languages," Historica, 2025.AI's role in preserving endangered languages
[18] "AI for Language and Cultural Preservation," Bowdoin Science Journal, 2025.
[19] N. Chomsky, Syntactic Structures, Mouton. Co. London-the Hague-Paris, 1957.
[20] E. M. Bender et al., "On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big?," FAccT, 2021.On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big? : Emily M. Bender; Timnit Gebru; Angelina McMillan-Major; Shmargaret Shmitchell : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive
[21] "Large Language Models on Lexical Semantic Change Detection," arXiv, 2023.[2312.06002] Large Language Models on Lexical Semantic Change Detection: An Evaluation
[22] "Linguistic and dialectal bias in large language models," AHR, 2025.Linguistic and dialectal bias in large language models: a review of evidence, mechanisms, and implications (2018–2025)
[23] B. F. Skinner, Verbal Behavior, Skinner for the 21st Century, The B. F. Skinner Foundation, Cambridge, Massachusetts,1957.
[24] Raquel G. Alhama and Afra Alishahi,"Computational Models of Language Acquisition," Stanford Encyclopedia of Philosophy, Apr.28,2025. Computational Models of Language Learning · Open Encyclopedia of Cognitive Science
[25] M.Saarela, S. Gunasekara, P.Kumarage "A meta-analysis of generative AI effects on language proficiency," Springer, vol.29,no.116, 24 Feb. 2026.A meta-analysis of generative AI effects on language proficiency and affective–cognitive outcomes in language learning | Discover Computing | Springer Nature Link
[26] B. Pang and L. Lee, "Opinion Mining and Sentiment Analysis," Foundations and Trends in Information Retrieval, 2008.Opinion Mining and Sentiment Analysis | Foundations and Trends in Information Retrieval
[27] S. Mohammad, "Sentiment Analysis: Detecting Valence, Emotions, and Other Affective States," Emotion Measurement 2015.emotion-survey.pdf
[28] S.Algouzi, AA.F.Alzubi"The study of AI-mediated communication and socio-cultural language-related variables," Taylor & Francis, Volume 37, 2023 - Issue 1, 07 Feb 2023.Full article: The Study of AI-Mediated Communication and Socio-Cultural Language-Related Variables: Gmail Reply Suggestions
[29] K. Sussman,D.Carter "Detecting Effects of AI-Mediated Communication on Language Complexity," ACM, 2025.(PDF) Detecting Effects of AI-Mediated Communication on Language Complexity and Sentiment
[30] J. M. M. Arista and A. E. O. López, "Grammatical Theory, Language Processing and Databases in Historical Linguistics," Brill, 2025.
[31] Ms. Aditi Patil ,"Leveraging AI for Historical Linguistics,"International Journal for Multidisciplinary Research IJFMR, Volume 6, Issue 2, March-April 2024.16926.pdf
[32] F. Periti and S. Montanelli, "Lexical semantic change through large language models: a survey," ACM Computing Surveys, 2024.
[33] "Modeling Semantic Change through Large Language Models," Tesi Dottorato, 2024.
[34] T.Hagen"Lexical Semantic Change Annotation with Large Language Models," ACL Anthology, 2025.Lexical Semantic Change Annotation with Large Language Models - ACL Anthology
[35] R. D. Gray and Q. D. Atkinson, "Language-tree divergence times support the Anatolian theory of Indo-European origin," Nature, 2003.Language-tree divergence times support the Anatolian theory of Indo-European origin - PubMed
[36] O.Alaglobi, A.Alduais, F.Qasem, M.Alasmari "AI in comparative linguistics," Cogent Arts and humanities, Taylor Francis, vol.11,issue 1,2025.Full article: Artificial intelligence in applied (linguistics): a content analysis and future prospects
[37] A. Bouchard-Côtéa,1, D. Hallb, T. L. Griffithsc, and Dan Kleinb"Automated reconstruction of ancient languages," vol. 110, no. 11,PNAS, March 12, 2013.Automated reconstruction of ancient languages using probabilistic models of sound change
[38] Y. Assael et al., "Contextualizing ancient texts with generative neural networks," Nature, 2025.Contextualizing ancient texts with generative neural networks - ORA - Oxford University Research Archive
[39] "Schmidt Sciences awards $11M in grants to bring AI to humanities," Schmidt Sciences, 2025.Schmidt Sciences awards $11M in grants to bring AI to humanities research - Schmidt Sciences
[40] S.Bertram,Z.Weiss,L.Zachrich, R.Ziai"AI in history education," ScienceDirect, 2021.Artificial intelligence in history education. Linguistic content and complexity analyses of student writings in the CAHisT project (Computational assessment of historical thinking) - ScienceDirect
[41] G. Szabó, "The invisible author: Citizen sociolinguistic perspectives on AI-mediated communication," Scientific Reports, 2023.
[42] J. T. Hancock et al., "AI-mediated communication: Definition, research agenda, and ethical considerations," Journal of Computer-Mediated Communication, 2020.
[43] "How Does AI Change Communication?," *Journal of Language and Social Psychology*, 2025.
[44] Georgios P. Georgiou"Envisioning the Futures of Language Education in the Era of Artificial Intelligence," Journal of future studies, 2025.Envisioning the Futures of Language Education in the Era of Artificial Intelligence * Journal of Futures Studies



PEDAQOQİKA VƏ METODİKA

ANALYZING THE FLIPPED CLASSROOM MODEL WITH VIDEO LECTURES THROUGH STUDENT PERFORMANCE AND ENGAGEMENT IN PAKISTANI UNIVERSITIES

Dr. Ruqiya Anwar
Department of Media and Communication Studies
National University of Modern Languages (NUML), Rawalpindi, Pakistan
ruqiya.anwar@numl.edu.pk

ABSTRACT

This research paper analyzes the effectiveness of the flipped classroom methodology in the use of pre recordings of video lectures versus the use of traditional lecture based instruction in Pakistani higher education. The study explores student performance, level of engagement and their attitude to video-based learning through a six-month comparative analysis of 100 undergraduate students. Based on the semi-structured interviews with students and teachers, this research will cover those issues of infrastructure peculiar to the educational situation in Pakistan such as the internet connection, the access to computers, and the cultural aspects. The findings demonstrate the existence of great differences in the student engagement and learning outcomes, giving evidence based suggestions to introduce technology-enhanced pedagogy in the resource-constrained settings. The study helps to learn how pedagogical strategies can be effective in the context of developing countries in order to be digitally transformed.

Keywords: *Pedagogy, Flipped classroom, video lectures, student engagement, Pakistani higher education, pedagogical innovation, educational technology*

INTRODUCTION

The rapid integration of technology in education has prompted educators globally to explore innovative pedagogical approaches that enhance student learning outcomes. One of the models that received significant attention during recent years is the so-called flipped classroom model that reverses the traditional teaching concept by providing pre-recorded videos to watch them at home and spending the classroom time on the interactive process (Bergmann & Sams, 2012). Nevertheless, the viability of this method within the context of developing countries especially Pakistan is under-researched even though distinct infrastructural and cultural issues define the educational environment of the area.

Pakistani institutions of higher learning have continued to experience the following challenges; high classrooms, scarcity of resources and conventional teacher-centred pedagogies that in most cases do not favour active student interaction (Hoodbhoy, 2009). The implementation of the technology based learning approach has got prospects and challenges. Although digital tools can be utilized to revolutionize the process of education delivery, such practical challenges as the inability to access the internet, load shedding (planned power outages), the lack of access to devices, and cultural values of received instructions should be taken into account (Khan and Qureshi, 2020).

Past studies regarding the use of flipped classroom have been largely biased towards Western educational settings, which show positive student performance, participation and better critical thinking abilities (Bishop&Verleger, 2013; O'Flaherty&Phillips, 2015). Nevertheless, the relevance of these results to the Pakistani educational setting needs to be proved empirically. This paper fills this gap by systematically comparing the flipped classroom learning approach that incorporates video lectures with that of conventional lecture-based learning in Pakistani higher learning institutions.

The research objectives includes (1) to compare academic performance of the students in the flipped and traditional classroom models within six month period; (2) to compare the level of student engagement in both classroom models; (3) to explore the student and instructor views on video-based classroom in the context of Pakistani higher education sector. This paper has used mixed-methods comparative design, which combines quantitative measures of performance with qualitative studies of interviews as a means of acquiring comprehensive data on the effectiveness and feasibility of flipped classroom implementation in Pakistani universities.

RESEARCH METHODOLOGY

The mixed-method comparative research design used in this study will last six months (February-July 2025) in two Universities in Punjab, Pakistan, one being a public and the other a private one. The study involved two groups of undergraduate students who took an Introductory course in Educational Psychology, one control group where students were given traditional lecture-based study and an

experimental group where students received the flipped classroom teaching approach using pre-recorded lectures on video.

Participants: The target population consisted of 100 second-year undergraduate students (50 in both groups) who were chosen by using purposive sampling in order to have similar academic backgrounds. The criteria that were used to select the participants were a close range of prior GPAs (2.5-3.5), having fundamental access to smartphones or laptops, and the readiness to be involved over the six-month period. The participants were 58 girls and 42 boys, which represents the normal gender distribution in Pakistani social science courses. Moreover, 15 of them were invited to take part in the deep interviews: 10 students (5 representatives of each group) and 5 instructors who used the corresponding teaching techniques.

Semi structured interviews were used as the main mode of qualitative data collection. The interview protocols were designed based on the requirements of the development of educational research (Creswell and Creswell, 2018). The interviews with students were held in three parts (first, middle and final), take up 30-45 minutes, and addressed the experiences of learning, technological difficulties, perception of engagement, and preferences during the pedagogy. The difference between teachers was explored through instructor interviews (45-60 minutes) to discuss the differences in pedagogy, the difficulties in implementation, and the viability checks. All the interviews were conducted in the preferred language of the participants (Urdu or English) and were audio-recorded with the consent of the analyzed participants and transcribed professionally.

The interview questions covered the contextual aspects of Pakistan such as the reliability of internet connectivity, the availability of electricity during the time of load shedding, family dynamics in relation to the time spent studying at home, preference to language as an instructional tool, and the culture of self-directed learning. This contextual emphasis gave the study an edge over the Western dominated flipped classroom studies.

The control group was given three hours of weekly face to face lectures and the normal homework. The experimental group viewed pre-recorded video lectures of 30-45 minutes at home (3-4 parts), and the classroom time was spent on question-answer, group discussions, problem-solving activities, and those based on application. The videos were presented through YouTube (unlisted), Google drive, and the university learning management system, and the students with connectivity problems were offered the possibility to download the videos. All videos contained English lessons as well as Urdu descriptions of complicated terms, which covered the issue of language accessibility.

Data Analysis consisted of Independent t-tests and repeated measures ANOVA were used to compare performance differences among groups at various points in time by using quantitative data such as test scores, quiz results and attendance records. Thematic data analysis was conducted on the qualitative interviews data in accordance with the 6 step model of Braun and Clarke (2006). The coding of transcripts was done using inductive coding that was used to identify the common themes involving learning experiences, challenges, benefits and implementation obstacles. Quantitative and qualitative findings were combined, which allowed fully triangulating results (Creswell & Plano Clark, 2018).

Table 1. Comparative performance and engagement metrics

Data Type	Control Group	Experimental Group
Pre-test Score	68.4 ± 8.2	67.9 ± 7.8
Post-test Score	71.2 ± 9.1	78.6 ± 8.4
Attendance %	78.3%	89.7%

FINDINGS AND DISCUSSION

The quantitative data analysis showed statistically significant difference in the post-test scores between the groups ($t = 3.42$, $p < 0.01$) where the experimental group exhibited a higher academic performance. But the qualitative interview data were found to be invaluable in terms of contextual knowledge on these outcome giving a picture of benefits as well as challenges of flipped classroom implementation in Pakistan.

The interviewees in the experimental group also said every time that they engaged more with course content. One student said: Watching lectures in my time was a good method as I got to learn the hard stuff. I had the opportunity to view parts that I was not immediately understanding. This observation is in tandem with the self-regulated learning theory, which implies that the ability to control the pace of learning increases the understanding (Zimmerman, 2002). Nonetheless, some of the students reported early challenges in getting used to self-directed learning, which were linked to cultural biases toward teacher-centered teaching, which is common in Pakistani education (Mansoor, 2021).

Context-specific barriers in Pakistan appeared to be important themes. Around 40% of the participants of the experimental group stated difficulties in connection to the internet that were related to the inability to see the videos. One of those said: "I could not watch videos during the load shedding hours as the internet does not work when there is no electricity. This underscores the importance of the offline content delivery mechanisms in the developing countries set ups. This issue was somewhat addressed by the availability of downloadable videos and yet students who had limited data packages had difficulty accessing it.

Teachers who used the flipped model stated that they could be able to meet the individual requirements of learning in the classroom. Among the instructors, the idea was: instead of hurrying with the delivery of the content, I will be able to concentrate on challenges of students and promote effective discussions. Nevertheless, the teachers also admitted significant time spend on the video preparation in the beginning and the necessity to support such a strategy on an institutional level (Al-Samarrai, 2019).

The bilingual method (English learning with Urdu clarification) also met a good response, and the students liked linguistic flexibility. Cultural aspects of the gender relations in group work and family influences on time spent studying at home as the people expected the related studies came out as an important aspect that needed proper pedagogical planning.

CONCLUSION

This study provides empirical evidence supporting the effectiveness of flipped classroom methodology with video lectures in Pakistani higher education, while simultaneously highlighting context-specific implementation challenges. The level of academic performance and engagement in the experimental group was better than in the traditional lecture-based teaching, which proves the importance of the given approach in the field of pedagogy. Nevertheless, to implement it successfully, it is necessary to overcome such infrastructure barriers as internet access, power supply, and access to the device.

The data obtained through the qualitative interview showed that the views of students and teachers towards video-based flipped learning are mostly positive, especially in terms of flexibility, self-directed learning, and improved classroom interaction. However, cultural adaptation is a necessity, such as content delivery in more than one language, cultural sensitivity to conventional learning styles, and awareness of family-prominent aspects of household learning patterns.

The suggestions to Pakistani universities would be: to build strong offline content delivery systems, to build infrastructure to support technical support, designing pedagogical systems that are culturally sensitive and providing institutional policies to encourage faculty time investment in the digital content development. Future study ought to investigate the effect of retention in the long-term, and the generalizability of the method to other subjects and the cost-effectiveness of a flipped classroom adoption in a low-resource setting.

This study contribute to the small body of literature on technology-supported pedagogy in developing nations setting, proving that, though flipped classrooms provide profound educational opportunities, it is necessary to pay careful attention to the specifics of local infrastructure, cultural customs, and institutional abilities to be successful in the adoption process. The results justify optimistically objective, but contextually-based practices of educational technology implementation in Pakistani higher education.

REFERENCES

Al-Samarrai, S. (2019). Assessing basic education service delivery in Pakistan: The PETS-QSDS framework. World Bank Publications.

Bergmann, J., & Sams, A. (2012). Flip your classroom: Reach every student in every class every day. International Society for Technology in Education.

Bishop, J. L., & Verleger, M. A. (2013). The flipped classroom: A survey of the research. 120th ASEE Annual Conference & Exposition, 30(9), 1-18.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77-101.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (5th ed.). SAGE Publications.

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3rd ed.). SAGE Publications.

Hoodbhoy, P. (2009). Pakistan's higher education system: What went wrong and how to fix it. The Pakistan Development Review, 48(4), 581-594.

Khan, M. A., & Qureshi, M. I. (2020). Digital divide and educational inequality in Pakistan: The role of ICT in education. Journal of Educational Technology Systems, 49(2), 270-288.

Mansoor, S. (2021). Traditional versus progressive pedagogy: Perspectives from Pakistan. International Journal of Educational Development, 81, 102347.

O'Flaherty, J., & Phillips, C. (2015). The use of flipped classrooms in higher education: A scoping review. The Internet and Higher Education, 25, 85-95.

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. Theory Into Practice, 41(2), 64-70.

İNKLÜZİV SİNİFLƏRDƏ TƏLİMİN FƏRDİLƏŞDİRİLMƏSİ: MÜƏLLİMLƏRİN PEDAQOJİ HAZIRLIQ SƏVİYYƏSİNİN TƏDQİQİ VƏ İNKİŞAFI YOLLARI

Türkan Qurban qızı Qurbanova
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin
Xüsusi təhsil kafedrasının müəllimi
E-mai: turkan.qurbanova@adpu.edu.az
Orcid ID: 0009-0009-2661-6667
Əlaqə nömrəsi : +994515095885

Xülasə: Müasir təhsil paradiqmasında inklüzivlik artıq sadəcə bir seçim deyil, fundamental insan hüququ və dövlət təhsil siyasətinin prioritet istiqamətidir. Lakin inklüziv təhsilin uğuru yalnız qanunvericilik bazası və infrastrukturla deyil, birbaşa sinif mühitində tətbiq olunan pedaqoji strategiyaların effektivliyi ilə ölçülür. Bu məqalədə inklüziv təhsil mühitində təlimin fərdiləşdirilməsi mexanizmləri və bu mürəkkəb prosesdə müəllim faktorunun həlledici rolu kompleks şəkildə araşdırılır**.** Tədqiqatın əsas məqsədi müəllimlərin inklüziv kompetensiyalarının mövcud vəziyyətini, onların fərdiləşdirilmiş təlim metodlarına dair nəzəri və praktiki hazırlıq səviyyəsini qiymətləndirməkdir. Tədqiqatın obyektini inklüziv siniflərdə tədris prosesinin təşkili, predmetini isə müəllimlərin bu prosesdə tətbiq etdiyi differensiallaşdırılmış təlim metodikaları təşkil edir.
Açar sözlər: inklüziv təhsil, fərdiləşdirilmiş təlim, müəllim kompetensiyası, differensiallaşdırılmış təlim, pedaqoji hazırlıq, Fərdi Təhsil Planı (FTP), peşəkar inkişaf.
Abstract: In the modern educational paradigm, inclusivity is no longer merely an option but a fundamental human right and a priority direction of national educational policy. However, the success of inclusive education is measured not only by the legislative framework and infrastructure but primarily by the effectiveness of pedagogical strategies implemented directly within the classroom environment. This paper provides a comprehensive investigation into the mechanisms of individualized instruction within inclusive education settings and the decisive role of the teacher factor in this complex process. The primary objective of the research is to assess the current state of teachers' inclusive competencies, specifically their theoretical and practical readiness regarding individualized teaching methods. The object of the study is the organization of the teaching process in inclusive classrooms, while the subject involves the differentiated teaching methodologies applied by teachers during this process.
Keywords: inclusive education, individualized learning, teacher competency, differentiated instruction, pedagogical readiness, Individual Education Plan (IEP), professional development.

I. GİRİŞ

Müasir dövrdə təhsil sisteminin qarşısında duran ən mühüm vəzifələrdən biri hər bir uşağın, xüsusilə də xüsusi qayğıya ehtiyacı olan şagirdlərin keyfiyyətli təhsilə çıxışını təmin etməkdir. İnklüziv təhsil yalnız fiziki əlçatanlıq deyil, həm də təlim prosesinin hər bir fərdin ehtiyacına uyğun qurulmasıdır. Lakin təcrübə göstərir ki, məktəblərin texniki təchizatı artsa da, müəllimlərin "pedaqoji inklüzivliyi" eyni tempdə inkişaf etmir.Qlobal təhsil strategiyalarının əsas hədəfi "heç bir uşağı kənarda qoymamaq" (No Child Left Behind) prinsipidir. Təhsil sisteminin qarşısında duran ən mühüm vəzifələrdən biri hər bir uşağın, xüsusilə də fiziki, sensor və ya intellektual xüsusiyyətlərindən asılı olmayaraq xüsusi qayğıya ehtiyacı olan şagirdlərin keyfiyyətli təhsilə çıxışını təmin etməkdir. İnklüziv təhsil yalnız fiziki əlçatanlıq (pandusların qurulması, infrastrukturun adaptasiyası) deyil, həm də təlim prosesinin hər bir fərdin spesifik ehtiyacına, öyrənmə sürətinə və qavrayış tərzinə uyğun qurulmasıdır. Azərbaycan Respublikasında "2018–2024-cü illərdə Azərbaycan Respublikasında sağlamlıq imkanları məhdud şəxslər üçün inklüziv təhsilin inkişafı üzrə Dövlət Proqramı"nın qəbul edilməsi bu sahənin dövlət siyasətinin prioritet istiqaməti olduğunu təsdiqləyir.Təcrübə göstərir ki, məktəblərin maddi-texniki bazasının gücləndirilməsi və assistiv texnologiyaların tətbiqi təkbaşına inklüzivliyin uğurunu təmin etmir. Əksər hallarda texniki təchizat artsa da, müəllimlərin "pedaqoji inklüzivliyi" və ya inklüziv kompetensiyaları eyni tempdə inkişaf etmir. Bu disbalans inklüziv siniflərdə tədrisin keyfiyyətinə mənfi təsir göstərir. Müəllim sinifdə həm standart kurikulumun tələblərini yerinə yetirməli, həm də xüsusi ehtiyacı olan şagird üçün fərdi təlim trayektoriyası cızmalıdır. Bu vəziyyət müəllimdə peşəkar tükənmişlik yaradır və şagirdin təhsil prosesindən təcrid olunmasına gətirib çıxarır. Mövcud pedaqoji yanaşmaların çoxu "orta statistik şagird" üçün nəzərdə tutulduğundan, müəllim xüsusi ehtiyaclı şagirdə hansı metodla yanaşacağını, qiymətləndirməni necə

apacağını və tapşırıqları necə adaptasiya edəcəyini müəyyən etməkdə çətinlik çəkir. Bu ziddiyyəti aradan qaldırmaq üçün müəllimin pedaqoji hazırlığı və təlimin fərdiləşdirilməsi metodikasına yiyələnməsi həlledici faktordur. Məqsəd müəllimə yalnız nəzəri bilik vermək deyil, həm də inklüziv sinif şəraitində praktiki fəaliyyət üçün effektiv metodik alətlər təqdim etməkdir.

Təlimin fərdiləşdirilməsi (individualization) pedaqoji ədəbiyyatda çox vaxt differensiallaşma (differentiation) anlayışı ilə eyniləşdirilsə də, onların arasında mühüm konseptual fərqlər mövcuddur. Diferensiallaşma – müəllimin eyni təlim məqsədinə çatmaq üçün sinifdəki müxtəlif qruplara fərqli metodlar, tapşırıqlar və materiallar təqdim etməsidir. Burada mərkəzdə müəllim və onun strategiyası dayanır. Fərdiləşdirmə isə daha dərindən yanaşma tələb edir: burada təlim prosesi birbaşa şagirdin fərdi öyrənmə sürətinə, xüsusi maraqlarına və fərdi inkişaf ehtiyaclarına fokuslanır. İnklüziv təhsilin uğuru məhz bu iki yanaşmanın sintezindən asılıdır. Müəllim sinif üçün dərsi differensiallaşdırmalı, xüsusi qayğıya ehtiyacı olan şagird üçün isə prosesi fərdiləşdirməlidir.İnklüziv sinifdə müəllim hazırlığının ən vacib komponentlərindən biri şagirdlərin intellektual müxtəlifliyini qəbul etməkdir. Hovard Qardnerin "Çoxşaxəli İntellekt" nəzəriyyəsi sübut edir ki, insanın intellekti vahid ölçü vahidi (İQ) ilə məhdudlaşmır.İnklüziv mühitdə müəllim başa düşməlidir ki, nitq və ya eşitmə məhdudiyyəti olan bir şagird məkan-vizual və ya bədən-kinestetik intellekt baxımından çox yüksək potensiala malik ola bilər. Məsələn, autizm spektr pozuntulu uşaqlar çox vaxt vizual detallaşdırma və riyazi-məntiqi sahədə unikal qabiliyyət nümayiş etdirirlər. Fərdiləşdirmə prosesi məhz bu intellekt tiplərinin diaqnostikasından başlayır. Müəllim şagirdin "zəif" tərəfinə deyil, onun güclü intellekt tipinə söykənərək təlimi qurmalıdır.Pedaqoji hazırlığın fundamental əsasını Lev Vıqotskinin "Yaxın İnkişaf Zonası" (Zone of Proximal Development - ZPD) nəzəriyyəsi təşkil edir. Bu nəzəriyyəyə görə, təlim şagirdin artıq bacardığı sahədə deyil, yalnız böyüklərin köməyi və ya həmyaşıdları ilə əməkdaşlıq çərçivəsində bacara biləcəyi "yaxın zona"da effektiv olur.

İnklüziv sinifdə müəllimin əsas vəzifəsi şagirdin cari inkişaf səviyyəsi ilə potensial səviyyəsi arasındakı bu məsafəni dəqiq müəyyən etməkdir. Bu prosesdə "skafholdinq" (scaffolding – dəstək pillələri) texnikası tətbiq olunur. Skafholdinq, şagirdin çətinlik çəkdiyi tapşırığı yerinə yetirə bilməsi üçün müvəqqəti olaraq verilən köməkçi vasitələrdir (məsələn, vizual ipucları, yarımçıq cümlə modelləri, addımlı təlimatlar). Şagird müstəqilləşdikcə bu "pillələr" tədricən yığışdırılır. Pedaqoji hazırlığı yüksək olan müəllim hər bir şagird üçün bu dəstək strukturunu fərdi şəkildə dizayn etməyi bacarmalıdır.Müasir inklüziv pedaqogika həm də "Universal Dizayn Öyrənmə" (Universal Design for Learning) çərçivəsinə söykənir. Bu nəzəriyyə tələb edir ki, təlim mühiti əvvəlcədən bütün şagirdlər üçün əlçatan planlaşdırılsın. Bu, üç əsas prinsipi əhatə edir:

1. İnformasiyanın təqdim edilməsinin müxtəlif yolları: Mətnin audio, video və ya toxunma (Brayl) vasitəsilə təqdimi.
2. Fəaliyyət və özünüifadənin müxtəlif yolları: Şagirdin biliyini təkcə yazı ilə deyil, rəsm, jest və ya rəqəmsal alətlərlə göstərməsi.
3. Cəlb olunmanın müxtəlif yolları: Şagirdin motivasiyasını artırmaq üçün oyunlaşdırma və ya real həyatla bağlı layihələrdən istifadə.

Bu nəzəri bazaya yiyələnmək müəllimə imkan verir ki, o, inklüziv sinfi idarəolunmaz bir çətinlik kimi deyil, metodik baxımdan zəngin bir pedaqoji mühit kimi dəyərləndirsin.

II. MÜƏLLİMLƏRİN PEDAQOJİ HAZIRLIQ MEYARLARI

İnklüziv təhsilin uğuru müəllimin subyektiv yanaşmasından çox, onun spesifik kompetensiyalara sahib olmasından asılıdır. Müəllimin inklüziv hazırlığı üç fundamental komponentdən ibarət kompleks model kimi nəzərdən keçirilir:

1. Metodik Hazırlıq: Adaptasiya və Diferensiallaşma Bacarığı Metodik hazırlıq müəllimin tədris proqramını sinifdəki hər bir şagirdin ehtiyacına uyğunlaşdıra bilməsidir. Bu komponentin nüvəsini Fərdi Təhsil Planının (FTP) tərtib edilməsi təşkil edir. FTP sadəcə bürokratik bir sənəd deyil, şagirdin zəif və güclü tərəflərini, qısa və uzunmüddətli hədəflərini müəyyən edən strateji xəritədir. Metodik hazırlığa həmçinin təlim materiallarının adaptasiyası (məsələn, mürəkkəb mətnlərin sadələşdirilməsi, vizuallaşdırılması) və alternativ qiymətləndirmə üsullarının (test əvəzinə layihə, şifahi cavab əvəzinə praktiki nümayiş) tətbiqi daxildir.
2. Psixoloji Hazırlıq: Emosional Kompetensiya və Tolerantlıq Psixoloji hazırlıq müəllimin xüsusi qayğıya ehtiyacı olan şagirdlərə qarşı daxili baryerlərini aşmasını nəzərdə tutur. Bu, şagirdlərin fərqliliyinə mənfi bir hal kimi deyil, təbii müxtəliflik kimi yanaşma bacarığıdır. Empatiya qabiliyyəti müəllimə şagirdin davranışının arxasında duran səbəbləri (məsələn, autizmli uşağın sensor yüklənməsi) anlamağa kömək edir.

"Etiketləmə"dən (şagirdə yalnız diaqnozu ilə baxmaq) qaçınmaq müəllimin şagirdə inamını artırır ki, bu da birbaşa təlim nəticələrinə təsir edir.

3. Texnoloji Hazırlıq: Assistiv Texnologiyaların İnteqrasiyası Müasir inklüziv pedaqogika texnologiyasız təsəvvür edilmir. Texnoloji hazırlıq müəllimin assistiv (yardımçı) alətlərdən istifadə bacarığını əhatə edir. Bura nitqi mətnə çevirən proqramlar, disleksiyası olanlar üçün xüsusi şriftli rəqəmsal kitablar, hərəkət məhdudiyyətli şagirdlər üçün xüsusi klaviaturalar və ekran oxuyucuları daxildir. Müəllim bu alətləri sadəcə tanımaqla kifayətlənməməli, onları tədris prosesinə üzvi şəkildə inteqrasiya etməyi bacarmalıdır.

IV. MÜƏLLİM HAZIRLIĞININ İNKİŞAFI: STRATEJİ YOLLAR

Müəllimlərin inklüziv kompetensiyalarının artırılması üçün yalnız qısamüddətli təlim kursları kifayət etmir. Bu sahədə davamlı, sistemli və multidissiplinar yanaşmaya ehtiyac vardır. Müəllim hazırlığının effektivliyini artırmaq üçün aşağıdakı strateji istiqamətlər təklif olunur:

Davamlı Superviziya və Mentorluq Sisteminin Tətbiqi Ənənəvi ixtisasartırma kursları çox vaxt nəzəri xarakter daşıyır və sinif daxili real situasiyaları tam əhatə etmir. "Davamlı Superviziya" modeli çərçivəsində müəllim təkbaşına buraxılmır. Ayda azı bir dəfə xüsusi təhsil mütəxəssisi və ya təcrübəli mentor tərəfindən dərslər müşahidə edilməli, müəllimə dərhal metodik rəy verilməlidir. Bu yanaşma müəllimə imkan verir ki, o, FTP-də qeyd etdiyi hədəflərlə real dərs prosesi arasındakı uyğunsuzluğu görsün və fərdiləşdirmə texnikalarını canlı prosesdə təkmilləşdirsin.

Multidissiplinar Komandaların Yaradılması (Case Management) İnklüziv təhsil fərdi deyil, kollektiv məsuliyyət tələb edir. Məktəb daxilində "İnklüziv Dəstək Qrupları"nın yaradılması zəruridir. Bu komandaya fənn müəllimi, xüsusi pedaqoq (tutor), məktəb psixoloqu, sosial işçi və valideyn daxil olmalıdır. Həftəlik keçirilən "Keys müzakirələri" (Case-study) vasitəsilə hər bir şagirdin həftəlik inkişaf dinamikası analiz edilməli, davranış pozuntuları və ya öyrənmə çətinlikləri kollektiv şəkildə həll olunmalıdır. Bu, müəllimin üzərinə düşən psixoloji və metodik yükü azaldır, qərarların daha obyektiv verilməsinə kömək edir.

Milli Adaptiv Resurs Bankının (Digital Repository) Qurulması Müəllimlərin ən çox çətinlik çəkdiyi sahə adaptiv materialların (iş vərəqləri, sadələşdirilmiş mətnlər, vizual sxemlər) hazırlanmasıdır. Hər bir müəllimin fərdi şəkildə resurs hazırlaması vaxt itkisinə səbəb olur. Vahid rəqəmsal "Resurs Bankı"nın yaradılması təklif olunur. Bu platformada müəllimlər fənlər və xüsusi ehtiyac növləri üzrə sınaqdan keçmiş adaptiv materialları paylaşa və bir-birinin təcrübəsindən yararlana bilərlər. Rəqəmsal baza həm də müəllimlərə assistiv proqram təminatları və onlardan istifadə üzrə qısa video-təlimatlar təqdim etməlidir.

Müəllim Hazırlığında "Yaradıcı Pedaqogika" və Emosional İntellekt Müəllimlərin hazırlıq proqramlarına mütləq şəkildə art-terapiya, nağıl terapiyası və oyunlaşdırma (gamification) elementləri daxil edilməlidir. Xüsusi qayğıya ehtiyacı olan şagirdlərin dərslərə cəlb olunmasında (engagement) bu metodlar yüksək effektivlik göstərir. Eyni zamanda, müəllimlərin emosional intellektinin inkişafı, onlarda "inklüziv mədəniyyətin" formalaşması inklüziv mühitdə yarana biləcək münaqişələrin və stereotiplərin qarşısını alan ən effektiv yoldur.

NƏTİCƏ

İnklüziv siniflərdə təlimin fərdiləşdirilməsi yalnız müəllimin fərdi cəhdi deyil, sistemli bir dəstək mexanizminin nəticəsi olmalıdır. Təklif olunan strateji yollar – davamlı superviziya, multidissiplinar əməkdaşlıq və rəqəmsal resurs bankı – müəllimin pedaqoji hazırlığını keyfiyyətcə yeni mərhələyə qaldıra bilər. Bu modelin tətbiqi nəticəsində inklüziv təhsil "formal inteqrasiya" mərhələsindən "real inkişaf" mərhələsinə keçəcək, hər bir şagirdin təhsil hüququ onun fərdi potensialı daxilində tam təmin olunacaqdır.Yekun olaraq qeyd etmək olar ki, inklüziv təhsilin uğuru müəllimin kompetensiyası, məktəb rəhbərliyinin dəstəyi və valideynlərin prosesə cəlb olunması üçbucağında dayanır. Bu model tam şəkildə işlədikdə, hər bir şagirdin təhsil hüququ onun fərdi potensialı daxilində tam və qərəzsiz şəkildə təmin olunacaq, təhsil sistemimiz daha demokratik və humanist xarakter alacaqdır.

Ədəbiyyat

1. **Azərbaycan Respublikasının Təhsil Qanunu.** Bakı şəhəri, 19 iyun 2009-cu il, № 833
2. **Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Sərəncamı.** "2018–2024-cü illərdə Azərbaycan Respublikasında sağlamlıq imkanları məhdud şəxslər üçün inklüziv təhsilin inkişafı üzrə Dövlət Proqramı". Bakı, 14 dekabr 2017-ci il.
3. **UNESCO.** "The Salamanca Statement and Framework for Action on Special Needs Education". Spain, 1994.

4. **Vygotsky, L. S.** "Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes". Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.
5. **Gardner, H.** "Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences". New York: Basic Books, 2011.
6. **Tomlinson, C. A.** "The Differentiated Classroom: Responding to the Needs of All Learners". Alexandria, VA: ASCD, 2014.
7. **Veyisov, A.** "İnklüziv təhsil: Metodik vəsait". Bakı, 2014.
8. **Rose, D. H., & Meyer, A.** "Teaching Every Student in the Digital Age: Universal Design for Learning". Alexandria, VA: ASCD, 2002
9. **Məmmədov, R.** "Xüsusi qayğıya ehtiyacı olan uşaqların sosial-pedaqoji reabilitasiyası". Bakı, 2018.

İNKLÜZİV TƏHSİLİN TƏTBİQİ VƏ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ: MÜASİR ÇAĞIRIŞLAR VƏ YANAŞMALAR

Natavan Cəfərli
Psixologiya və Pedaqogika kafedrası
Azərbaycan Dillər Universiteti
Bakı, Azərbaycan
0009-0005-4410-7840
jafarli.natavan@hotmail.com

Xülasə: Müasir təhsil sistemində inklüzivlik prinsipi hər bir fərdin bərabər təhsil imkanlarına çıxışını təmin edən əsas istiqamətlərdən biri kimi çıxış edir. İnklüziv təhsil yalnız xüsusi qayğıya ehtiyacı olan şəxslərin deyil, bütün öyrənənlərin fərdi xüsusiyyətlərini nəzərə alan, onların sosial inteqrasiyasını və hərtərəfli inkişafını təmin edən kompleks pedaqoji yanaşmadır. Bu məqalədə inklüziv təhsilin nəzəri əsasları, tətbiq mexanizmləri, qarşıya çıxan problemlər və bu problemlərin həlli yolları sistemli şəkildə təhlil olunur. Eyni zamanda müasir rəqəmsal texnologiyaların, avtomatlaşdırılmış qiymətləndirmə sistemlərinin və süni intellekt əsaslı yanaşmaların inklüziv təhsildə rolu geniş şəkildə araşdırılır. Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilir ki, inklüziv təhsilin effektivliyi yalnız pedaqoji metodların deyil, həm də texnoloji və idarəetmə mexanizmlərinin inteqrasiyasından asılıdır.
Açar sözlər: *İnklüziv təhsil, bərabər imkanlar, diferensial təlim, pedaqoji yanaşmalar, rəqəmsal texnologiyalar, qiymətləndirmə sistemləri, innovasiya, adaptiv təlim*

I. Giriş

Azərbaycan Respublikasında inklüziv təhsilin inkişafı istiqamətində son illərdə mühüm addımlar atılmışdır. Xüsusilə 2001-ci ildə "Sağlamlıq imkanları məhdud şəxslərin təhsili (xüsusi təhsil) haqqında" Azərbaycan Respublikasının Qanununun qəbul edilməsi bu sahədə hüquqi bazanın formalaşmasına səbəb olmuşdur. Bu qanun çərçivəsində xüsusi qayğıya ehtiyacı olan şəxslərin təhsil hüquqları, dövlətin bu sahədə öhdəlikləri və təhsil prosesinin təşkili mexanizmləri müəyyən edilmişdir.

Daha sonra qəbul edilən normativ-hüquqi sənədlər və dövlət proqramları inklüziv təhsilin tətbiqini genişləndirmiş və bu sahədə institusional inkişafı sürətləndirmişdir. Xüsusilə "İnteqrasiya təlimli təhsil müəssisələrində təhsilin təşkili Qaydaları" inklüziv mühitin yaradılmasında mühüm rol oynamışdır.

Qloballaşma və informasiya cəmiyyətinin formalaşması şəraitində təhsil sistemlərinin qarşısında duran əsas məqsədlərdən biri hər bir fərdin potensialını maksimum səviyyədə reallaşdırmaqdır. Bu baxımdan inklüziv təhsil yalnız sosial məsələ deyil, həm də iqtisadi və strateji inkişafın mühüm komponentidir. İnsan kapitalının inkişafı, innovativ düşüncənin formalaşması və sosial sabitliyin təmin edilməsi inklüziv təhsilin uğurlu tətbiqindən birbaşa asılıdır.

Müasir dövrdə informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının inkişafı inklüziv təhsilin yeni mərhələyə keçidini təmin edir. Rəqəmsal platformalar, onlayn təhsil sistemləri və süni intellekt əsaslı alətlər təlim prosesinin fərdiləşdirilməsinə, əlçatanlığın artırılmasına və qiymətləndirmənin obyektivliyinin təmin olunmasına imkan yaradır.

1994-cü ildə UNESCO tərəfindən qəbul olunan Salamanka Bəyannaməsi ilə bu proses geniş vüsət aldı. Uşaqların irqindən, cinsindən, milliyətindən, dinindən, əqli və fiziki imkanlarından və s. amillərdən asılı olmayaraq, birmənalı surətdə təhsil almaq hüququnun olduğunu dünya ictimaiyyəti qəti şəkildə bəyan edib. Bu bəyanatlar ümumdünya miqyasında əhəmiyyət kəsb edən sənədlərdə öz əksini tapıb. BMT-nin 1971-ci il tarixli "Əqli qüsurlu şəxslərin qüsurları haqqında" Bəyannaməsi, 1975-ci il tarixli "Əlillərin hüquqları haqqında" Bəyannaməsi, 1975-ci il tarixli "Əlillərin əmək qabiliyyətinin itirilməsi və bərpası haqqında" Qətnaməsi, 9 may 1979-cu il tarixli Elen Keller Ümumdünya Konfransında hazırlanıb bəyənilmiş "Görmə və eşitmə qabiliyyətini itirmiş şəxslərin hüquqları haqqında Bəyannamə", BƏT-nin 1983-cü il 1 iyun tarixli "Əlillərin peşə reabilitasiyası və məşğulluğu haqqında" 168 №-li Tövsiyəsi, BMT Baş Assambleyasının 1982-ci ildə qəbul etdiyi "Əlilliyi olan insanlara dair Ümumdünya Fəaliyyət Proqramı", BMT Baş Assambleyasının 1993-cü ildə qəbul etdiyi "Əlilliyi olan insanlara bərabər imkanların yaradılması üzrə" Beynəlxalq Standart Qaydalar, UNESCO-nun 1994-cü ildə qəbul etdiyi Salamanka bəyannaməsi və Fəaliyyət Çərçivəsi və 2000-ci ildə Dakarda keçirilmiş Dünya Təhsil Forumunda qəbul edilmiş "Fəaliyyət Çərçivəsi: Hamı üçün Təhsil" adı altında qəbul edilmiş kollektiv öhdəliklər əlilliyi olan insanların təhsil haqlarının olması və onların təhsilə cəlb edilməsinin vacibliyi və digər bütün hüquqları vurğulamışdır.[1]

II. İnklüziv təhsilin nəzəri əsasları və prinsipləri

İnklüziv təhsil humanist pedaqogikanın əsas ideyalarına əsaslanır və hər bir fərdin unikal xüsusiyyətlərini qəbul edən, onları inkişaf üçün resurs kimi dəyərləndirən bir yanaşmadır. Bu modeldə əsas məqsəd yalnız akademik biliklərin verilməsi deyil, həm də sosial və emosional inkişafın təmin edilməsidir.

Bərabərlik və əlçatanlıq

Bu prinsip hər bir şagirdin təhsil resurslarına bərabər çıxışını təmin etməyi nəzərdə tutur. Bu yalnız fiziki əlçatanlıqla məhdudlaşmır, həm də tədris materiallarının, metodların və qiymətləndirmə sistemlərinin uyğunlaşdırılmasını əhatə edir.

İnklüziv təhsilin səmərəli həyata keçirilməsi üçün vacib olan şərtlər:

— binanın və nəqliyyatın uyğunlaşdırılması;
— sinif mühitinin uyğunlaşdırılması;
— tədris proqramlarının rəngarəngliyinin təmin edilməsi,müxtəlif yanaşma üsullardanistifadə edilməsi;
— əlillik haqqında danışarkən məktəb heyyəti və uşaqlar tərəfindən düzgün sözlərdənistifadə edilməsi;
— məktəbin tibbi nəzarət sisteminin yaradılması;
— əliliyi olan insanların işə cəlb edilməsi;
— müşahidəçilər şurasının və idarəetmə komisiyasının yaradılması. İnklüziv proqramın üstünlükləri Əlilliyi olan uşaqların:

- Öz yaşıdları ilə məqsədəuyğun şəkildə təmasda olmalrı hesabına koqnitiv, nitq vəemosianal inkişafı artır.
- Yaşıdları, xüsus tələbləri olan uşaqlar üçün model rolunu oynayırlar.
- Yeni bacarıq və vərdişləri mənimsəməsi və onlardan istifadə etməsi funksional olaraqhəyata keçirilir.
- Təhsili uşaqların güclü cəhətlərinə, qabiliyyətlərinə və maraqlarına səmtlənməkləaparılır.
- Əlilliyi olmayan yaşıdları ilə dostluq münasibətləri yaratmaq və ictimai həyatda iştirak etmək imkanı yaranır. [2]

Hər bir şagirdin öyrənmə tempi, idrak səviyyəsi, maraqları və psixoloji xüsusiyyətləri fərqli olduğu üçün təlim prosesinin vahid standartlar əsasında deyil, fərdi xüsusiyyətlər nəzərə alınaraq təşkil olunması zəruridir. Bu baxımdan diferensial yanaşma müəllimə şagirdlərin ehtiyaclarına uyğun müxtəlif təlim strategiyaları seçmək imkanı yaradır. Fərdi təhsil planlarının hazırlanması, adaptiv təlim metodlarının tətbiqi və alternativ qiymətləndirmə üsullarının istifadəsi inklüziv təhsilin əsas mexanizmlərindən hesab olunur. Bu yanaşma hər bir şagirdin potensialını maksimum səviyyədə üzə çıxarmağa xidmət edir.

İnklüziv təhsil yalnız akademik biliklərin ötürülməsi ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda şagirdlərin sosial mühitə uyğunlaşmasını və cəmiyyətə inteqrasiyasını təmin edir. Müxtəlif qabiliyyətlərə malik uşaqların birgə təhsil alması onların sosial bacarıqlarının inkişafına müsbət təsir göstərir. Bu mühitdə şagirdlər arasında empatiya, qarşılıqlı hörmət, tolerantlıq və əməkdaşlıq kimi dəyərlər formalaşır. Eyni zamanda inklüziv mühit stereotiplərin aradan qaldırılmasına və sosial bərabərliyin təmin olunmasına şərait yaradır.

İnklüziv təhsil konsepsiyası yalnız məktəb dövrünü əhatə etmir, o, fərdin bütün həyat mərhələlərində inkişafını dəstəkləyən davamlı bir prosesdir. Bu yanaşma fərdin özünü inkişaf etdirmə, yeni bilik və bacarıqlar əldə etmə, dəyişən cəmiyyətə uyğunlaşma qabiliyyətini gücləndirir. Həyatboyu öyrənmə prinsipi inklüziv təhsilin əsas sütunlarından biri kimi çıxış edərək fərdlərin sosial və peşəkar inteqrasiyasına zəmin yaradır.

İnklüziv təhsilin praktikada tətbiqi çoxşaxəli və mürəkkəb prosesdir. Bu proses həm maddi-texniki baza, həm kadr potensialı, həm də metodiki təminat baxımından müəyyən çətinliklərlə müşayiət olunur. Bu problemlərin aradan qaldırılması inklüziv təhsilin səmərəliliyinin artırılması üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Bir çox təhsil müəssisələrində fiziki mühit inklüziv təhsilin tələblərinə tam cavab vermir. Məktəblərdə pandusların, liftlərin, xüsusi təchiz olunmuş sinif otaqlarının və müasir texnoloji vasitələrin çatışmazlığı fiziki məhdudiyyətli şagirdlərin təhsil prosesində iştirakını çətinləşdirir. Bundan əlavə, məktəb mühitinin universal dizayn prinsiplərinə uyğun qurulmaması inklüzivliyin təmin edilməsinə maneə yaradır.

İnklüziv təhsilin uğurlu tətbiqi müəllimlərin peşəkar hazırlıq səviyyəsindən birbaşa asılıdır. Lakin bir çox hallarda müəllimlər diferensial təlim strategiyalarını tətbiq etmək, fərdi yanaşma qurmaq və xüsusi təhsil ehtiyacları olan şagirdlərlə effektiv işləmək bacarıqlarına kifayət qədər yiyələnmirlər. Bu səbəbdən davamlı peşəkar inkişaf proqramlarının təşkili, treninqlər və ixtisasartırma kurslarının keçirilməsi xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

İnklüziv təhsil mühitində istifadə olunan dərsliklər və təlim materialları bütün şagirdlərin ehtiyaclarını qarşılamalıdır. Lakin bir çox hallarda uyğunlaşdırılmış dərsliklərin, metodik vəsaitlərin və alternativ təlim resurslarının çatışmazlığı müşahidə olunur. Bu isə təlim prosesinin keyfiyyətinə mənfi təsir göstərir. Buna görə də inklüziv təhsil üçün uyğunlaşdırılmış kurikulumların hazırlanması və müasir didaktik materialların tətbiqi zəruri hesab olunur.

Ənənəvi qiymətləndirmə sistemləri, əsasən, bütün şagirdlər üçün eyni meyarların tətbiqinə əsaslanır ki, bu da fərdi xüsusiyyətlərin, öyrənmə tempinin və idrak səviyyəsinin nəzərə alınmamasına səbəb olur. Nəticədə bu yanaşma bəzi şagirdlərin real potensialını əks etdirmir və qiymətləndirmədə obyektivliyin pozulmasına gətirib çıxarır. İnklüziv təhsil şəraitində isə qiymətləndirmə daha çevik, diferensial və fərdiləşdirilmiş olmalıdır. Bu baxımdan alternativ qiymətləndirmə üsullarının – portfolioların, layihə əsaslı tapşırıqların və müşahidə metodlarının tətbiqi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

İnklüziv təhsilin geniş tətbiqinə mane olan əsas amillərdən biri cəmiyyətdə mövcud olan sosial və psixoloji baryerlərdir. Bəzi hallarda valideynlər və müəllimlər inklüziv təhsilə qarşı ehtiyatlı və ya skeptik yanaşma nümayiş etdirirlər. Bu isə stereotiplərin və yanlış təsəvvürlərin hələ də mövcud olduğunu göstərir. Xüsusi təhsil ehtiyacları olan şagirdlərə qarşı ayrı-seçkilik halları və sosial adaptasiya problemləri inklüziv mühitin formalaşmasını çətinləşdirir. Bu baryerlərin aradan qaldırılması üçün maarifləndirmə işlərinin aparılması, ictimai dəstəyin artırılması və psixoloji xidmətlərin gücləndirilməsi vacibdir.

Texnologiyanın sürətli inkişafı inklüziv təhsil sahəsində yeni imkanlar yaratmaqla yanaşı, təlim prosesində keyfiyyət dəyişikliyinə səbəb olmuşdur. Müasir rəqəmsal alətlər fərdiləşdirilmiş və adaptiv təlim mühitinin qurulmasına şərait yaradır, şagirdlərin fərdi ehtiyaclarına uyğun öyrənmə imkanlarını genişləndirir.

Elektron təhsil platformaları və onlayn resurslar şagirdlərə fərdi tempdə öyrənmək, materiallara istənilən vaxt çıxış əldə etmək və öz biliklərini müstəqil şəkildə inkişaf etdirmək imkanı verir. Bu mühit müxtəlif səviyyəli öyrənənlər üçün çevik və əlçatan təhsil şəraiti yaradır. Eyni zamanda distant təhsil imkanlarının genişlənməsi inklüzivliyin təmin olunmasında mühüm rol oynayır.

Avtomatlaşdırılmış qiymətləndirmə sistemləri təhsil prosesində operativlik və obyektivliyin təmin olunmasına xidmət edir. Bu sistemlər vasitəsilə test və tapşırıqların nəticələri qısa müddətdə analiz olunur və şagirdlərin nailiyyətləri dəqiq şəkildə qiymətləndirilir. Onların əsas üstünlükləri aşağıdakılardır:

• insan faktorundan irəli gələn səhvlərin minimuma endirilməsi
• nəticələrin daha yüksək dəqiqliklə müəyyən edilməsi
• qiymətləndirmə prosesində şəffaflığın təmin olunması
• böyük həcmdə məlumatların sürətli emalı

Süni intellekt əsaslı texnologiyalar inklüziv təhsildə fərdiləşdirmənin ən yüksək səviyyəsini təmin edən vasitələrdəndir. Bu sistemlər şagirdlərin öyrənmə davranışlarını, zəif və güclü tərəflərini analiz edərək onlara uyğun fərdi təlim trayektoriyaları yaradır. Nəticədə hər bir şagird öz imkanlarına uyğun şəkildə inkişaf edir və təlim prosesi daha effektiv təşkil olunur.

Assistiv texnologiyalar xüsusi təhsil ehtiyacları olan şagirdlərin təhsil prosesində aktiv iştirakını təmin edən mühüm vasitələrdir. Bu texnologiyalara ekran oxuyucular, səsli proqram təminatları, braille cihazları,

xüsusi klaviaturalar və digər dəstəkləyici vasitələr daxildir. Onların tətbiqi təhsildə bərabər imkanların yaradılmasına və inklüziv mühitin gücləndirilməsinə xidmət edir.
Müasir inklüziv təhsil sistemində qiymətləndirmə yalnız nəticələrin ölçülməsi vasitəsi deyil, həm də öyrənmə prosesinin ayrılmaz tərkib hissəsi kimi çıxış edir. Bu yanaşma şagirdlərin inkişaf dinamikasını izləməyə, onların ehtiyaclarını müəyyən etməyə və təlim strategiyalarını təkmilləşdirməyə imkan verir.
Formativ qiymətləndirmə şagirdin təlim prosesi ərzində inkişafını izləməyə və ona operativ geribildirim verməyə xidmət edir. Summativ qiymətləndirmə isə müəyyən tədris mərhələsinin sonunda əldə olunan nəticələri ölçür. İnklüziv təhsil şəraitində bu iki qiymətləndirmə növünün balanslı şəkildə tətbiqi şagirdlərin həm proses, həm də nəticə baxımından düzgün qiymətləndirilməsinə imkan yaradır.
Müasir rəqəmsal qiymətləndirmə vasitələri – elektron test sistemləri, analitik platformalar və öyrənmə idarəetmə sistemləri şagirdlərin nailiyyətlərini daha dəqiq və sistemli şəkildə izləməyə imkan verir. Bu alətlər vasitəsilə şagirdlərin inkişaf dinamikası təhlil olunur və fərdi inkişaf strategiyaları hazırlanır.
İnklüziv təhsildə hər bir şagird üçün fərdi qiymətləndirmə meyarlarının müəyyən edilməsi əsas şərtlərdən biridir. Bu strategiya şagirdin fərdi xüsusiyyətlərini, öyrənmə tempini və imkanlarını nəzərə almağa imkan verir. Nəticədə qiymətləndirmə daha ədalətli və obyektiv olur.
İnklüziv təhsilin inkişafı ilə yanaşı yeni problemlər və çağırışlar da meydana çıxır. Bu çağırışlar təhsilin keyfiyyətinə və əlçatanlığına birbaşa təsir göstərir. Əsas problemlər aşağıdakılardır:
• rəqəmsal bərabərsizlik və texnologiyalara çıxış imkanlarının məhdudluğu
• müəllim və şagirdlərin texnoloji savadlılıq səviyyəsinin yetərli olmaması
• süni intellektin tətbiqi ilə bağlı etik və hüquqi məsələlər
• qiymətləndirmə və təlim prosesində standartlaşma problemləri
Bununla yanaşı, gələcək perspektivlər olduqca ümidvericidir. Süni intellekt, böyük verilənlər (Big Data) və analitik texnologiyaların inkişafı inklüziv təhsilin daha effektiv və məqsədyönlü şəkildə təşkilinə imkan verəcəkdir. Bu texnologiyalar vasitəsilə təhsil sistemində fərdiləşdirmə daha da dərinləşəcək və hər bir şagird üçün optimal öyrənmə mühiti yaradılacaqdır.
III. Nəticə: İnklüziv təhsil müasir təhsil sisteminin əsas istiqamətlərindən biri olmaqla, hər bir fərdin bərabər təhsil imkanlarına çıxışını təmin edir və sosial ədalətin formalaşmasına mühüm töhfə verir. Bu yanaşma yalnız xüsusi qayğıya ehtiyacı olan şəxslərin deyil, bütün şagirdlərin fərdi xüsusiyyətlərini nəzərə alan və onların potensialının inkişafına yönəlmiş kompleks pedaqoji sistem kimi çıxış edir.
Araşdırmalar göstərir ki, inklüziv təhsilin effektiv tətbiqi üçün infrastrukturun yaxşılaşdırılması, müəllimlərin peşəkar hazırlığının gücləndirilməsi, müasir metodiki təminatın yaradılması və qiymətləndirmə sistemlərinin fərdiləşdirilməsi vacibdir. Bu amillər bir-biri ilə sıx bağlıdır və onların kompleks şəkildə həyata keçirilməsi inklüziv təhsilin keyfiyyətini artırır.
Eyni zamanda, rəqəmsal texnologiyalar və süni intellekt əsaslı yanaşmalar inklüziv təhsilin inkişafında yeni imkanlar yaradır. Bu texnologiyalar təlim prosesinin daha çevik, fərdiləşdirilmiş və obyektiv təşkilinə şərait yaradır. Gələcəkdə inklüziv təhsilin davamlı inkişafı üçün pedaqoji və texnoloji yanaşmaların inteqrasiyası, eləcə də sistemli islahatların həyata keçirilməsi zəruri hesab olunur.

Ədəbiyyat siyahısı
[1] Nağızadə, A. İ. q. (2019). İnklüziv təhsil təhsilin humanist istiqaməti kimi. *Bakı Qızlar Universiteti Elmi əsərlər*, 10(4), 189.
[2] Eminova, G. (2019). İnklüziv təhsil bütün uşaqlar üçün təhsildir. *Bakı Qızlar Universiteti Elmi əsərlər*, 10 (2).

THE APPLICATION OF INNOVATIVE METHODS IN TEACHING ORGANIC CHEMISTRY

NİGAR NAGHIYEVA
Baku State University
Chemistry/Organic chemistry
nigar.nagiyeva56@gmail.com
BAKU, AZERBAIJAN

ABSTRACT

This article is devoted to a comparative analysis of the problems encountered by students during the teaching of organic chemistry. Students face some problems related to the teaching of organic chemistry. Organic chemistry is considered a difficult subject for students due to the fact that it requires, reaction mechanisms, spatial thinking skills. Since traditional lecture-based teaching methods do not ensure the active participation of students in the lesson, their motivation and academic performance may remain at a low level. The importance of using modern methods during training is reflected in the article. The results obtained are recorded in the form of diagrams. The results obtained indicate that modern methods have a positive effect on students' education and academic achievements.

KEYWORDS: Modern methods, organic chemistry, academic performance, activity, pedagogical methods

INTRODUCTION

Organic chemistry is one of the most important and complex subjects in the chemical sciences. Organic chemistry requires the use of both visual and spatial thinking skills. This subject teaches the skills of understanding the three-dimensional structures of energy molecules, analyzing reaction mechanisms, and applying material knowledge. However, the complexity of organic chemistry, the multiplicity of reactions, and the mechanisms involved make it difficult to master the important lesson. Traditional lecture-based methods often do not provide the activity of movement, making learning passive and reducing the lesson and motivation of the result.

Recent research has shown that multimedia and technology-supported pedagogical approaches in teaching organic chemistry are effective tools for increasing students' active participation in the learning process and conceptual understanding. For example, the study experiments shows that innovative pedagogical methods increase students' attention to the lesson and allow them to better understand complex topics [1].

Experimental studies support these findings. Improving Students' Achievement in Organic Chemistry: A Systematic Review of Experimental Studies [2] shows that technology-supported and active learning methods improve students' academic performance and increase their interest in the subject. These approaches allow students to learn at their own pace, provide access to pre-lesson resources, and create opportunities for active participation in the classroom.

In addition, literature shows that new pedagogical technologies enable students to understand complex topics more deeply through interactivity, collaboration, and visual aids in the teaching process[3]. These technologies not only enhance students' collaboration, discussion, and problem-solving skills, but also enhance their active participation in the lesson and their interest in learning.

Thus, existing research shows that innovative and technology-supported pedagogical approaches in teaching organic chemistry not only improve academic performance, but also increase student interest and motivation in the lesson. These methods both enhance students' deep understanding and overcome the shortcomings of traditional lecture methods. Therefore, the application of modern pedagogical technologies in teaching organic chemistry is considered important for both teachers and students and has wide application in the future.

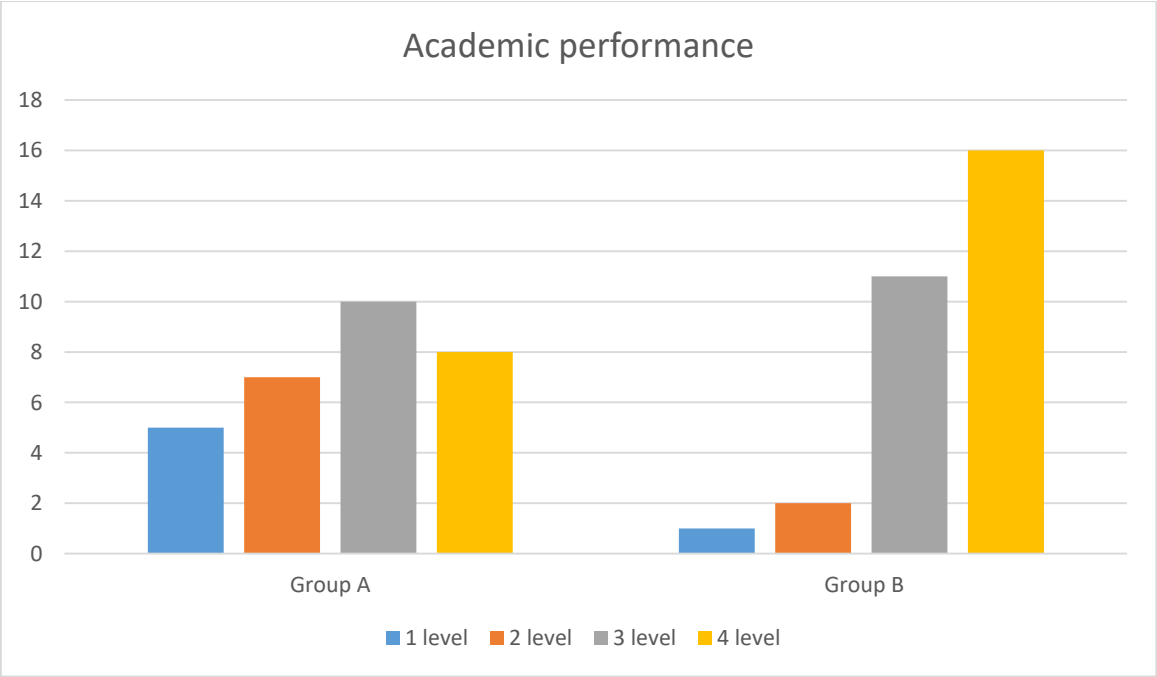
RESEARCH METHOD

An experiment is being conducted in connection with the difficulties some students face in certain parts of the subject during the teaching of organic chemistry. An experiment is being conducted to determine the activity and academic achievements of students in organic chemistry lessons. Research on this topic was conducted through a survey. The academic performance of students and the new innovative method taught to group B students during the previous, i.e. traditional, and the new 5-week period are being compared. A survey was conducted to assess the knowledge, skills and habits of students taught organic chemistry.

Experimental groups are used to conduct these surveys. 2 groups participate in the experiment. The first group continues to be taught in the traditional form. The methods and materials employed to address the problem are outlined. We call this group Group A. The second group uses modern teaching methods, that is, modern teaching methods, modern teaching forms and ICT equipment to conduct the teaching process. We call this group Group B. In order to obtain more accurate results, this experiment is taught for 1 month, in other words, 10 lessons. After the 10 lessons, a survey is conducted among the students after the end of the teaching process. This survey is conducted anonymously. When conducting an anonymous survey, students can evaluate themselves more comfortably and confidently. The assessment is related to both the teaching process and the assessment of the students' academic achievements. The survey is conducted among 60 people. The assessment is conducted separately for Groups A and B. A total of 60 students participate, 30 from each group. After the survey is completed, the results are calculated and analyzed. In addition, an academic assessment is also conducted. At this time, it is determined what level of knowledge the students have acquired and with which methodology the results of the students who receive training are superior. The necessary calculations are made and the results obtained are shown in the form of diagrams. In the hand the results obtained are compared.

CONCLUSION

As a result, the data we examined showed that using modern learning technologies led to improvements in students' academic lives, including the fact that students liked lessons taught using new and innovative methods. First, let's look at the comparison of academic indicators. It can be seen from the chart that the number of students who received high grades is positive in the group of students who were taught using innovative methods. However, the results of the group that continued to teach in the traditional form are not very good. This also shows that the motivation of the students to the lesson has increased in the group using innovative methods.



Graph 1: Change in students' academic performance

Now let's see how much the students in group B liked the innovative teaching method. It is clear from the diagram that the students liked the innovative method. So, using these methods increased their motivation for lessons. As can be seen from the diagram, a large percentage of older students liked the new method.

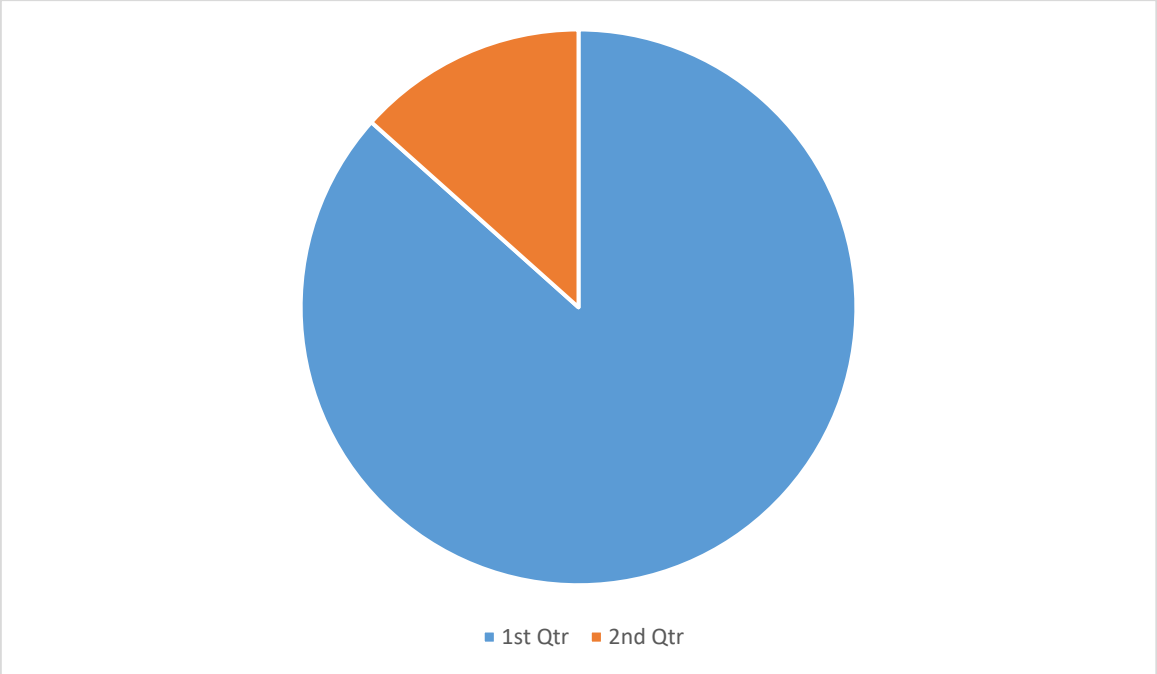


Diagram 2. Group B students' liking of the innovative method

REFERENCES

1. Organic Chemistry Education Research into Practice – Frontiers in Education, Research Topic (2025).
2. Improving students' achievement in organic chemistry: A systematic review of experimental studies – Journal of Turkish Science Education (2025).
3. New pedagogical technologies in teaching organic chemistry – Multidisciplinary Journal of Science and Technology (2025).

ALI TƏHSIL MÜƏSSISƏLƏRINDƏ GƏNC MÜƏLLİMLƏRİN QARŞILAŞDIQLARI ÇƏTİNLİKLƏR

SƏBİNƏ NAMİQ QIZI CƏFƏROVA
pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru
Bakı Slavyan Universiteti,
Pedaqogika kafedrası
sabina_16_86@mail.ru
Azərbaycan, Bakı şəhəri
orcid id: 0000-0001-5095-592X

The article notes that young teachers working in higher education institutions face multifaceted challenges. These challenges are pedagogical, psychological, and methodological in nature, manifesting in areas such as the development of teaching skills, fostering students' cognitive and independent thinking abilities, discrepancies between the content of curricula and teaching materials and the rapid advancement of science, insufficient assessment criteria, the teacher's emotional and volitional characteristics, as well as communication and speech skills. Thus, the professional development of young teachers is not limited to theoretical knowledge alone; it is a complex process that also requires the enhancement of practical experience, pedagogical skills, and communicative competencies.

Key words: young teacher, university, education, difficulties, Azerbaijan.

I. Giriş

Müəllimlik fəaliyyəti çox mürəkkəb, çoxcəhətli, dinamik səciyyə daşıyan, yüksək professional hazırlıq, xususi istedad və yüksək mənəvi-psixoloji keyfiyyətlər tələb edən, xalqın maarif və elminin inkişafında mühüm yer tutan bir fəaliyyət sahəsidir. Odur ki, müəlimlik fəaliyyəti öz mahiyyətinə görə bir sıra xarici və daxili çətinlik və maneələrin aradan qaldırılması, gənc nəslin təlim-tərbiyəsini xalqın elmi və mədəni tərəqqisinə kömək etmək istiqamətində qurmağa yönələn strateji əhəmiyyətə malik fəaliyyətdir.

"*Həyatını müəllimliyə həsr edən insanlar, həqiqətən, fədakar, xalqına, millətinə sədaqətli və eyni zamanda qəhrəmanlıq göstərən insanlardır*" [4]. Ümummilli liderimiz Heydər Əliyevin söylədiyi bu fikirlər Azərbaycan müəlliminə verilən dəyərin bariz göstəricisidir.

Ümumiyyətlə pedaqoji fəaliyyət və müəllim peşəsi ən qədim peşələrdən biri hesab edilir. O, nəsillərin ardıcıllığının minlərlə illik təcrübəsini özündə toplamışdır. Müəllim mahiyyət etibarilə nəsillər arasında əlaqə, bəşəri, ictimai, tarixi təcrübənin daşıyıcısıdır. Xalqın sosial-mədəni bütövlüyü, sivilizasiya, nəsillərin davamlılığı daha çox pedaqoji fəaliyyətlə bağlıdır.

Son illər müəllimlərin qarşılaşdıqları çətinliklər tez-tez gündəmə gətirilir. Müəllimin peşəkar subyekt kimi formalaşması və səriştələrin inteqrasiyası onun pedaqoji ustalığının və innovativ (novator) fəaliyyətinin başlıca indikatorları kimi səciyyələndirilir. Təsadüfi deyildir ki, 2013-cü ildə qəbul olunaraq 2020-ci ilədək uzunmüddətli dövrü əhatə edən "Azərbaycan Respublikasında təhsilin inkişafı üzrə Dövlət Strategiyası"nda da qeyd olunan məsələ dəfələrlə vurğulanmış və ona xüsusi əhəmiyyət verilmişdir. Strategiyada qeyd edilir: "Təhsilalanın savadlı və səriştəli şəxs kimi formalaşmasına müəllimin təsiri müəllimin akademik bacarıqlarından, tədris təcrübəsindən və peşəkarlıq səviyyəsindən xeyli asılıdır. Müəllimin bu keyfiyyətləri ilə təhsilalanların nailiyyətləri arasında sıx korrelyasiya mövcuddur" [2].

Respublikamızın təhsil siyasətində əsas yerlərdən birini tutan bu problem müəllim hazırlığında və müəllimin peşəkar fəaliyyətində diqqət yetirilən məsələlərdən biridir. Qeyd olunan keyfiyyətlərin formalaşdırılması pedaqoji fəaliyyətin səmərəliliyinin yüksəldilməsi, onun şəxsiyyətyönümlü və nəticəyönümlü xarakterinin təmin edilməsi baxımından əsas və prioritet amillərdən biri kimi xüsusi aktuallıq kəsb edir. Müəllimin peşəkar olması, səriştəliliyi müəllim peşəsini daha nüfuzlu, müəllim əməyini daha maraqlı, daha məzmunlu və daha səmərəli edir. Professor M.İlyasov qeyd edir ki, "Müəllimin peşəkarlığı və səriştəliliyi müəllimin əslində bir müstəvidə – pedaqoji prosesdə öz fəaliyyətini peşəkarcasına yerinə yetirə bilməsi və bu prosesə səriştəli yanaşmasıdır" [4] Müəllimin peşəkarlığı, peşəsində səriştəli olması təhsilalanların daha yaxşı oxumalarına, təhsil prosesində daha dərin və hərtərəfli bilik, bacarıq və vərdişlər qazanmalarına, mənəvi-əxlaqi dəyərlərə daha mükəmməl yiyələnmələrinə, rəqabətqabiliyyətli mütəxəssislər kimi formalaşmalarına, hər bir vətəndaşın cəmiyyətin layiqli üzvü kimi tərbiyə olunmalarına, milli və ümumbəşəri dəyərləri mənimsəmələrinə əlverişli zəmin yaradır.

Son illərdə respublikada təhsil sahəsinin inkişafı istiqamətində sistemli və məqsədyönlü tədbirlər həyata keçirilmişdir. Xüsusilə, təhsil müəssisələrinin maddi-texniki bazasının gücləndirilməsi, müasir informasiya-kommunikasiya və təlim texnologiyalarının tətbiqinin genişləndirilməsi, eləcə də müəllimlərin ixtisas və peşəkarlıq səviyyələrinin yüksəldilməsi sahəsində mühüm nailiyyətlər əldə olunmuş və bu istiqamətdə fəaliyyətlər davam etdirilməkdədir. Bunlarla yanaşı, "sürətlə modernləşən Azərbaycan Respublikasında təhsil sisteminin insan kapitalının inkişafı çağırışlarına cavab verməsi istiqamətində yeni addımların atılmasına və ümumi təhsilin keyfiyyət göstəricilərinin Avropa standartlarına uyğunlaşdırılmasına ehtiyac vardır" [2].

Azərbaycan təhsilində müəllimlər, yeni texnologiyaları dərindən mənimsəyən, onlardan tədrisdə müvəffəqiyyətlə istifadə edən, innovasiyaları, yenilikləri özünün fəaliyyətinə tətbiq edən, məktəbə, öz peşəsinə bağlı olan, müəllimliyi özünün həyat kredosu hesab edən, sözün əsl mənasında onunla nəfəs alan, qarşıya çıxan pedaqoji çətinliklərin öhdəsindən gələn müəllimlərə tələbat çoxdur. Respublikada həyata keçirilən təhsil islahatları pedaqoji innovasiyaların tətbiqi üçün geniş imkanlar yaratmaqla yanaşı, Avropa təhsil standartlarına uyğun yeniliklərin işlənib hazırlanmasını və onların praktikaya inteqrasiyasını zəruri edən mühüm amil kimi çıxış edir. Müəllimlərin peşəkarlıq və səriştəlilik səviyyəsinin yüksəldilməsi müasir dövrümüzdə aktuallıq tələb edən və ən mühüm vəzifələrdən biri hesab edilir. Dünyada baş verən pedaqoji yenilikləri mənimsəmək, onlardan istifadə etmək və yeniliklər yaratmaqla pedaqoji fəaliyyətin məzmununu dərinləşdirmək aktual problem olaraq təhsilimizin qarşısında durur.

Dünya təhsil sistemlərində mövcud olan pedaqoji innovasiyaların öyrənilməsi və tətbiqi, eləcə də yaradıcı pedaqoqlar tərəfindən yeni yanaşmaların formalaşdırılaraq praktikaya inteqrasiyası müəllimlərdən yüksək səviyyədə yaradıcı pedaqoji təfəkkür və təşəbbüskarlıq tələb edir. Bu baxımdan, müəllimlərin peşəkarlıq və

sərişẗəlilik səviyyələrinin yüksəldilməsi, habelə innovasiyaların onların pedaqoji fəaliyyətinə sistemli şəkildə daxil edilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

II. Müəllimlik peşəsinin xüsusiyyətləri

Müəllimlik çox məsuliyyətli bir peşədir, bu məsuliyyət müasir dövrdə daha da əhəmiyyət kəsb edir. Çünki zamanın tələbləri dəyişdikcə bu peşəyə qoyulan zəruri tələblər daha da artır. Müəllimlik peşənin icrasını yetişdirdiyi vətəndaşın gələcək taleyi üçün məsuliyyət hiss edən, yüksək mənəvi keyfiyyətlərə malik, milli köklərə bağlı gözəl əxlaqa, dərin biliyə və hərtərəfli pedaqoji qabiliyyətə malik olan şəxsiyyətlərə həvalə etmək zərurəti meydana çıxır. Çunki cəmiyyət, zaman dəyişdikcə, müəllimlik sənətinə, müəllim şəxsiyyətinə və pedaqoji fəaliyyətə verilən sosial tələblər də dəyişir, yeni, bəzən də daha mürəkkəb məzmun kəsb edir. Həmin mürəkkəblik ilk növbədə sosial şəraitin, təhsilin qarşısında duran məqsəd və vəzifələrin, müəllimlərin professional və şəxsi keyfiyyətlərinə verilən tələblərin dəyişilməsi, eləcə də onların maddi və mənəvi tələbatlarının ödənilmə səviyyəsi ilə əlaqədar olaraq qarşıya çıxan çətinlik və maneələrin artmasında özünü büruzə verir.

Hər bir fəaliyyət kimi pedaqoji fəaliyyətin də özünəməxsus spesifik çətinlikləri vardır. Xüsusən də gənc müəllimlərin daha çox rastlaşdıqları belə çətinliklərin xarakterini, məxsusi cəhətlərini, onların aradan qaldırılması jollarını, psixoloji mexanizmlərini bilmək son dərəcə böyük elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Bu sahədə republikamızda lazımi tədqiqatların kifajət qədər olmaması seçilən problemin öyrənilməsini bir daha zəruri edir.

Təcrübələr sübut edir ki, müvəffəqiyyət qazanmağın ən başlıca səbəbi gənc müəllimlərin təlim-tərbiyə prosesində qarşılaşdıqları çətinliklərin, mahiyyətini müəyyənləşdirmək, onların psixoloji təhlilini vermək, həmin çətinliklərdən xilas olmağın optimal yol va vasitələrini araşdırmaqdan ibarətdir.

Müasir dövrdə müəllim cəmiyyətin əsas mühərriki, təhsilalanların yol göstərənidir. Ali təhsil müəssisələrində fəaliyyətə yeni başlayan gənc müəllimlərin peşəkar adaptasiya mərhələsi, adətən, mürəkkəb və çoxşaxəli çətinliklərlə müşayiət olunur. Pedaqoji fəaliyyətin ilkin dövrlərində onlar həm metodiki, həm də psixoloji xarakterli maneələrlə üzləşir, tədris prosesinin təşkili, tələbələrlə effektiv ünsiyyətin qurulması və auditoriyanın idarə olunması kimi məsələlərdə müəyyən çətinliklər yaşayırlar. Bu mərhələdə qarşıya çıxan qeyri-müəyyənliklər və təcrübə çatışmazlığı səbəbindən pedaqoji fəaliyyət bəzən gənc müəllimlər üçün mürəkkəb və anlaşılması çətin bir proses kimi qavranılır, bu isə məqsədlərə nail olmaq üçün daha yüksək səviyyədə səy və iradə tələb edir.

Belə şəraitdə bəzi gənc müəllimlərdə motivasiya zəifləyə, emosional gərginlik və peşəkar qeyri-müəyyənlik hissi yarana bilər. Uğursuz təcrübələrin təkrarlanması isə onların pedaqoji fəaliyyətə marağının azalmasına və hətta bu sahədən uzaqlaşmaq meyillərinin formalaşmasına səbəb ola bilər. Bununla belə, müəllimlik peşəsində uğurlu formalaşma və davamlı inkişaf digər peşələrlə müqayisədə daha mürəkkəb və uzunmüddətli prosesdir. Bu proses yalnız ali təhsil müəssisələrində əldə edilmiş nəzəri bilik, bacarıq və vərdişlərlə məhdudlaşmır; eyni zamanda, praktik təcrübənin qazanılması, reflektiv yanaşmanın formalaşdırılması, peşəkar özünüinkişaf və davamlı təlim kimi amillərin vəhdətini tələb edir.

Yaxşı müəllim həm müəllim, həm məsləhətçi, həm psixoloq, həm də aktyor olmalıdır, yəni həyatının istənilən anında şagirdə kömək etməli, diqqəti özünə çəkə bilməli, öyrətdiyi mövzuya maraq oyatmalıdır. Belə çətinliklər, gərkinliklər gənc nəslin təlim-tərbiyəsi işinin səmərəli təşkilinə mənfi təsir göstərir. Odur ki, təlim-tərbiyə sahəsində müvəffəqiyyət qazanmaq üçün gənc müəllimlərin qarşılaşdıqları başlıca çətinliklərin mahiyyətini, xarakterini, təzahür formalarını aşkar etmək, bu sahədə aparılan tədqiqatların əsas istiqamətlərini müəyyənləşdirmək elmi və praktik cəhətlən çox vacibdir, çünki dərin elmi araşdırmalara və adekvat elmi nəticələrə istinad etmədən gənc müəllimlərə praktik fəaliyyətində lazımi köməklik göstərmək mümkün deyildir. Gənc müəllimlərin pedaqoji fəaliyyət prosesində qarşılaşdıqları çətinliklərin mahiyyətinin açılması, təzahür formalarının öyrənilməsi, onların səbəblərinin təhlil edilməsi həmin çətinliklərin aradan qaldırılması yolunda atılan çox vacib bir addımdır.

III. Pedaqoji fəaliyyətdə çətinliklərin təhlili

Gənc müəllimlərin pedaqoji fəaliyyəti prosesində rastlaşdıqları çətinliklərin bir qismi təlim prosesi ilə bağlıdır. Bu xüsusdan olan çətinliklər didaktik xarakterli çətinliklərdir və belə çətinliklər əsasən aşağıda verilən formalarda təzahür edir:

1. Tələbələrdə idrak imkanlarının, xüsusilə müstəqil düşünmə bacarıqlarının inkişafı ilə bağlı yaranan çətinliklər;
2. Təlim üzrə bacarıq və vərdişlərin formalaşdırılması prosesində yaranan çətinliklər;
3. Tədris prosesi ilə mənimsəmə səviyyəsi arasındakı uyğunsuzluqlardan qaynaqlanan problemlər;

4. Elmi informasiyanın həcminin artması və bunun nəticəsində tədris materialının sıxlaşdırılması ilə bağlı yaranan çətinliklər;
5. Elmi biliklərin dinamik inkişafı ilə tədris proqramları, dərsliklər və metodiki vəsaitlərin məzmunu arasında uyğunsuzluq nəticəsində meydana çıxan problemlər;
6. Qarşıya qoyulan məqsəd və vəzifələrlə tələbələrin maraq və iddia səviyyəsi arasındakı uyğunsuzluqlardan irəli gələn problemlər;
7. Tələbələrin bilik və bacarıqlarının qiymətləndirilməsi üçün müasir meyar və standartların yetərincə formalaşmamasından doğan çətinliklər;
8. Tələbələrdə təlimə dair idrak motivasiyasının formalaşdırılması ilə bağlı çətinliklər;
9. Öyrənmənin kollektiv, mənimsəmənin isə fərdi xarakter daşıması nəticəsində yaranan ziddiyyətlərdən irəli gələn problemlər;
10. Akademik göstəriciləri zəif olan tələbələrlə fərdi işin təşkili zamanı qarşıya çıxan çətinliklər;
11. Pedaqoji fəaliyyətin diaqnostik və stimullaşdırıcı-tənzimləyici funksiyalarının icrası ilə bağlı çətinliklər;
12. Tələbələrin təlim prosesində əldə etdikləri nəzəri biliklərlə empirik yolla qazandıqları təcrübə arasındakı fərqlərdən irəli gələn ziddiyyətlərlə bağlı çətinliklər;
13. Vaxtın səmərəli planlaşdırılması və bölgüsünün düzgün təşkil olunmaması ilə bağlı problemlər.

Qeyd olunanlardan aydın olur ki, müəllim pedaqoji fəaliyyət zamanı müəyyən didaktik çətinliklərlə rastlaşır, onların çoxluğu və rəngarəngliyi gənc müəllimin peşə fəaliyyətinin müəyyən qədər mürəkkəb və çoxcəhətli olmasını bir daha aydın sürətdə göstərir. Əlbəttə, burada qeyd edilənlər müəllimin pedaqoji fəaliyyəti zamanı qarşıya çıxan çətinliklərin yalnız müəyyən qrupunu əhatə edir.

Burada başqa xarakterli çətinliklərə də rast gəlmək mümkündür. Həmin çətinliklər təlim zamanı müəllim və tələbə arasında ünsiyyətlə bağlı olur. Məlumdur ki, muasir pedaqogikada ünsiyyət və fəaliyyətin qırılmaz vəhdət təşkil etdiyi xüsusi olaraq vurğulanır. Ünsiyyət fəaliyyətin mühüm bir hissəsini, tərəfini təşkil edir. Pedaqoji fəaliyyətin də məqsəd və vəzifələrini əsasən ünsiyyət vasitəsilə həyata keçirmək mümkündür. Ünsiyyət prosesi düzgün təşkil olunmadan pedaqoji fəaliyyətin didaktik və tərbiyəvi vəzifələrinin lazımi səviyyədə həyata keçirilməsi mümkün deyildir. Ona görə də müəllimin peşə fəaliyyətində pedaqoji ünsiyyət qabiliyyətinə xüsusi əhəmiyyət verilir. Pedaqoji fəaliyyət üçün ünsiyyət xüsusi məna kəsb edir. Yəni təlimin keyfiyyəti əsasən müəllimin ünsiyyət qabiliyyətindən, onun tələbələrlə ünsiyyətdə olarkən qarşılaşdığı çətinlikləri aradan qaldırma məharətindən asılıdır. Təlim-tərbiyə prosesində ünsiyyət çətinliklərinin böyük əksəriyyəti qarşılıqlı təsir prosesində yaranır. Çünki qarşılıqlı təsir ünsiyyətin nüvəsini təşkil edir [1].

Təcrübə göstərir ki, pedaqoji fəaliyyətə təzəcə başlayan gənc müəllimlər tələbələrlə ünsiyyət yaratmaqda bir sıra çətinliklərlə qarşılaşırlar. Şübhəsiz ki, bu çətinliklər gənc müəllimin əhval-ruhiyyəsinə, onun pedaqoji ustalığının artmasına ciddi təsir göstərir.

Müşahidələr və empirik faktların təhlilinə müvafiq psixoloji və pedaqoji ədəbiyyatlarda, eləcə də digər tədqiqatlarda öz əksini tapmış məlumatlara və məktəb təcrübələrinə istinadən həmin çətinlikləri aşağıdakı şəkildə qruplaşdırmaq olar:

1. Müəllimin fərdi psixoloji xüsusiyyətləri və emosional-iradi qabiliyyətləri ilə bağlı yaranan çətinliklər;
2. Tələbələrlə ünsiyyət üsul və davranışlarının xüsusiyyətlərindən doğan problemlər;
3. Tələbələrin daxili psixoloji vəziyyətini düzgün dəyərləndirməklə bağlı çətinliklər;
4. Lüğət ehtiyatının məhdudluğu və daxili nitqdən xarici nitqə keçiddə çətinliklər;
5. Verbal ünsiyyətdə jest və mimikalardan səmərəli istifadə edə bilməməkdən yaranan problemlər;
6. Nitq pozuntuları (kəkələmə, dilin topuq vurması) və tez-tez adi sözlərdən istifadə etmə nəticəsində meydana çıxan çətinliklər;
7. Tədris materialını tələbələrə emosional cəlbediciliklə təqdim edə bilməməkdən irəli gələn problemlər.

Ünsiyyət mədəniyyətinə malik olmaq müəllim peşəkarlığının ən mühüm göstəricilərindən biridir. Pedaqoji ünsiyyətin qeyri-demokratik olması və ya düzgün qurulmaması pedaqoji prosesdə elə boşluqların yaranmasına səbəb olur ki, onu heç nə ilə doldurmaq mümkün olmur.

IV. Nəticə

Göründüyü kimi, təlim-tədris prosesində gənc müəllimlər çoxşaxəli və müxtəlif səciyyəli çətinliklərlə üzləşirlər. Bu çətinliklər yalnız bir sahə ilə məhdudlaşmır, həm pedaqoji, həm psixoloji, həm də metodiki aspektləri əhatə edir və onların hər biri müəllimin peşəkar fəaliyyətinə fərqli istiqamətlərdə təsir göstərir.

Pedaqoji çətinliklər əsasən dərsin planlaşdırılması, təlim metodlarının düzgün seçilməsi, dərsin məqsədlərinə uyğun materialların hazırlanması və auditoriyanın idarə olunması ilə bağlı olur. Psixoloji çətinliklər isə özünəinamın formalaşması, streslə mübarizə, auditoriya qarşısında çıxış zamanı yaranan həyəcan və emosional gərginliklə əlaqədardır.

Metodiki çətinliklər isə daha çox nəzəri biliklərin praktikaya tətbiqi, innovativ tədris üsullarının mənimsənilməsi və müasir təlim texnologiyalarından səmərəli istifadə edilməsi ilə bağlıdır. Bu amillərin hər biri gənc müəllimlərin peşəkar adaptasiya prosesini bir qədər mürəkkəbləşdirir və onların tədris prosesində effektivliyinə birbaşa təsir göstərir. Eyni zamanda, tələbələrlə düzgün və səmərəli ünsiyyətin qurulması, onların motivasiyasının artırılması və dərs prosesinə cəlb edilməsi də gənc müəllimlər üçün mühüm çətinliklərdən biri kimi çıxış edir.

Bütün bu faktorlar nəticə etibarilə gənc müəllimlərin pedaqoji fəaliyyətinin keyfiyyətinə, onların peşəkar inkişaf tempinə və tədris prosesində özünürealizasiya imkanlarına təsir göstərir. Buna görə də, bu çətinliklərin mahiyyətinin dərindən öyrənilməsi və onların aradan qaldırılması üçün effektiv yolların müəyyənləşdirilməsi müasir pedaqoji elmin aktual problemlərindən biri kimi çıxış edir.

Ədəbiyyat

1. Alıyev C.Q., Gənc müəllimlərin pedaqoji fəaliyyət prosesində qarşılaşdıqları çətinliklərin psixoloji təhlili. Psixologiya elmləri üzrə alimlik dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiya. BDU, Bakı 1998, 169 s.
2. Azərbaycan Respublikasında təhsil üzrə Dövlət Strategiyası. Bakı, 2013.
3. Cahangirov A., Qədirov F. Müasir dərs. "Azərbaycan müəllimi" qəzeti,2000 –ci il, 21- 27 sentyabr.
4. İlyasov M.İ. Müəllim peşəkarlığı və pedaqoji səriştəliliyin müasir problemləri. Monoqrafiya. Bakı: "Elm və təhsil", 2018,208 s.
5. Mehrabov A.O. Səriştəli müəllim hazırlığının problemləri. Bakı: Elm və təhsil, 2015.- 288 s.
6. http://www.anl.az/down/meqale/az_muellimi/2010/dekabr/145271.htm

RİYAZİYYAT TƏDRİSİNDƏ DİSKALKULİYA SƏDDİNİN AŞILMASI: MÜƏLLİM MÜŞAHİDƏSİNDƏN KLASSİK VƏ MÜASİR PEDAQOJİ HƏLLƏR MODELİNƏ

SAHİLƏ MİKAYILOVA
Qarabağ Universiteti
Pedaqoji fakültə, Riyaziyyat müəllimliyi ixtisası
S300030@karabakh.edu.az
XANKƏNDİ, AZƏRBAYCAN

Xülasə

Bu məqalə riyaziyyatın tədrisi prosesində şagirdlərin qarşılaşdığı ən ciddi koqnitiv maneələrdən biri olan diskalkuliya problemini pedaqoji müstəvidə təhlil edir. Tədqiqatın aktuallığı, ənənəvi tədris metodlarının "tənbəl" və ya "bacarıqsız" kimi etiketlədiyi şagirdlərin əslində fərqli bir öyrənmə mexanizminə ehtiyac duyduğunu üzə çıxarmaqdır. İşin elmi yeniliyi Qəbələ və Xankəndi məktəblərində aparılan müşahidə əsaslı tədqiqat vasitəsilə, real sinif mühitində riyazi öyrənmə çətinliyinin 18–23% (Qəbələ 23%, Xankəndi 18%) olduğunu sübut etməsidir. Bu, beynəlxalq statistikaların (5–6%) əhatə etmədiyi "pedaqoji diskalkuliya" faktını doğruluğu ilə ortaya qoyur. Məqalənin praktiki əhəmiyyəti isə CRA metodu və adaptiv e-öyrənmə vasitəsilə bu şagirdlərin riyazi qavrayışını bərpa edəcək yeni bir metodik yol xəritəsi təqdim etməsidir.

Açar sözlər: Pedaqoji diskalkuliya, subitizing defisiti, CRA metodu, diferensiallaşdırılmış tədris, rəqəmsal manipulativlər.

OVERCOMING THE DYSCALCULIA BARRIER IN MATHEMATICS EDUCATION: FROM TEACHER OBSERVATION TO A MODEL OF CLASSICAL AND MODERN PEDAGOGICAL SOLUTIONS

SAHİLA MİKAYİLOVA
Karabakh University
Faculty of Pedagogy, Mathematics Teaching Major
S300030@karabakh.edu.az
KHANKENDİ, AZERBAİJAN

Abstract

This research examines the phenomenon of dyscalculia and its impact on mathematical cognition within the framework of modern pedagogical practices. The study highlights a critical discrepancy between theoretical prevalence rates and classroom realities. While international clinical sources cite a 5-6% prevalence, empirical observations conducted in schools across the Gabala and Khankendi regions reveal a significantly higher rate of 18-23% among students. This gap is attributed to "hidden dyscalculia," subitizing deficits, and methodological shortcomings in early mathematics education. The paper proposes an integrative pedagogical model that synthesizes the classic CRA (Concrete-Representational-Abstract) method with modern adaptive e-learning tools to bridge these cognitive gaps. The findings suggest that transitioning from traditional lecturing to differentiated, technology-enhanced instruction can effectively mitigate mathematical learning barriers and foster inclusive educational environments.

Keywords: Dyscalculia, pedagogical reality, subitizing, CRA method, e-learning, mathematical cognition, differentiated instruction.

Giriş

Müasir kurikulum və sürətli tədris proqramları bütün şagirdlərin eyni koqnitiv sürətlə inkişaf etdiyini fərz edir, lakin pedaqoji reallıq tamamilə fərqlidir. Diskalkuliya adlandırdığımız riyazi öyrənmə pozuntusu, şagirdin normal intellektinə baxmayaraq, rəqəmlərin arxasındakı miqdar mənasını dərk edə bilməməsi ilə xarakterizə olunur. Bir riyaziyyat müəllimi olaraq müşahidə etdiyim ən böyük problem, subitizing (miqdarı anidən qavrama) bacarığı zəif olan şagirdlərin mücərrəd rəqəmlər dünyasında "kor" qalması və nəticədə "öyrənilmiş çarəsizlik" sindromuna qapılmasıdır. Bu tədqiqatın məqsədi sinif daxilində görünməyən bu "rəqəm səddini" aşmaq üçün həm neyrobioloji səbəbləri, həm də yanlış tədris metodikasının yaratdığı fəsadları araşdırmaqdır. Qəbələ və Xankəndi məktəbləri üzrə apardığım müqayisəli təhlil göstərir ki, diaqnozun gecikməsi şagirdin riyaziyyata qarşı emosional blokada qurmasına səbəb olur. Giriş hissəsində problemin əlamətləri və pedaqoji fəsadları təhlil edilir, ardınca isə bu çətinlikləri aradan qaldıracaq konkret metodik həllər təklif olunur.

Tədqiqat metodu

Bu tədqiqatda keyfiyyət və kəmiyyət araşdırma metodlarının sintezindən istifadə edilmişdir. E-öyrənmənin riyaziyyat təhsilindəki rolunu müəyyən etmək üçün mövcud elmi məqalələr, kitablar və konfrans materiallarını əhatə edən geniş ədəbiyyat araşdırması (literature review) aparılmış, eyni zamanda müsahibə və anketlər vasitəsilə müəllim və şagirdlərin platforma təcrübələri toplanmışdır. Tədqiqat çərçivəsində Qəbələ və Xankəndi məktəblərində aparılan sinifdaxili müşahidələr və tətbiq edilən statistik analiz metodları e-öyrənmənin təhsil sistemindəki üstünlüklərini dəyərləndirməyə, həmçinin diskalkuliya üzrə real statistik mənzərəni və gələcək inkişaf perspektivlərini anlamağa imkan vermişdir.

Əsas hissə

Diskalkuliya, fərdin normal intellekt səviyyəsinə, adekvat təhsil imkanlarına və motivasiyasına baxmayaraq, hesablamanı öyrənməkdə və riyazi anlayışları mənimsəməkdə çəkdiyi ciddi və davamlı çətinlikdir. Bu pozğunluq sadəcə "riyaziyyatda zəif olmaq" deyil, beynin rəqəmsal kəmiyyətləri emal etmək qabiliyyətinin struktur və funksional fərqliliyindən qaynaqlanır. Bütün dünyada, eyni zamanda bu problemə, əsasən, aşağı yaş qruplarında Azərbaycanda da rast gəlinir. Bu problemin bir neçə yaranma səbəbi var. Onlardan ən çox rast gəlinənləri beynin emal mərkəzindəki neyrobioloji fərqliliklər və işlək yaddaşın zəifliyidir. Bundan əlavə, genetik faktorları və vizual-məkan qavrayışındakı çətinlikləri də diskalkuliyanın səbəbləri kimi göstərmək olar.

Diskalkuliyanın əlamətləri

Diskalkuliya pozuntusu olan şagirdləri anlamaq üçün bir çox əlamətlər var. Ən geniş yayılmış əlamətlər aşağıdakılardır:

- Subitizing- Əşyaları tək-tək saymadan onların miqdarını bir baxışda anlama bacarığıdır. Bu anlayış şagirdin rəqəm hissinin nə qədər inkişaf etdiyini göstərən göstəricidir. Diskalkuliyalı şagirdlərdə isə subitizing anlayışı ya olmur, ya da həddindən artıq zəif olur. Belə şagird üçün 5 rəqəmi sadəcə bir simvoldur; subitizing bacarığı olmayan şagird bu simvolun arxasındakı "beşlik miqdarı" hiss etmir. Bu, kor bir insanın rəngləri əzbərləməsinə bənzəyir – rəngin adını bilir, amma onu görmür.
- Rəqəmlər və onlar üzərində əməllərdə problemlər- Bu şagirdlər rəqəmləri düzgün yazmaqda və tanımaqda çətinlik çəkirlər. Çox vaxt rəqəmləri tərsinə yazırlar və ya yerini dəyişirlər. Riyazi simvolları qarışdırmaq, əməlləri yerinə yetirərkən onların ardıcıllığını qorunmaması kimi çətinliklərə də çox rast gəlinir.
- Məkan-zaman koordinasiyası- Diskalkuliyalı şagirdlər riyaziyyatdan əlavə, həyati məqamlarda da çətinlik çəkirlər. Buna misal olaraq, dəfələrlə getdiyi məkanı tanımamaq, zamanı və ölçü münasibətlərini anlamamağı göstərmək olar.
- Ədəd oxu- Belə şagirdlərin ən böyük problemlərindən biri də ədədləri ədəd oxunda düzməyi bacarmamaqdır, 4-ün 5-dən kiçik olmasını bilməmək kimi.

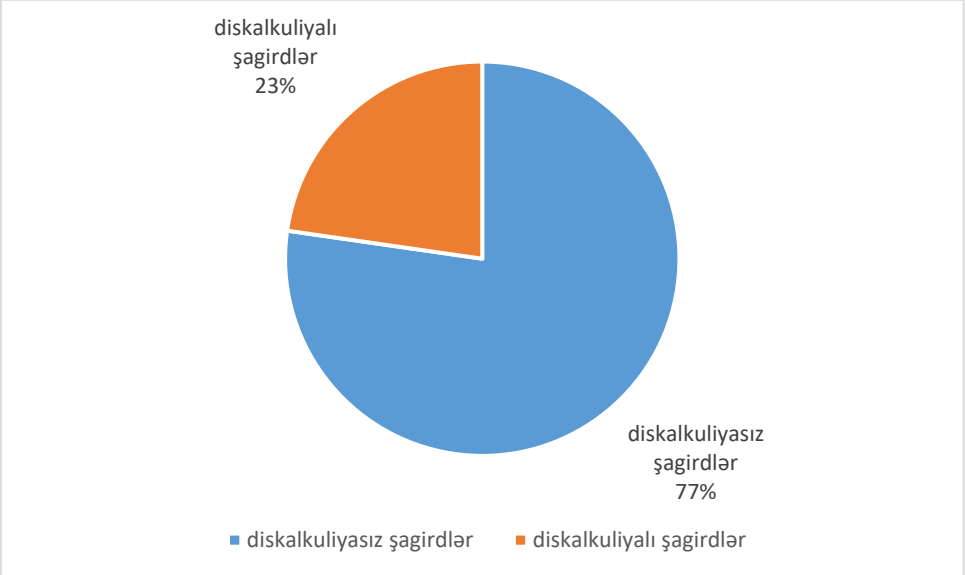
Müasir təhsildə "Niyə görünmür?"

Bir riyaziyyat müəllimi olaraq onu vurğulaya bilərəm ki, mövcud standartlar hər kəsə uyğun deyil və hər bir şagirdin fərdiliyini nəzərə almır. Diskakuliyalı şagirdlər tənbəl, heç nə öyrənə bilməyən şagird kimi görünürlər. Bu şagirdlərin sadəcə "tənbəl" kimi gözə görünməsi onlarda psixoloji travma yaradır və bunun nəticəsində şagirdlər öyrənilmiş çarəsizliyə qapılırlar, diaqnoz gecikir, şagirdlərin problemi daha da dərinləşir. Bundan əlavə, sürətli tədris proqramı diskalkuliyalı şagirdlərin görməzdən gəlinməsinə səbəb olur.

Tədqiqat: Müşahidə və Analiz

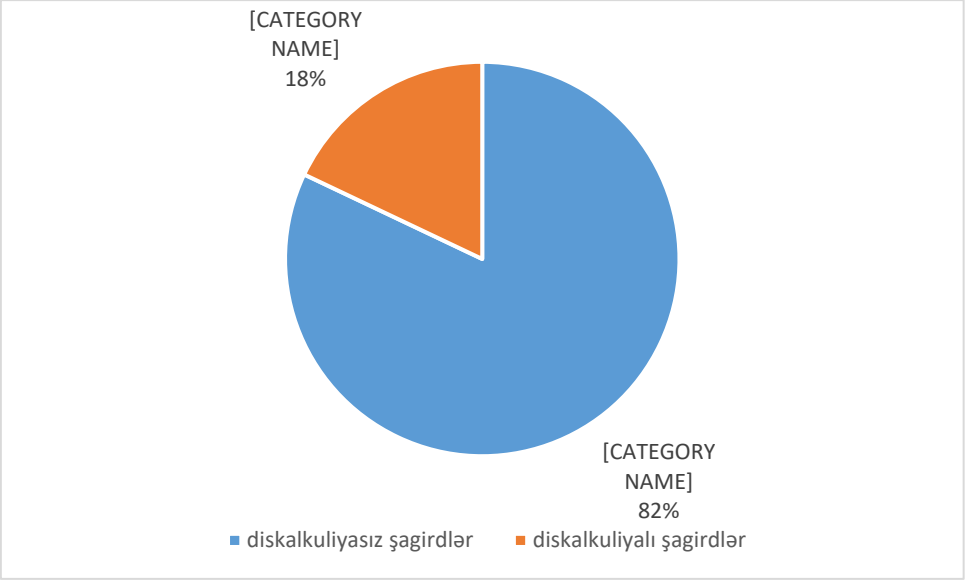
Məqalənin bu hissəsində diskalkuliyanın real məktəb mühitindəki təzahürünü anlamaq məqsədilə apardığım kiçikmiqyaslı tədqiqatın nəticələri əks olunub. Tədqiqat müşahidə metodu ilə iki fərqli bölgədə yerləşən təhsil müəssisələrində — Qəbələ və Xankəndi məktəblərində aparılmışdır. Müşahidələr nəticəsində əldə olunan rəqəmlər göstərir ki, hər iki bölgədə riyazi qavrayış çətinliyi çəkən şagirdlərin sayı gözləniləndən xeyli yüksəkdir.

1. Qəbələ rayon Vəndam qəsəbə 1 saylı tam orta məktəbinin 1A sinfi üzrə göstəricilər: Aparılan müşahidələr zamanı şagirdlərin 23%-də diskalkuliya əlamətləri və riyazi qavrayışda ciddi ləngimələr aşkar edilmişdir. Şagirdlərin böyük əksəriyyəti (77%) isə riyazi proqramı standart metodlarla mənimsəmək qabiliyyətinə malikdir.(Şəkil 1)



Şəkil 1: Qəbələ rayon Vəndam qəsəbə 1 saylı tam orta məktəbinin 1A sinfi üzrə diskalkuliya və normal inkişaf göstəriciləri, faizlə

2. Xankəndi şəhər Nizami Gəncəvi adına 1 saylı tam orta məktəbinin 1A sinfi üzrə üzrə göstəricilər: Xankəndində aparılan tədqiqatda diskalkuliyalı şagirdlərin faiz göstəricisi daha yüksək — 18% olaraq qeydə alınmışdır. Bu məktəbdə diskalkuliyasız şagirdlər isə ümumi kütlənin 82%-ni təşkil edir.(Şəkil 2)



Şəkil 2: Xankəndi şəhər Nizami Gəncəvi adına 1 saylı tam orta məktəbinin 1A sinfi üzrə diskalkuliya və normal inkişaf göstəriciləri, faizlə

Elmi Mənbələr və Real Müşahidələr: Statistik Təzad

Tədqiqatın ən diqqətçəkən məqamı əldə olunan nəticələrin mövcud elmi ədəbiyyatdakı rəqəmlərlə kəskin fərqlənməsidir.

- Beynəlxalq Statistika: Mövcud pedaqoji və neyrobioloji mənbələrdə diskalkuliyanın yayılma tezliyinin ümumi əhali arasında orta hesabla 5-6% civarında olduğu qeyd edilir.
- Tədqiqat Nəticələri: Lakin mənim Qəbələ və Xankəndi məktəblərində apardığım müşahidələr tamamilə fərqli mənzərəni ortaya qoyur.

Statistik Fərqliliyin Səbəbləri

Mənbələrlə real müşahidələr arasındakı bu kəskin fərq aşağıdakı fundamental səbəblərlə izah olunur:

- Gizli Diskalkuliya: Rəsmi statistikalar yalnız klinik diaqnozları əhatə edir, lakin sinif daxili müşahidə diaqnoz almamış "gizli" halları da üzə çıxarır.
- Metodik Boşluqlar: İbtidai siniflərdə CRA (Konkret-Yarımkonkret-Mücərrəd) metodunun və vizuallaşdırmanın zəif tətbiqi şagirdlərdə süni riyazi çətinlik yaradır.
- Riyazi Həyəcan: İmtahan və zaman təzyiqi şagirdlərin koqnitiv yükünü artıraraq neyrobioloji diskalkuliya ilə qarışdırılan "psixoloji blokadalar" yaradır.
- Subitizing Çatışmazlığı: Şagirdlərin miqdarı anidən qavrama bacarığının aşağı olması onların ümumi riyazi faizini aşağı salan əsas amil kimi qeydə alınmışdır.

Nəticə olaraq onu qeyd etmək lazımdır ki, şagirdləri ciddi müşahidə yolu ilə nəzərdən keçirdikdə və yalnız neyrobioloji cəhətdən təhlil etmədikdə diskalkuliyanın əhatə faizi 5-6 deyil, 20% ətrafında olacaqdır.

Diskalkuliyanın aradan qaldırılması üçün həll yolları

Diskalkuliya neyrobioloji bir problem olsa da, erkən diaqnoz qoyulduqda bu problemi qismən və ya tamamilə aradan qaldırmaq mümkündür. Bunun üçün müəllimlərə həm klassik, həmdə müasir təhsilin tələblərinə uyğun e-öyrənmə əsaslı həll yolları təklif etmək olar.

Klassik və Pedaqoji Həllər (Fundamental)

Klassik və pedaqoji həllərə bir neçə nümunə göstərmək olar.

1. Konkret-Yarımkonkret-Mücərrəd (CRA) Metodu

Bu metod diskalkuliyası olan şagirdlər üçün “qızıl standart” hesab olunur. Həmin şagirdlərin beyni mücərrəd rəqəmləri birbaşa anlamaqda çətinlik çəkdiyinə görə bu metod müəllimlərə 3 mərhələli bir həll yolu təklif edir. Birinci mərhələ konkret mərhələ adlanır. Bu mərhələnin əsas məqsədi şagirdin rəqəmləri görməzdən əvvəl onu hiss etməsini təmin etməkdir. Bunun üçün rəngli kublar, say çubuqlarından istifadə edilir. İkinci mərhələ yarımkonkret mərhələdir. Artıq bu mərhələdə əşyalardan yox, onların şəkillərindən istifadə edilir. Şagird kublara, çubuqlara toxunmur, lakin onların şəklini vizual olaraq görür. Bu, beynin əşyadan simvola keçid mərhələsidir. Üçüncü mərhələdə isə şagirdə yalnız riyazi simvollar və rəqəmlər təqdim olunur. Bu mərhələ isə mücərrəd mərhələ adlanır. Əgər şagird ilk iki mərhələni tam mənimsəyibsə,

artıq üçüncü mərhələdə çətinlik çəkməyəcək, əks halda rəqəmlər onun üçün "yad bir əlifba" olaraq qalacaqdır.

2. Diferensiallaşdırılmış Tədris

Sinifdəki bütün şagirdlərin eyni sürətlə və eyni üsulla öyrənmədiyini qəbul edən bu yanaşma, diskalkuliyalı şagirdi "təcrid etmədən" inklüzivliyə xidmət edir. Bunun üçün müəllim izah zamanı hər bir şagirdi nəzərə alaraq həm şifahi, həm vizual, həm də kinestetik metodlardan istifadə edir. Diskalkuliyalı şagirdlər üçün məzmun fərdiləşdirilir, tapşırıqlar digər şagirdlərə yalnız şifahi olaraq verildiyi halda, həmin şagirdlərə müəllim tapşırıqları vizual dəstəklə hazırlayır və təqdim edir.

3. Metakoqnitiv strategiyalar

Diskalkuliyalı şagirdlər çox vaxt riyazi bir maneə ilə qarşılaşanda "donub qalırlar" və harada çətinlikləri olduğunu bilmirlər. Metakoqnitiv düşüncə onlara öz düşüncələrini idarə etməyə yardım edir. İlk öncə şagirdlərdə öz-özünə sual vermə bacarığı öyrədilir. "Məndən nəyi tapmaq tələb olunur?", "Əlimdə hansı məlumatlar var?", "Keçən dəfə oxşar məsələni necə həll etmişdim?" və s. Ardınca isə səhvlərini özlərini analiz etməyə imkan yaradılır, eyni zamanda müəllim danlamaq əvəzinə şagirdlə birgə səhvin harada baş verdiyini axtardıqda şagirdin uğursuzluq qorxusunu azaldır və onda "mən bunu edə bilərəm" hissini yaradır. Məsələ həlli üçün vizual xatırladıcılar və addım-addım siyahılar yaratmaq da şagirdin öyrənmə yolunda işlək yaddaşdakı biliyinin davamlılığını saxlamağa yardım edir.

Müasir və e-öyrənmə həlləri

Məqalənin bu bölməsi "gələcəyin təhsili" ilə diskalkuliyanın kəsişdiyi nöqtədir. Müasir texnologiyalar diskalkuliyalı şagird üçün təkcə köməkçi vasitə deyil, həm də beynin zəif tərəflərini (məsələn, işlək yaddaş və rəqəm qavrayışı) kompensasiya edən "rəqəmsal neyro-protez" rolunu oynayır. Müasir həllərə də bir neçə nümunə göstərmək olar.

1. Adaptiv proqramlar (Süni İntellekt dəstəyi)

Adaptiv öyrənmə sistemləri nəinki diskalkuliyalı şagirdlərə, eyni zamanda bütün şagirdlərə fərdi öyrənmə sürəti təqdim edir. Şagird hər hansı mövzuda çətinlik çəkirsə, süni intellekt proqramları onu müəyyənləşdirib, ətraflı izah və yeni misallar təqdim edə bilirlər. Bu, sinifdə müəllimdən təkrar soruşmağa çəkinən şagird üçün təhlükəsiz bir öyrənmə mühiti yaradır. Eyni zamanda, bu proqramlar şagirdlərə yalnız "səhvdir" demir, şagirdin səhvini analiz edib ona dəstək olur. Bu platformalara *Khan Academy* və ya *DreamBox* kimi platformaları nümunə göstərmək olar.

2. Vizuallaşdırma Alətləri (Dinamik Riyaziyyat)

Diskalkuliyalı şagirdlər rəqəmləri cansız simvollar kimi gördüyünə görə, onlara ən yaxşı dəstək olma üsullarından biri də vizuallaşdırma alətlərindən istifadə etməkdir. *GeoGebra, Desmos* və ya *PhET Interactive Simulations* platformalarında şagirdlər bir düsturu və ya funksiyanın qiymətlərini dəyişəndə qrafiklərin necə dəyişməsini vizual olaraq görə bilirlər. Bundan əlavə, virtual manipulativlər vasitəsilə şagirdlər fiqurları bölə, onları birləşdirə, onlardan onluq yarada bilərlər.

3. Oyunlaşdırılmış qiymətləndirmə

Diskalkuliyalı şagirdlər üçün ən böyük maneə "riyazi həyəcan" (math anxiety) və sınaq imtahanı qorxusudur. Oyunlaşdırma bu baryeri bir neçə yollarla aşır. Macəra formatında öyrənmə: *Prodigy Math Game* kimi oyunlarda şagird riyazi suallara cavab verərək qəhrəmanını irəlilədir. Burada sual "imtahan" deyil, "oyun səviyyəsini keçmək üçün bir açar" kimi qəbul edilir. Anlıq müsbət rəy: Kağız üzərindəki imtahanlarda və ya yoxlamalarda şagird səhvini günlər sonra sadəcə bir "-" işarəsi ilə öyrənir. Lakin oyunlaşdırılmış sistemlərdə səhv xoş bir vizualla ifadə olunur və şagirdin yenidən cəhd etmə motivasiyasını artırır.

Ümumiyyətlə, bunu unutmamaq lazımdır ki, texnologiya müəllimi əvəz etmir, onun əlindəki imkanları genişləndirir. E-öyrənmə diskalkuliyalı şagird üçün "fərdi repetitor" rolunu oynayır ki, bu da sinif daxilindəki diferensiallaşmanı real vaxt rejimində həyata keçirməyə imkan verir.

Nəticə və tövsiyələr

Tədqiqatın pedaqoji yekunu göstərir ki, diskalkuliya sadəcə tibbi bir diaqnoz deyil, eyni zamanda təhsil sisteminin fərdiliyə uyğunlaşma ehtiyacıdır. Qəbələ (23%) və Xankəndi (18%) məktəblərində qeydə alınan yüksək göstəricilər sübut edir ki, hər 5 şagirddən birində ciddi riyazi qavrayış problemi mövcuddur. Bu statistik fərq, rəsmi mənbələrin (5-6%) görmədiyi, lakin müəllimin hər gün sinifdə qarşılaşdığı metodik boşluqların və subitizing çatışmazlığının birbaşa nəticəsidir.

Məqalədə irəli sürülən CRA metodu və e-öyrənmə həlləri təkcə bu 20%-lik kütləni "xilas etmək" üçün deyil, bütövlükdə riyaziyyatın hamı üçün əlçatan bir dilə çevrilməsi üçün zəruridir. Pedaqoji fəaliyyətimizin əsas qayəsi şagirdi "tənbəl" etiketindən azad edib, rəqəmsal texnologiyaların dəstəyi ilə ona

rəqəmləri "görməyi" və "hiss etməyi" öyrətmək olmalıdır. Yekun olaraq, müasir riyaziyyat müəllimi həm pedaqoq, həm də şagirdin öyrənmə yolundakı neyro-psixoloji maneələri aradan qaldıran bir bələdçi rolunda çıxış etməlidir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Amelia, W., & Supena, A. (2022). Mathematics learning strategy for discalculia students in elementary school. *Jurnal Kependidikan: Jurnal Hasil Penelitian dan Kajian Kepustakaan di Bidang Pendidikan, Pengajaran dan Pembelajaran, 8*(1), 209–219.
2. Butterworth, B. (2010). Foundational numerical capacities and the origins of dyscalculia. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*(12), 534–541.
3. Calderón Delgado, M. A., Zamora Delgado, R. I., Palma Palma, R., & Moya, M. E. (2019). Dyscalculia and pedagogical intervention. *International Research Journal of Management, IT and Social Sciences*, *6*(5), 95–100
4. Kaufmann, L., & von Aster, M. (2012). The diagnosis and management of dyscalculia. *Deutsches Ärzteblatt International*, *109*(45), 767–778.
5. Kaufmann, L., Mazzocco, M. M., Dowker, A., von Aster, M., Göbel, S. M., Grabner, R. H., Henik, A., Jordan, N. C., Karmiloff-Smith, A. D., Kucian, K., Rubinsten, O., Szucs, D., Shalev, R., & Nuerk, H.-C. (2013). Dyscalculia from a developmental and differential perspective. *Frontiers in Psychology*, *4*, 516.
6. Kucian, K., & von Aster, M. (2015). Developmental dyscalculia. *European Journal of Pediatrics*, *174*(1), 1–13.
7. Noël, M.-P., & Karagiannakis, G. (2022). *Effective teaching strategies for dyscalculia and learning difficulties in mathematics: Perspectives from cognitive neuroscience*. Routledge.
8. Price, G. R., & Ansari, D. (2013). Dyscalculia: Characteristics, causes, and treatments. *Numeracy*, *6*(1), Article 2.
9. Shalev, R. S. (2004). Developmental dyscalculia. *Journal of Child Neurology*, *19*(10), 765–771.
10. Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *49*(11), 868–873.
11. Williams, A. (2012). A teacher's perspective of dyscalculia: Who counts? An interdisciplinary overview. *Australian Journal of Learning Difficulties*, *17*(1), 1–16.

THE LANGUAGE OF SUSTAINABILITY: INTEGRATING THE 12 PRINCIPLES OF GREEN CHEMISTRY INTO ENGLISH LANGUAGE LEARNING

AYSU SADIGOVA
Department of Chemical Engineering
Baku Engineering University
Baku, Azerbaijan
asadiqova2@std.beu.edu.az

Abstract :This study analyzes the strategic integration of the 12 principles of Green Chemistry (GC) into the English Language Teaching (ELT) curriculum based on the concept of" sustainability language ". Although English is the dominant medium of global science and climate diplomacy, language deficits are a serious communication barrier that increases operational costs by 15% in international projects. The article argues that technical metrics such as atom economy, E-factor ,and catalysis, through the "Content Based Learning" (CBI) methodology, create a rich terminological and ethical discourse base for language learners. For example, real-world analyses such as the-4 fold reduction of waste during the synthesis of tafenoquine in the pharmaceutical industry (E-factor from 69 to 17) are presented as effective ELT material that develops students' academic writing and technical communication competencies. The results of the

study prove that the inclusion of scientific standardization (IUPAC) and green innovation principles in ELT trains students as highly qualified professionals who can actively participate in global processes, such as the $1.3 trillion new climate finance roadmap targeted at the COP29 summit .
Keywords *:Green Chemistry, 12 fundamental principles, climate change, sustainable development, environmental protection, English language learning*

INTRODUCTION

Green chemistry has emerged as a transformative scientific paradigm that seeks to minimize or entirely eliminate the use and generation of hazardous substances at the very stage of designing chemical products and processes. Unlike conventional approaches that address environmental damage retrospectively through remediation and waste treatment ,green chemistry is grounded in a proactive philosophy that prioritizes pollution prevention at the molecular level. This shift from reaction to anticipation reflects not only a methodological innovation but also a profound rethinking of the ethical responsibilities of science in the face of escalating global challenges. In an era marked by climate change, environmental degradation, and the rapid depletion of natural resources, green chemistry offers a preventive and sustainable framework capable of reshaping industrial practices and reducing ecological impact. The chemical industry, as a major contributor to global greenhouse gas emissions, occupies a pivotal position in both the problem and its potential resolution. Advances in green chemistry, such as biomass-based chemical production, demonstrate the field's transformative capacity, with studies indicating the potential to reduce emissions by as much as 88% to 94% compared to fossil fuel-based alternatives. At the core of this innovative approach are the twelve foundational principles articulated by Paul Anastas and John Warner, which provide a comprehensive guideline for designing safer, more efficient, and environmentally responsible chemical systems[2] .

Importantly, the integration of these principles into English Language Teaching (ELT) creates a dynamic interdisciplinary platform that enhances both scientific understanding and language proficiency .By embedding green chemistry concepts into language instruction, learners engage with authentic, content-rich material that promotes the development of academic vocabulary, technical writing skills, and critical thinking. Concepts such as sustainability, risk assessment, energy efficiency, and pollution prevention serve as meaningful contexts for practicing key linguistic structures, including cause-and-effect relationships, passive constructions ,argumentative discourse, and specialized terminology. Moreover, this integration aligns with Content and Language Integrated Learning (CLIL) approaches, enabling students to simultaneously acquire domain-specific knowledge and communicative competence. As a result, green chemistry not only contributes to environmental education but also functions as an effective medium for preparing learners to participate in global scientific and professional communities through English[7] .

METHODOLOGY

This study looks at how the 12 principles of Green Chemistry can be naturally built into English language teaching. The idea is simple: instead of teaching language in isolation, students learn English through meaningful, real-world topics, in this case, sustainability and chemistry. The approach follows a context-based model, where language grows out of content, not the other way around. Overall ,the study uses a qualitative and conceptual method, combining scientific data with how people actually learn and use language. To make this work, the research uses three main sources of input. First, it draws on scientific literature and English for Specific Purposes (ESP) materials based on IUPAC standards and the 12 principles. These help students get comfortable with reading scientific texts and using technical vocabulary. Second, it looks at real-world documents like COP29 declarations and the NCQG (the $300 billion global climate finance goal). [3] These texts are useful for building what's called Cognitive Academic Language Proficiency (CALP), meaning the kind of English students need for serious academic and professional communication .Third, the study includes case studies from industry, for example, the synthesis of tafenoquine, where waste was reduced significantly (from an E-factor of 69 to 17). This gives students something concrete to analyze and write about. By the end of this stage ,students are not just reading, they're able to break down complex data and turn it into clear academic reports.

The teaching approach itself is designed to treat language as a kind of "green infrastructure," a tool that supports everything else. [9] One part of this involves comparing how communication affects efficiency. For instance, research shows that poor language skills can increase costs in international projects by around 15%. This opens up discussions about why clear, standardized terminology matters and how it improves teamwork and results. Another key method is task-based learning. Students work on practical assignments,

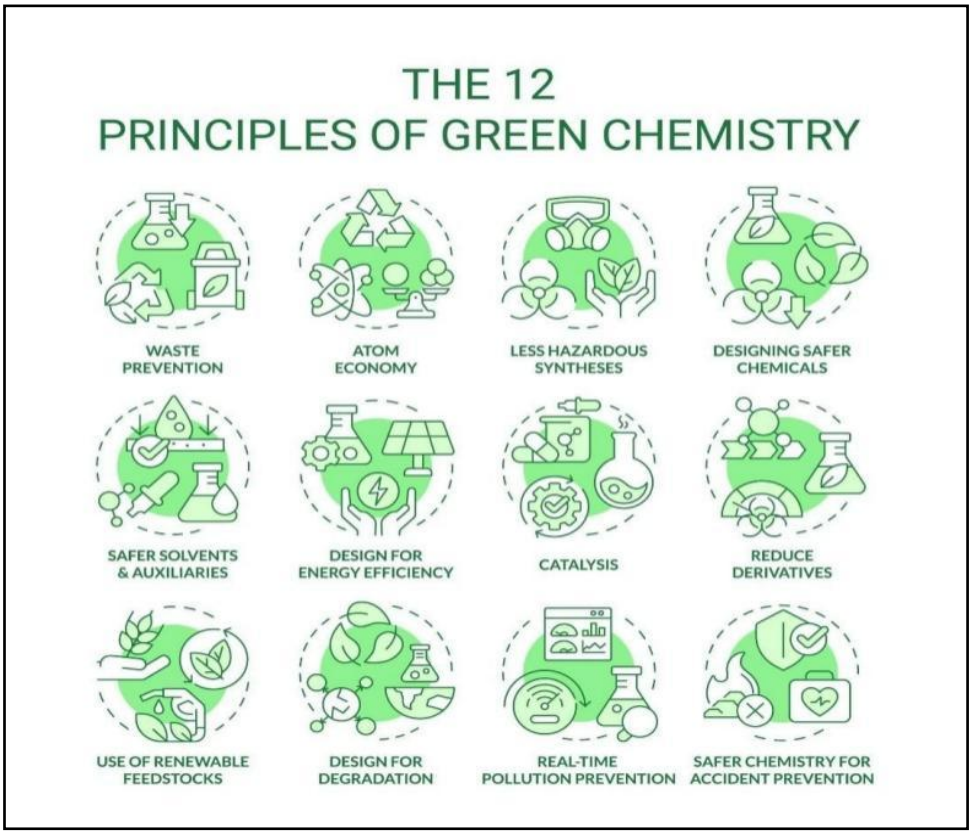
such as explaining chemical processes or presenting atom economy calculations in English. Here, language becomes a tool for solving problems ,not just something to study. There's also a strong focus on simulation and real-life communication. Students take part in role-plays based on international climate negotiations, such as COP29 discussions around a $1.3 trillion finance roadmap. These activities help them practice negotiation skills ,persuasive language, and diplomatic communication. As a result, they begin to sound less like learners and more like professionals participating in global conversations. To measure how effective all this is, the study uses a few clear indicators. For example, as given in Table 1, improvements in a process's" greenness" rating, such as a 42% increase, are used as benchmarks in student reports. Data on emission reductions, including cases where biomass-based production cuts emissions by up to 94%, helps students practice future-focused scientific language. Another important idea is the "gatekeeper effect," which looks at how English can either open or limit access to global knowledge .Students explore how local environmental ideas can be shared internationally through English, encouraging deeper critical thinking. By the end of the process, students are able to connect environmental data with real-world analysis, understand life cycle thinking, and evaluate scientific processes more critically.

Table 1. Climate & Energy data

Area	Basic Parameter/Data	Value/Rate
Emission Reduction	Potential greenhouse gas(GHG) reduction in biomass-based chemical production	%94-%88
Energy Efficiency	Contribution of green chemistry innovations to a process's ''greenness'' degree	%42 increase
Financing Target	COP29 New Collective Quantified Goal (NCQG) - Developed Countries	Annual ≥ 300 Billion USD (by(2035
Global Investment	Total climate finance targeted under the Baku-Belem Roadmap	Annual 1.3 Trillion USD (by(2035
Waste Management	Waste reduction achieved through green chemistry in pharmaceutical production (Tafenoquine synthesis)	-4fold) E-factor: 69 to 17(
Industrial Impact	Chemical industry's share in global GDP	5.7) %7.1Trillion USD(
Language Barriers	Operational cost increase due to inadequate English usage in multinational projects	%15
Azerbaijan Energy	Azerbaijan's targeted renewable energy capacity share for 2030	%30
Historical Growth	Azerbaijan GDP growth between 2002-1996)Heydar Aliyev period(	%71
Catalyst Effect	Cooling related emission reduction potential (2050 target)	%68

DISCUSSION

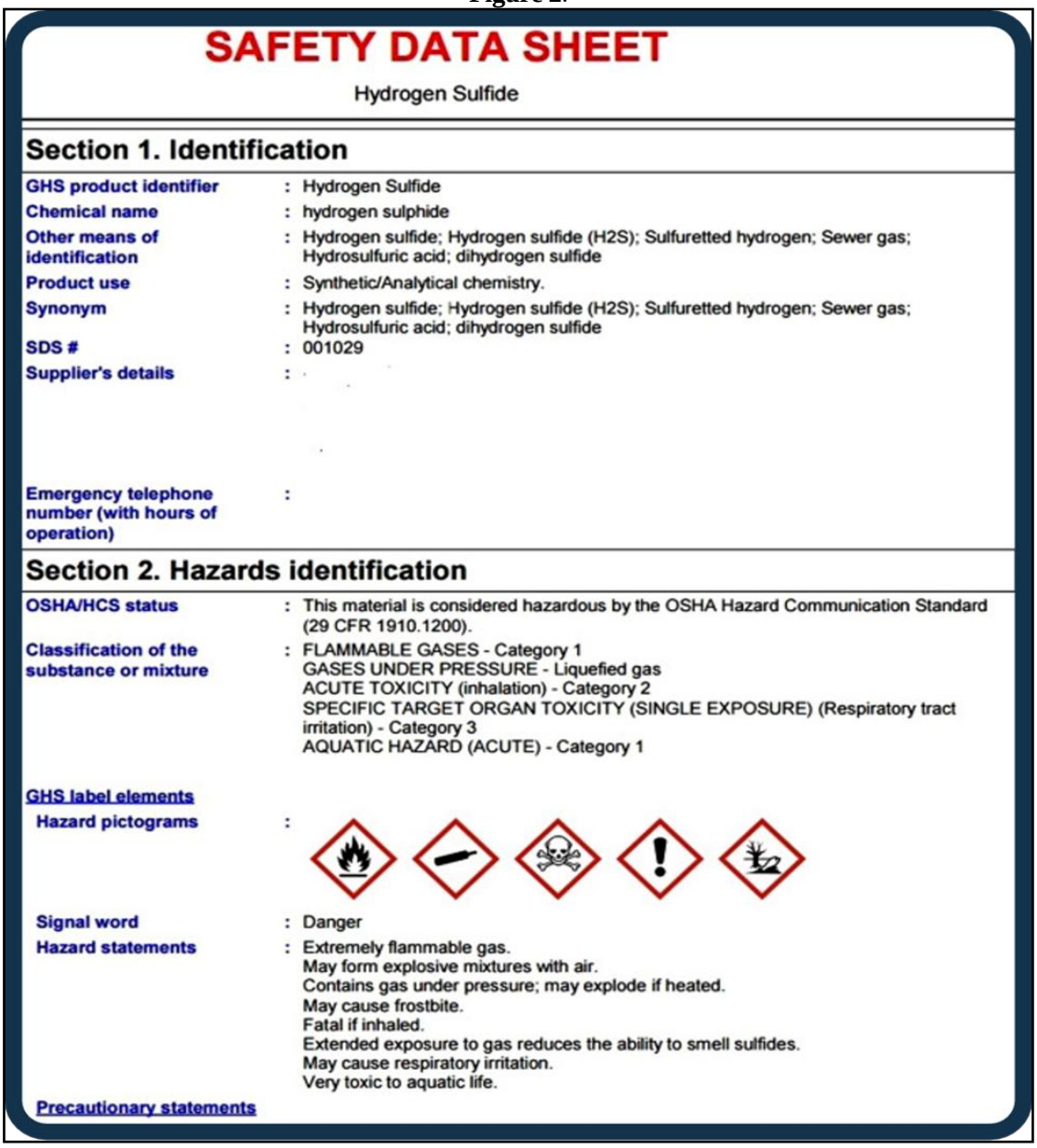
FIGURE 1.



The integration of these twelve principles of green chemistry into English Language Teaching (ELT) provides a powerful interdisciplinary framework that simultaneously advances scientific literacy and language competence. The principle of prevention, which emphasizes avoiding pollution rather than remediating it, supports the development of academic writing skills, particularly in expressing cause-and-effect relationships through the notion of "prevention over remediation." [5] atom economy, focused on maximizing the use of all materials in a process, enhances learners' ability to use technical reporting language related to resource optimization and efficiency. The principle of less hazardous chemical syntheses fosters argumentative discourse by encouraging students to distinguish between key safety concepts such as hazard, defined as any potential source of harm and risk, understood as the probability and severity of harm (risk = probability × consequence). Closely related to this, language training incorporates occupational safety and health (OSHE) terminology, reinforcing both conceptual understanding and specialized vocabulary. Designing safer chemicals introduces learners to scientific communication strategies, including the use of persuasive metaphors such as "benign by design" for international audiences .The use of safer solvents and auxiliaries strengthens students' command of scientific adjectives like "volatile" and "inert," particularly in comparative structures. Energy efficiency principles, which promote reactions under mild conditions, reinforce grammatical structures such as the passive voice and continuous tenses used in process descriptions. The use of renewable feedstocks supports the acquisition of sustainability-related terminology, including" carbon neutral," while enhancing essay-writing skills in discussions of green economies. Reducing derivatives develops learners' ability to interpret and describe process flow charts in English, while catalysis deepens engagement with scientific texts and terminology such as "activation energy." The principle of design for degradation cultivates the use of predictive language and future tenses through terms like "biodegradable" and "persistent ".Real-time analysis for pollution prevention introduces the language of monitoring, control, and in-situ analysis, which is essential in industrial and technical communication. Finally, inherently safer chemistry for accident prevention equips learners to interpret Safety Data Sheets (SDS) and understand workplace health, safety, and environmental (HSE) regulations. [1] Within this context, students also become familiar with the structure of OSHE policies ,which typically include a statement of overall purpose, organizational structure, and

specific measures, with the statement of purpose articulating the organization's commitment to health and safety and its overarching goals .Collectively, these principles not only promote environmental responsibility but also serve as an effective medium for developing advanced English language skills in academic, professional, and technical domains.

Figure 2.



SAFETY DATA SHEET

Hydrogen Sulfide

Section 1. Identification

GHS product identifier	:	Hydrogen Sulfide
Chemical name	:	hydrogen sulphide
Other means of identification	:	Hydrogen sulfide; Hydrogen sulfide (H2S); Sulfuretted hydrogen; Sewer gas; Hydrosulfuric acid; dihydrogen sulfide
Product use	:	Synthetic/Analytical chemistry.
Synonym	:	Hydrogen sulfide; Hydrogen sulfide (H2S); Sulfuretted hydrogen; Sewer gas; Hydrosulfuric acid; dihydrogen sulfide
SDS #	:	001029
Supplier's details	:	
Emergency telephone number (with hours of operation)	:	

Section 2. Hazards identification

OSHA/HCS status	:	This material is considered hazardous by the OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200).
Classification of the substance or mixture	:	FLAMMABLE GASES - Category 1 GASES UNDER PRESSURE - Liquefied gas ACUTE TOXICITY (inhalation) - Category 2 SPECIFIC TARGET ORGAN TOXICITY (SINGLE EXPOSURE) (Respiratory tract irritation) - Category 3 AQUATIC HAZARD (ACUTE) - Category 1

GHS label elements

Hazard pictograms :

Signal word : Danger

Hazard statements :
Extremely flammable gas.
May form explosive mixtures with air.
Contains gas under pressure; may explode if heated.
May cause frostbite.
Fatal if inhaled.
Extended exposure to gas reduces the ability to smell sulfides.
May cause respiratory irritation.
Very toxic to aquatic life.

Precautionary statements

Integrating green chemistry principles into English language teaching defines language as not only a means of communication but also as a foundation for a strategy that enables the development of global sustainability innovations. The integration of Green Chemistry principles into ELT lessons is carried out through the approaches of" Content-Based Language Teaching "(CBI) and" English for Specific Purposes " (ESP). The structural relationship and practical application methods of this integration are as follows:

- Technical Reporting and Data Synthesis :Quantitative metrics such as atom economy and E-factor (waste product ratio) provide students with the skills to transform complex numerical data into academic English texts. For example, when the E-factor in the synthesis of tafenoquine is reduced from 69 to 17, reducing waste by a factor of three ,students develop technical comparison and reporting competence.
- Terminology and Academic Language Proficiency) CALP" :(Benign by design ".The use of technical terms such as" feedstock "and" catalysis "increases students' Cognitive Academic Language

Proficiency (CALP). These terms are not only professional jargon, but also key concepts that express the vision of sustainability in international platforms.

- Task-Based Learning and Ethical Debates: The" Designing Safer Chemicals "principle paves the way for task-based learning in classroom ethical debates. Students use their" communication competencies "and conditions in a professional context while advocating for green models instead of traditional methods.
- Diplomatic Simulations and Global Policies :Global frameworks such as the $1.3 trillion annual climate finance target set at COP29 and Article 6.4 of the Paris Agreement are used as simulation materials in negotiation English education. These programs teach students how to minimize the 15% cost increase caused by language barriers in multinational projects. makes them well-equipped professionals.

As a result ,this approach transforms the student from a language learner to an actor who is knowledgeable in sustainability literature (IUPAC standards, etc.) and can take an active role in global climate diplomacy.

I. CONCLUSION

What this study shows is that Green Chemistry and language learning fit together more naturally than we might expect. The core idea of green chemistry, preventing problems before they happen, aligns closely with global goals like those discussed at COP29, especially around sustainability and reducing emissions . When students learn English through these ideas, they're not just building language skills, they're preparing to take part in real global challenges .English, in this context, becomes more than a subject. It's a tool for sharing knowledge, spreading innovation, and connecting ideas across borders. By bringing together science, language, and global policy, this approach looks ahead to the future, and ultimately, it's today's students who will shape that greener future.

References

[1] ACS Sustainable Chemistry & Engineering, "The greenhouse gas emission reduction potential of biomass-produced chemicals," ACS Sustainable Chemistry & Engineering .2021 ,Available: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.1c04836

[2] American Chemical Society, "12 Principles of Green Chemistry," ACS, 2023. Available : https://www.acs.org/green-chemistry-sustainability/principles/12-principles-of-green-chemistry.html

[3] D. Dixit, "COP29 Summit in Baku: Key Outcomes and New Climate Finance Goal," Physics Wallah, Nov. 28 .2025 ,Available: https://www.pw.live/upsc/exams/cop29-summit

[4] G. S. Nidhya, S. Sharma ,N. D. Sofi, M. S. Hossain, S. J. Prakash, V. Akilandeswari, and M. B . Savadatti, "The role of English in shaping international environmental policies and agreements," ASPD, 2024. Available: https://theaspd.com/index.php/ijes/article/download/3447/2590/6921

[5] Huseynova, S" .Artificial intelligence and academic integrity: Involving AI to improve oral communication skills in English." In Publishing House Baltija Publishing (pp .2023 ,(41–39 . https://doi.org/10.30525/978-9934-26-397-2-15

[6] J. Thorat and K. S .Joshi, "A complementary role of English in the proliferation of green chemistry," ResearchGate, Jun. 2023. Available : https://www.researchgate.net/publication/371546272_A_Complementary_Role_of_English_Language_in_the_Proliferation_of_Green_Chemistry

[7] Research Floor, "Green Chemistry Innovations: Advancing Sustainable Solutions for Environmental Challenges," Research Floor, n.d. Available :https://er.researchfloor.org/green-chemistry-innovationsan-advancing-sustainable-solutions-for-environmental-challenges/

[8] Sohrab, S. H. "Constructed languages: Esperanto. Journal of Modern Education Review," 5(11), 2015 .https://doi.org/10.15341/jmer(2155- 7993)/11.05.2015

[9] Sohrab, S. H. "Stylistic Problems of Translation." NEW PERSPECTIVES ON LANGUAGE AND LITERATURE STUDIES .2015 ,27 ,

[10] U.S. Environmental Protection Agency, "Basics of Green Chemistry," EPA, Jan. 29, 2023. Available :https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry

[11] United Nations Framework Convention on Climate Change, Report on the Roadmap from Baku to Belém 1.3T, UNFCCC .2025 ,Available : https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Relatorio_Roadmap_COP29_COP30_EN_final.pdf

MÜASİR DÖVRDƏ MƏKTƏBƏQƏDƏR TƏHSİL MÜƏSSİSƏLƏRİN İDARƏ EDİLMƏSİNİN PEDAQOJİ ƏSASLARI

ZÖHRABOVA NƏRMİN XƏYYAM
Sumqayıt Dövlət Universiteti
nerminzohrabova1@gmail.com

Xülasə

Məqalədə müasir dövrdə məktəbəqədər təhsil müəssisələrinin idarə olunmasının pedaqoji əsasları geniş şəkildə təhlil edilir. Qeyd olunur ki, Azərbaycan Respublikasında təhsil sisteminin bütün pillələri kimi məktəbəqədər təhsil də dövlət siyasətinin prioritet istiqamətlərindən biridir. Uşaqların erkən yaş dövründə intellektual və şəxsiyyət kimi formalaşmasının vacibliyi vurğulanır. Heydər Əliyevin və onun siyasi kursunu davam etdirən Prezident İlham Əliyevin təhsilə, xüsusilə də uşaqların inkişafına göstərdiyi diqqət və qayğı xüsusi qeyd olunur. Daha sonra burada məktəbəqədər təhsilin keyfiyyətinin yüksəldilməsi, müasir pedaqoji texnologiyaların tətbiqi və idarəetmə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsinin əhəmiyyəti ön plana çəkilir. Müasir cəmiyyətin tələblərinə uyğun olaraq təlim-tərbiyə prosesinin təşkili, pedaqoji kadrların peşəkarlığı və idarəetmənin effektivliyi əsas amillər kimi təqdim olunur. Eyni zamanda idarəetmə prosesində müasir metod və yanaşmaların tətbiqinin zəruriliyi vurğulanır və bu prosesin düzgün qurulmasının təhsilin keyfiyyətinə birbaşa təsir etdiyi göstərilir.

Açar sözlər: *məktəbəqədər təhsil, pedaqoji əsaslar, idarəetmə, təhsil siyasəti, təlim-tərbiyə prosesi*

Dövlətimiz və cəmiyyətimiz tərəfindən, gündən-günə müasirləşən, inkişaf edən təhsil sisteminin bütün pillələrinə diqqət və qayğı göstərilir. Vətəndaşı olduğumuz ölkəmizin də həyatında baş verən dəyişikliklər, cəmiyyətimizin daha hazırlıqlı, daha ağıllı, təhsilli gənc şəxsiyyətlərə ehtiyacı olduğunu göstərir. Böyüməkdə olan ən gənc nəslin təlim və tərbiyə prosesi bu səbəbdən daha çox diqqət və qayğı tələb edir.

Yüksək maarif səviyyəsi ilə seçilən ulu öndər Heydər Əliyev daima böyüməkdə olan gənc nəslin inkişafına imkan yaradırdı. Milli örnək nümunəsi olan həyatı ilə seçilən Heydər Əliyev "Uşaqlar bizim gələcəyimizdir" söyləyir, bu yolda müxtəlif tədbirlər həyata keçirirdi.

Uşaqları hədsiz dərəcədə çox sevən Heydər Əliyevin yolunu, indi oğlu Azərbaycan Respublikasının Prezidenti cənab İlham Əliyev davam etdirir.

24oktyabr, 2013-cü ildə Azərbaycan Respublikasının Prezidenti cənab İlham Əliyev "Azərbaycanda təhsilin inkişafı üzrə Dövlət Strategiyası" sənədini qəbul etdi. Bu sənəd ilə təhsilimizin inkişafında yeni bir keçid, yol açıldı. Dövlət sənədində təhsilin bütün pillələrinə yer verildiyi kimi, məktəbəqədər təhsil ilə bağlı da bəndlər qəbul edilmişdir. Təhsil strategiyasının mühüm bəndində deyilir: "Təməl bacarıqlar uşaqlıq dövrünün ilk illərindən əldə edildiyinə görə uşaqların zehninin erkən yaş dövründən inkişaf etdirilməsi vacibdir. Bu səbəbdən məktəbəqədər təhsilin inkişafı dövlət siyasətində əhəmiyyətli yer tutur". (1).

Göründüyü kimi təhsilin ilk pilləsi olan məktəbəqədər təhsil dövlət siyasətinin ən önəmli amillərindən biridir. Şəxsiyyətin inkişafının, dövlətin gələcək işlərinin təməli bu dövrdən başlayır. Məktəbəhazırlıq qrupları uşaqları, bəlkədə onların həyatının ən çətin və önəmli dönəmlərindən birinə, məktəb hayatına hazırlayır. Hər bir uşaq bu dövrü müxtəlif qarşılayır. Bəziləri üçün çox asan görünən bu dövr, bəziləri üçün dəhşətli məsələ kimi görünür. Məktəbəhazırlıq qruplarında uşaqlara məktəb anlayışı, məktəb həyatına adaptasiya həyata keçirilir.

Təhsil sistemində pedaqoji proses XXI əsrdə təhsil almanın keyfiyyətli əsaslarla həyata keçirilməsini tələb edir və milli təhsil konsepsiyasının həyata keçirilməsi təhsilin milli bəşəri inteqrasiyasına nail olmaqla dünya standartlarına uyğunlaşdırılması Azərbaycan Respublikasının təhsil siyasətinin əsas mahiyyətini təşkil edir. Bunlar isə təhsilin idarə edilməsi qarşısında yeni tələblər qoyur. Məktəbəqədər təhsilin məzmunu, səmərəli idarə olunması, yeni təlim və pedaqoji texnologiyaların tətbiqi keyfiyyətli pedaqoji prosesin qurulmasında xüsusi rol oynayır. Azərbaycan Respublikasının dövlət təhsil siyasətinin əsas vəzifələrindən biri məktəbəqədər təhsilin müasir tələblər baxımından keyfiyyətinin təmin edilməsidir. Bu cəhətdən məktəbəqədər təhsilin keyfiyyəti, müasirliyi ən mühüm dəyəri kimi çıxış edir. Məktəbəqədər təhsil müəssisələri fasiləsiz milli təhsilin həyata keçirilməsində cinsindən, irqindən, dinindən, dilindən, milliyətindən, sosial vəziyyətindən, mənşəyindən, sağlamlıq imkanlarından asılı olmayaraq Azərbaycan Respublikasında yaşayan məktəbəqədər yaşlı uşaqların tərbiyə və təhsilə hazırlanması ilə məşğul olur. Eyni zamanda uşaqlarda formalaşan şəxsi keyfiyyətlərin əsasında durmaqla baza rolunu oynayır. Hazırda məktəbəqədər təhsil sistemi sürətlə inkişaf etdiyi üçün onun idarə olunması müstəsna əhəmiyyət kəsb edən amillərdən biridir. Müasir cəmiyyət məktəbəqədər təhsil müəssisələrində təlim-tərbiyə prosesinin təşkilinə,

təlim proqramının məzmununa, pedaqoji işçilərin fəaliyyətinin nəticəliliyinə baxılır. Pedaqoji kadrların peşəkarlığına, idarəetmənin təşkilati prinsiplərinə yeni tələblər irəli sürür. İdarəetmənin başlıca əhəmiyyəti idarəetmə proseslərinin dəqiq və düzgün təşkili üçün müasir texnologiyalardan, yanaşmaların mütərəqqi formalarından istifadə edilməsinə şərait yaratmaqdan, eyni zamanda qarşıya qoyulmuş məqsədi yerinə yetirmək üçün maksimum fəallıq göstərməyi təmin etməkdən ibarətdir. İdarəetmədə bir çox metodlardan istifadə edilir. Bu metodlar idarəetmə fəaliyyətinin aləti hesab olunur. İdarəetmə strukturunu xarakterizə etmək üçün hər şeydən əvvəl onun tərkibini adlandırmaq, bütün hissələrini sadalamaq, onlar arasında əlaqəni göstərmək, kimin kimə tabe olduğunu göstərmək lazımdır.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat

1. Kəlbəliyev Ə. Təhsili idarəetmənin əsasları. Bakı: Nurlan, 2006, 85 s.
2. Paşayev Ə.X., Rüstəmov F.A. Pedaqogika. Bakı: Çaşıoğlu, 2002, 512 s.
3. **Rəsulov S. C., Əzizov R.Z. Təhsilin idarə edilməsinin nəzəri və praktik məsələləri. Müəllim, 2012, 173 s.**
4. Бабосов, Е.М. Социология управления: учеб. пособ. 2-е изд., стереотип. Минск : ТетраСистемс, 2001. 288 с.
5. Боссиди Л. Исполнение: Система достижения целей. М.: Альпина Паблишерз, 2011, 325 с.

AZƏRBAYCAN DİLİNDƏ İŞGÜZAR VƏ AKADEMİK KOMMUNİKASİYA: ELMİN TƏRƏQQİSİNDƏ KOMMUNİKATİV BACARIQLARIN FORMALAŞDIRILMASININ OPTİMAL YOLLARI

Tahirə Quliyeva
Bakı Mühəndislik Universiteti
tquliyeva@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ

Müasir dövrdə işgüzar və akademik kommunikasiya yalnız informasiya mübadiləsinin vasitəsi kimi deyil, həm də elmi və peşəkar fəaliyyətin səmərəliliyini müəyyən edən əsas amillərdən biri kimi çıxış edir. Azərbaycan dilində işgüzar və akademik ünsiyyətin inkişaf etdirilməsi elmi biliklərin milli dildə ifadəsinə, peşəkar münasibətlərin sağlam əsasda qurulmasına və nitq mədəniyyətinin yüksəlməsinə xidmət edir. Məqalədə işgüzar və akademik kommunikasiya anlayışlarının mahiyyəti açıqlanır, kommunikativ bacarıqların elmin tərəqqisindəki rolu təhlil olunur və onların formalaşdırılmasının optimal yolları müəyyənləşdirilir. Tədqiqat göstərir ki, ədəbi dil normalarına əməl olunması, yazılı və şifahi nitq bacarıqlarının inkişaf etdirilməsi, akademik yazı mədəniyyətinin gücləndirilməsi, rəqəmsal mühitdə ünsiyyət qaydalarının mənimsənilməsi və praktik yönümlü tədris yanaşmaları bu sahədə mühüm nəticələr verir. Məqalədə həmçinin Azərbaycan dilinin işgüzar və akademik kommunikasiya dili kimi imkanlarının genişləndirilməsinin elmi mühitin keyfiyyətinə müsbət təsiri əsaslandırılır.

Açar sözlər: işgüzar kommunikasiya, akademik kommunikasiya, kommunikativ bacarıqlar, Azərbaycan dili, nitq mədəniyyəti, elmi ünsiyyət.

BUSINESS AND ACADEMIC COMMUNICATION IN THE AZERBAIJANI LANGUAGE: OPTIMAL WAYS OF FORMING COMMUNICATIVE SKILLS IN THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

ABSTRACT

In the modern era, business and academic communication functions not only as a means of information exchange, but also as one of the main factors determining the efficiency of scientific and professional activity. The development of business and academic communication in the Azerbaijani language contributes to the expression of scientific knowledge in the native language, the establishment of professional relations on a sound basis, and the improvement of speech culture. This article explains the

essence of business and academic communication, analyzes the role of communicative skills in the advancement of science, and identifies optimal ways of developing these skills. The study shows that adherence to literary language norms, improvement of written and oral communication skills, strengthening of academic writing culture, mastery of communication rules in the digital environment, and practice-oriented teaching approaches lead to significant results in this field. The article also substantiates the positive impact of expanding the functions of the Azerbaijani language as a language of business and academic communication on the quality of the scientific environment.
Keywords: business communication, academic communication, communicative skills, Azerbaijani language, speech culture, scientific communication.

Giriş

Kommunikasiya cəmiyyətin inkişafını, biliklərin ötürülməsini və peşəkar münasibətlərin qurulmasını təmin edən əsas vasitələrdən biridir. Müasir dövrdə elm, təhsil, idarəetmə və ictimai münasibətlər sistemində uğurun mühüm şərtlərindən biri fikrin dəqiq, aydın və məqsədəuyğun şəkildə ifadə olunmasıdır. Bu baxımdan işgüzar və akademik kommunikasiya xüsusi əhəmiyyət daşıyır. İşgüzar kommunikasiya təşkilati və peşəkar münasibətlərdə səmərəliliyi təmin etdiyi halda, akademik kommunikasiya elmi biliklərin formalaşdırılması, təqdim olunması və yayılması prosesində əsas rol oynayır.

Azərbaycan dilində bu kommunikasiya formalarının inkişaf etdirilməsi yalnız dil mədəniyyəti məsələsi deyil, həm də elmi düşüncənin ana dilində formalaşması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Dövlət dili kimi Azərbaycan dilinin ictimai, elmi və rəsmi sahələrdə funksional imkanlarının genişlənməsi onun normativ əsaslarının qorunmasını və tətbiqini zəruri edir (AMEA Nəsimi adına Dilçilik İnstitutu, 2021). Bu baxımdan işgüzar və akademik mühitdə dilin düzgün və məqsədyönlü işlədilməsi elmin keyfiyyətinə, təhsil mühitinə və peşəkar münasibətlərə birbaşa təsir göstərir.

İşgüzar və akademik kommunikasiya anlayışlarının mahiyyəti

İşgüzar kommunikasiya rəsmi və peşəkar münasibətlər sistemində fikir və məlumat mübadiləsini tənzimləyən ünsiyyət formasıdır. Bu sahədə əsas xüsusiyyətlər dəqiqlik, yığcamlıq, məntiqilik, etik davranış və rəsmi üsluba uyğunluqdur. Rəsmi məktublar, ərizələr, hesabatlar, protokollar, çıxışlar və təqdimatlar işgüzar kommunikasiya nümunələri kimi çıxış edir. Burada əsas məqsəd informasiyanı qarşı tərəfə aydın və düzgün çatdırmaq, anlaşılmazlığa yol vermədən səmərəli əlaqə yaratmaqdır.

Akademik kommunikasiya isə elmi biliklərin yazılı və şifahi formada ifadə edilməsini əhatə edir. Elmi məqalə, tezis, konfrans çıxışı, seminar müzakirəsi, resenziya və tədqiqat hesabatı akademik kommunikasiya formaları sırasına daxildir. Bu ünsiyyət növündə fikir yalnız bildirilməməli, həm də əsaslandırılmalı, məntiqi şəkildə qurulmalı və elmi ictimaiyyət üçün qəbulolunan formada təqdim edilməlidir. Buna görə də akademik kommunikasiya terminoloji dəqiqlik, obyektivlik, struktur bütövlüyü və elmi üslub tələb edir (Swales & Feak, 2012).

İşgüzar və akademik kommunikasiya fərqli sahələrə aid olsa da, onların ortaq cəhəti dilin məqsədyönlü və mədəni istifadəsidir. Hər iki sahədə nitqin zəif qurulması peşəkar münasibətlərə və elmi nəticələrin qavranılmasına mənfi təsir göstərə bilər. Bu səbəbdən kommunikativ bacarıqların formalaşdırılması həm işgüzar, həm də akademik mühit üçün vacibdir.

Kommunikativ bacarıqların elmin tərəqqisində rolu

Elmin inkişafı yalnız yeni ideyaların meydana çıxması ilə deyil, həm də həmin ideyaların düzgün ifadə olunması və elmi ictimaiyyətə çatdırılması ilə bağlıdır. Tədqiqatın məzmunu nə qədər dəyərli olsa da, onun sistemsiz, qeyri-dəqiq və ya anlaşılmaz formada təqdim olunması elmi nəticənin təsir gücünü azaldır. Bu mənada kommunikativ bacarıqlar elmin tərəqqisinin mühüm tərkib hissəsidir.

Əvvəla, kommunikativ bacarıqlar elmi düşüncənin strukturlaşmasına kömək edir. Fikrini aydın və məntiqi şəkildə ifadə etməyə çalışan tədqiqatçı mövzuya daha sistemli yanaşır. Bu isə problemin qoyuluşunda, tədqiqatın gedişində və nəticələrin ümumiləşdirilməsində özünü göstərir. Elmi mətnlərdə giriş, əsas hissə və nəticə arasında əlaqənin saxlanılması, anlayışların yerində işlədilməsi və arqumentlərin inandırıcı verilməsi formalaşmış kommunikativ səriştənin göstəricisidir.

İkincisi, müasir elm əməkdaşlıq üzərində qurulur. Elmi layihələr, konfranslar, seminarlar və birgə tədqiqatlar effektiv ünsiyyət tələb edir. Müəyyən fikri aydın ifadə etmək, qarşı tərəfin mövqeyini anlamaq, elmi mübahisə zamanı etik çərçivəni qorumaq və arqumentlə danışmaq elmi əməkdaşlığın əsas şərtlərindəndir. Bu xüsusiyyətlər olmadan elmi mühitdə sağlam müzakirə və məhsuldar əməkdaşlıq çətinləşir.

Üçüncüsü, elmi nəticələrin cəmiyyətə çatdırılması da kommunikasiya ilə sıx bağlıdır. Elm yalnız mütəxəssislər üçün deyil, bütövlükdə cəmiyyət üçün dəyər daşıyır. Buna görə də elmi yeniliklərin təhsil, idarəetmə və ictimai həyatla əlaqələndirilməsi zamanı sadə, anlaşıqlı və dəqiq ünsiyyət formasına ehtiyac yaranır. Bu baxımdan kommunikativ bacarıqlar elmi biliklərin sosial faydaya çevrilməsində də mühüm rol oynayır.

Azərbaycan dilinin işgüzar və akademik kommunikasiya dili kimi rolu

Azərbaycan dili dövlət dili olmaqla yanaşı, elm, təhsil və idarəetmə sahələrində geniş işlənən funksional dildir. Onun orfoqrafik və normativ əsaslarının sistemli şəkildə müəyyənləşdirilməsi rəsmi və akademik mətnlərin vahid prinsiplərlə qurulmasına imkan verir (AMEA Nəsimi adına Dilçilik İnstitutu, 2021). Dövlət dili siyasətində də Azərbaycan dilinin ictimai həyatın bütün sahələrində istifadəsinin genişləndirilməsi mühüm istiqamət kimi müəyyən edilir (Azərbaycan Respublikası, 2003).

Azərbaycan dilində işgüzar və akademik kommunikasiya mədəniyyətinin inkişafı bir neçə mühüm nəticə doğurur. Hər şeydən əvvəl, bu, elmi biliklərin daha geniş auditoriyaya çatdırılmasını asanlaşdırır. Ana dilində yazılmış və təqdim olunmuş elmi mətnlər cəmiyyət tərəfindən daha rahat qavranılır. Eyni zamanda bu proses milli elmi terminologiyanın formalaşmasına və təkmilləşməsinə şərait yaradır. Dövlət səviyyəsində qəbul olunmuş proqramlarda da Azərbaycan dilinin qloballaşma şəraitində zamanın tələblərinə uyğun istifadəsi və dilçiliyin inkişafı prioritet istiqamətlərdən biri kimi göstərilmişdir (Azərbaycan Respublikası Prezidenti, 2013).

Bundan əlavə, ana dilində qurulan akademik və işgüzar ünsiyyət gənc nəslin həm dilə, həm də elmi fəaliyyətə məsuliyyətli münasibətini gücləndirir. Bu isə milli intellektual mühitin formalaşmasına və elmi düşüncənin sosial bazasının genişlənməsinə xidmət edir.

Kommunikativ bacarıqların formalaşdırılmasının optimal yolları

Kommunikativ bacarıqların formalaşması təsadüfi proses deyil. Bu, davamlı tədris, müntəzəm təcrübə və dilə şüurlu yanaşma nəticəsində mümkün olur. Bu istiqamətdə bir neçə əsas yol xüsusilə əhəmiyyətlidir.

İlk növbədə, ədəbi dil normalarının sistemli şəkildə öyrədilməsi vacibdir. Orfoqrafik, qrammatik və üslubi düzgünlük olmadan keyfiyyətli işgüzar və akademik ünsiyyət qurmaq mümkün deyil. Azərbaycan dilinin orfoqrafiya qaydaları və normativ prinsipləri yazılı ünsiyyətin sabitliyini və vahidliyini təmin edir (Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Nəsimi adına Dilçilik İnstitutu, 2021). Buna görə ali təhsil müəssisələrində və peşə hazırlığı prosesində bu məsələyə xüsusi diqqət yetirilməlidir.

İkinci mühüm istiqamət akademik yazı bacarıqlarının inkişafıdır. Məqalə, tezis, annotasiya, resenziya və hesabat yazmaq bacarığı elmi fəaliyyətin əsas şərtlərindəndir. Akademik yazı zamanı mətnin strukturu, fikrin məntiqi ardıcıllığı, terminlərin düzgün seçimi və mənbələrə istinad qaydalarının bilinməsi vacibdir (Swales & Feak, 2012). Bu bacarıqlar məqsədyönlü məşğələlər, mətn təhlili və yazı təcrübəsi ilə inkişaf etdirilə bilər.

Şifahi nitq və təqdimat bacarıqlarının gücləndirilməsi də mühüm əhəmiyyət daşıyır. Tədqiqatçı və ya mütəxəssis öz biliyini yalnız yazılı mətnlə deyil, auditoriya qarşısında da effektiv şəkildə təqdim etməyi bacarmalıdır. Seminarlar, debatlar, təqdimatlar və elmi müzakirələr bu baxımdan faydalı təcrübə formalarıdır. Şifahi ünsiyyətdə nitqin səlisliyi, fikir ardıcıllığı, auditoriya ilə təmas və məzmunun düzgün bölüşdürülməsi xüsusi rol oynayır.

Rəqəmsal mühitin genişlənməsi işgüzar və akademik kommunikasiya formalarını da dəyişmişdir. Elektron poçt yazışmaları, onlayn konfranslar, virtual təqdimatlar və rəqəmsal əməkdaşlıq platformaları artıq gündəlik peşəkar və elmi ünsiyyətin tərkib hissəsinə çevrilmişdir. Buna görə kommunikativ bacarıqların formalaşdırılması prosesində rəqəmsal etika, elektron yazışma qaydaları və onlayn ünsiyyət mədəniyyəti də nəzərə alınmalıdır.

Bundan başqa, praktik yönümlü tədris yanaşmaları daha səmərəli nəticə verir. Situativ tapşırıqlar, rəsmi sənəd nümunələrinin hazırlanması, elmi mətnlərin redaktəsi, qrup müzakirələri və rol oyunları kommunikativ sərişənin möhkəmlənməsinə kömək edir. Müəllimin öz nitqi və davranışı da burada mühüm model rolunu oynayır. Tələbə daha çox eşitdiyi və müşahidə etdiyi dil nümunələri əsasında öz nitqini formalaşdırır.

Mövcud problemlər və həlli yolları

Hazırkı mərhələdə işgüzar və akademik kommunikasiya sahəsində müəyyən çətinliklər qalmaqdadır. Rəsmi yazışmalarda bəzən həddən artıq sərbəst və ya qeyri-dəqiq ifadələrə yol verilir. Akademik mətnlərdə isə fikir təkrarı, ağır cümlə quruluşları, terminlərin qeyri-dəqiq istifadəsi və məntiqi əlaqələrin zəifliyi müşahidə olunur. Şifahi çıxışlarda mövzudan yayınma, nitqin plansız təşkili və məzmunun tam çatdırılmaması da kommunikativ keyfiyyəti azaldır.

Bu problemlərin aradan qaldırılması üçün təhsil proqramlarında işgüzar və akademik kommunikasiya üzrə xüsusi məşğələlərin artırılması məqsədəuyğundur. Eyni zamanda tələbələrin ana dilində elmi yazı yazmaq təcrübəsi genişləndirilməli, mətn redaktəsi vərdişləri inkişaf etdirilməli və ədəbi dil normalarının tətbiqi üzərində ardıcıl iş aparılmalıdır. Dil siyasətinin əsas istiqamətlərindən biri də məhz Azərbaycan dilinin funksional imkanlarının genişləndirilməsinə yönəlmişdir (Azərbaycan Respublikası Prezidenti, 2013).

Nəticə

Aparılmış təhlil bir daha göstərir ki, Azərbaycan dilində işgüzar və akademik kommunikasiya müasir elmi, tədris və peşəkar fəaliyyətin ayrılmaz tərkib hissəsidir. Bu sahədə kommunikativ bacarıqların formalaşdırılması yalnız fikrin ifadə vasitəsi kimi deyil, həm də elmi düşüncənin sistemli təşkili, peşəkar münasibətlərin düzgün qurulması və biliklərin effektiv ötürülməsi baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Elmi fəaliyyətin nəticəliliyi təkcə araşdırmanın məzmunu ilə deyil, həmin məzmunun nə dərəcədə aydın, məntiqli və əsaslandırılmış şəkildə təqdim olunması ilə də müəyyən edilir. Bu baxımdan kommunikasiya mədəniyyəti elmin tərəqqisinə təsir göstərən əsas amillərdən biri kimi dəyərləndirilməlidir.

Məqalədə irəli sürülən yanaşmalar əsasında belə nəticəyə gəlmək mümkündür ki, işgüzar və akademik kommunikasiya sahəsində səmərəli fəaliyyət üçün ədəbi dil normalarına riayət olunması, yazılı və şifahi nitqin paralel şəkildə inkişaf etdirilməsi, akademik yazı mədəniyyətinin gücləndirilməsi və rəqəmsal kommunikasiya bacarıqlarının formalaşdırılması zəruri şərtlərdir. Xüsusilə ali təhsil mühitində tələbələrin elmi mətn qurmaq, fikri ardıcıl ifadə etmək, mübahisə və müzakirələrdə arqumentli mövqe sərgiləmək, mənbələrdən düzgün istifadə etmək və auditoriya qarşısında aydın çıxış etmək bacarıqları məqsədyönlü şəkildə inkişaf etdirilməlidir. Bu, onların gələcək peşəkar və elmi fəaliyyətində daha hazırlıqlı olmalarını təmin edir.

Eyni zamanda Azərbaycan dilinin işgüzar və akademik kommunikasiya dili kimi funksional imkanlarının genişləndirilməsi milli elmi mühitin möhkəmlənməsinə xidmət edir. Ana dilində keyfiyyətli elmi və peşəkar ünsiyyətin qurulması həm biliklərin daha geniş auditoriyaya çatdırılmasına, həm də milli terminoloji bazanın inkişafına şərait yaradır. Bu proses, eyni zamanda, gənc nəslin ana dilinə, milli elmi düşüncəyə və intellektual dəyərlərə bağlılığını gücləndirir. Beləliklə, Azərbaycan dilində işgüzar və akademik kommunikasiya mədəniyyətinin inkişafı yalnız dil məsələsi deyil, həm də elm siyasəti, təhsil strategiyası və milli-mənəvi inkişaf məsələsi kimi qiymətləndirilməlidir.

Nəticə etibarilə, kommunikativ bacarıqların inkişafı müasir təhsil sistemində prioritet istiqamətlərdən biri kimi nəzərdən keçirilməlidir. Bu sahədə praktik yönümlü tədris metodlarının tətbiqi, akademik yazı və nitq üzrə xüsusi məşğələlərin təşkili, tələbələrin analitik düşüncə və təqdimat bacarıqlarının inkişafına sistemli yanaşma mühüm nəticələr verə bilər. Gələcəkdə Azərbaycan dilində işgüzar və akademik kommunikasiya üzrə nəzəri və praktik tədqiqatların genişləndirilməsi, yeni metodik vəsaitlərin hazırlanması və bu sahənin tədris proqramlarında daha geniş yer alması elmi və peşəkar mühitin keyfiyyətinin yüksəlməsinə xidmət edəcəkdir.

Ədəbiyyat

1. Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Nəsimi adına Dilçilik İnstitutu. (2021). *Azərbaycan dilinin orfoqrafiya lüğəti* (7-ci nəşr). Elm.
2. Azərbaycan Respublikası. (2003). *Azərbaycan Respublikasında dövlət dili haqqında Azərbaycan Respublikasının Qanunu*.
3. Azərbaycan Respublikası Prezidenti. (2013, 9 aprel). *"Azərbaycan dilinin qloballaşma şəraitində zamanın tələblərinə uyğun istifadəsinə və ölkədə dilçiliyin inkişafına dair Dövlət Proqramı"nın təsdiq edilməsi haqqında sərəncam*.
4. Swales, J. M., & Feak, C. B. (2012). *Academic writing for graduate students: Essential tasks and skills* (3rd ed.). University of Michigan Press.

MOTİVASİYANIN TƏHSİLDƏ ROLU VƏ MÜASİR YANAŞMALAR

KƏMALƏ YUSİFOVA
Bakı Mühəndislik Universiteti
Pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru
B/m., Xarici dillər kafedrası
keyusifova@beu.edu.az
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ

Bu məqalədə motivasiyanın təhsil prosesində rolu, onun mahiyyəti, növləri və müasir təhsil mühitində tətbiq olunan yanaşmalar geniş şəkildə təhlil olunur. Məqalədə motivasiyanın şagird və tələbələrin öyrənmə fəaliyyətinə təsiri, onların akademik nailiyyətlərinə və şəxsiyyət kimi formalaşmasına olan rolu araşdırılır. Eyni zamanda motivasiyanın daxili və xarici növləri müqayisəli şəkildə izah edilir və onların təhsil prosesində effektivliyi qiymətləndirilir.

Məqalədə qeyd olunur ki, daxili motivasiya daha davamlı və səmərəli nəticələr verdiyi üçün müasir təhsil sistemində onun formalaşdırılması əsas məqsədlərdən biri olmalıdır. Xarici motivasiya isə müəyyən hallarda stimullaşdırıcı rol oynasa da, uzunmüddətli inkişaf üçün kifayət etmir. Müəllifin fikrincə, motivasiya yalnız nəzəri anlayış kimi deyil, həm də praktiki tətbiq tələb edən bir prosesdir və onun düzgün təşkili təhsilin keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir.

Bundan əlavə, məqalədə müasir dövrdə motivasiyanın artırılması yolları, o cümlədən interaktiv təlim metodları, rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi, oyunlaşdırma və fərdi yanaşma kimi innovativ üsullar təhlil olunur. Müəllimin motivasiya yaratmadakı rolu xüsusi vurğulanır və göstərilir ki, müəllimin peşəkarlığı, ünsiyyət bacarıqları və şagirdlərə yanaşma tərzi motivasiyanın formalaşmasında əsas amillərdəndir.

Məqalədə həmçinin psixoloji mühitin motivasiyaya təsiri, şagirdlərin emosional vəziyyətinin öyrənmə prosesinə təsiri və motivasiya ilə akademik uğur arasındakı əlaqə geniş şəkildə izah olunur. Müəllifin şəxsi müşahidələri və yanaşmaları əsasında qeyd edilir ki, motivasiya yalnız təhsil nəticələrinə deyil, həm də şagirdlərin gələcək həyatına və peşə fəaliyyətinə təsir göstərir.

Nəticə olaraq vurğulanır ki, motivasiya təhsil prosesinin əsas sütunlarından biridir və onun düzgün formalaşdırılması daha effektiv, keyfiyyətli və davamlı təhsil sisteminin qurulmasına şərait yaradır.

Açar sözlər: Motivasiya, təhsil, təlim prosesi, müəllim rolu, şagird fəallığı, interaktiv təlim, rəqəmsal texnologiyalar, pedaqogika.

THE ROLE OF MOTIVATION IN EDUCATION AND MODERN APPROACHES

ABSTRACT

This article examines the role of motivation in the educational process, its essence, types, and modern approaches applied in contemporary education. The study analyzes the impact of motivation on students' learning activities, their academic achievements, and their personal development. Special attention is given to the comparison between intrinsic and extrinsic motivation, highlighting their effectiveness within the learning environment.

The author argues that intrinsic motivation plays a more sustainable and significant role in the educational process, as it is based on learners' internal interests and desire for self-development. Extrinsic motivation, although useful in certain situations, is considered less effective for long-term educational outcomes. In the author's opinion, motivation should not only be viewed as a theoretical concept but also as a practical tool that directly influences the quality of education.

Furthermore, the article explores modern strategies for enhancing motivation, including interactive teaching methods, the use of digital technologies, gamification, and individualized learning approaches. The role of the teacher in fostering motivation is emphasized, particularly in terms of communication skills, support, and the ability to create a positive learning environment.

In addition, the influence of psychological factors on motivation is discussed, including the importance of a supportive and stress-free educational atmosphere. The relationship between motivation and academic success is also analyzed, demonstrating that motivated students tend to achieve better results and retain knowledge more effectively. In conclusion, the article highlights that motivation is one of the fundamental pillars of education, and its proper development is essential for building an effective and high-quality educational system.

Keywords: Motivation, education, learning process, student engagement, teaching methods, digital technologies, pedagogy.

Təhsil cəmiyyətin inkişafında aparıcı rol oynayan əsas sahələrdən biridir. Bu sahənin keyfiyyəti isə yalnız proqram və metodlardan deyil, həm də təhsil prosesində iştirak edən insanların, xüsusilə şagirdlərin və tələbələrin bu prosesə olan münasibətindən asılıdır. Bu münasibəti formalaşdıran əsas amillərdən biri isə motivasiyadır.

Müasir dövrdə informasiya bolluğu şəraitində yaşadığımız üçün bilik əldə etmək əvvəlki dövrlərlə müqayisədə daha asan görünə bilər. Lakin mənim fikrimcə, əsas problem informasiyanın əlçatanlığında deyil, bu informasiyanı mənimsəmək istəyi və bacarığındadır. Bu isə birbaşa motivasiya ilə bağlıdır.

Motivasiya olmadan təhsil prosesi formal xarakter daşıyır. Şagird yalnız dərsdə iştirak edir, lakin öyrənməyə daxili ehtiyac hiss etmir. Mənim fikrim belədir ki, bu cür öyrənmə uzunmüddətli nəticə vermir və tez unudulur. Əksinə, motivasiya olduqda öyrənmə prosesi daha şüurlu və məqsədyönlü şəkildə həyata keçirilir.

Bundan əlavə, motivasiya yalnız akademik nəticələrə deyil, həm də şəxsiyyətin formalaşmasına təsir edir. Motivasiya olunmuş insan daha məqsədyönlü, məsuliyyətli və öz üzərində işləməyə meyilli olur. Bu baxımdan motivasiya təhsilin əsas sütunlarından biri kimi qiymətləndirilməlidir.

Motivasiyanın mahiyyəti və elmi yanaşmalar

Motivasiya anlayışı müxtəlif elmi sahələrdə geniş şəkildə araşdırılmışdır. Psixoloji baxımdan motivasiya insanın davranışını hərəkətə gətirən və onu müəyyən istiqamətə yönəldən daxili və xarici qüvvələrin məcmusudur. Motivasiya ilə bağlı müxtəlif nəzəri yanaşmalar mövcuddur. Bu yanaşmaların hər biri motivasiyanın fərqli aspektlərini izah edir. Mənim fikrimcə, bu yanaşmaların birlikdə öyrənilməsi motivasiyanın daha düzgün başa düşülməsinə kömək edir.

Ehtiyaclara əsaslanan yanaşmalar göstərir ki, insanın fəaliyyəti onun daxili ehtiyaclarından qaynaqlanır. İnsan əvvəlcə əsas ehtiyaclarını ödəməyə çalışır, daha sonra isə özünü inkişaf etdirməyə yönəlir. Bu yanaşmanı təhsilə tətbiq etdikdə belə nəticəyə gəlmək olar ki, şagirdin motivasiyası onun psixoloji və sosial vəziyyətindən asılıdır.

Digər mühüm yanaşma daxili motivasiya konsepsiyasıdır. Bu yanaşmaya görə, insan fəaliyyətinin ən güclü mənbəyi onun daxili maraqlarıdır. Mən düşünürəm ki, bu yanaşma təhsil üçün xüsusilə əhəmiyyətlidir. Çünki öyrənmə yalnız maraq əsasında qurulduqda daha davamlı olur. Sosial yanaşmalar isə motivasiyanın cəmiyyət və mühitlə bağlı olduğunu vurğulayır. Şagirdin ailəsi, dostları və müəllimi onun motivasiyasına birbaşa təsir göstərir. Mənim fikrimcə, bu amillər bəzən şagirdin şəxsi motiva siyasından daha güclü təsir göstərə bilər.

Motivasiyanın növləri və onların müqayisəli təhlili

Motivasiya müxtəlif formalarda təzahür edir və onların hər biri təhsil prosesində fərqli rol oynayır.

Daxili motivasiya

Daxili motivasiya insanın öz maraqları və istəkləri əsasında formalaşır. Bu zaman şagird öyrənməni zövq alaraq həyata keçirir. Mənim fikrimcə, daxili motivasiya təhsilin ən ideal formasıdır. Belə şagirdlər:
mövzunu daha dərindən öyrənir, əlavə məlumat axtarır, müstəqil düşünür.

Xarici motivasiya

Xarici motivasiya müxtəlif kənar təsirlərlə bağlıdır. Qiymətlər, mükafatlar və sosial gözləntilər bu motivasiya növünün əsas mənbələridir. Mənim fikrimcə, xarici motivasiya təhsilin başlanğıc mərhələsində faydalı ola bilər. Lakin yalnız bu motivasiya üzərində qurulan sistem şagirdin müstəqil inkişafına mane ola bilər.

Bundan əlavə, motivasiyanın digər formaları da mövcuddur:

- sosial motivasiya;
- şəxsi motivasiya;
- məqsədyönlü motivasiya.

Təhsil prosesində motivasiya yalnız daxili və xarici formalarla məhdudlaşmır. Daha geniş yanaşdıqda motivasiyanın sosial, şəxsi və məqsədyönlü formaları da xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu motivasiya növləri şagirdlərin davranışına, öyrənmə tərzinə və əldə etdikləri nəticələrə müxtəlif istiqamətlərdə təsir göstərir.

Sosial motivasiya

Sosial motivasiya insanın cəmiyyət daxilində qəbul olunmaq, tanınmaq və müəyyən sosial status qazanmaq istəyi ilə bağlıdır. Bu motivasiya növü daha çox insanın ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqəsi nəticəsində formalaşır. Şagirdlər çox vaxt müəllimlərin, valideynlərin və ya yaşıdlarının rəğbətini qazanmaq üçün daha yaxşı oxumağa çalışırlar. Mənim fikrimcə, sosial motivasiya xüsusilə məktəb mühitində güclü təsirə malikdir. Şagirdlər sinif yoldaşları arasında geri qalmamaq, müəllimin diqqətini cəlb

etmək və ya ailədə yüksək qiymətləndirilmək üçün daha çox səy göstərirlər. Bu motivasiya növü şagirdin fəaliyyətini stimullaşdırır və onu daha aktiv olmağa sövq edir. Lakin qeyd etmək lazımdır ki, sosial motivasiyanın həm müsbət, həm də mənfi tərəfləri mövcuddur. Müsbət tərəfi ondan ibarətdir ki, o, şagirdləri inkişaf etməyə təşviq edir. Mənfi tərəfi isə ondan ibarət ola bilər ki, bəzi hallarda şagird yalnız başqalarının fikrinə görə hərəkət edir və öz real maraqlarını nəzərə almır.

Qeyd etmək lazımdır ki, müəllimlər sosial motivasiyadan düzgün istifadə etməlidirlər. Onlar şagirdlər arasında sağlam rəqabət mühiti yaratmalı, eyni zamanda hər bir şagirdin fərdi xüsusiyyətlərini də nəzərə almalıdırlar.

Şəxsi motivasiya

Şəxsi motivasiya fərdin öz daxili məqsədləri, maraqları və dəyərləri əsasında formalaşır. Bu motivasiya növü insanın özünü inkişaf etdirmək, biliklərini artırmaq və həyatında müəyyən uğurlar əldə etmək istəyi ilə bağlıdır. Mən düşünürəm ki, şəxsi motivasiya təhsil prosesində ən güclü və ən dayanıqlı motivasiya növlərindən biridir. Çünki bu zaman şagird başqalarının təsiri ilə deyil, öz istəyi ilə öyrənir. Bu isə daha dərin və davamlı nəticələrə gətirib çıxarır. Şəxsi motivasiyaya malik olan şagirdlər adətən müstəqil şəkildə öyrənir, əlavə mənbələr axtarır, qarşılarına məqsədlər qoyur və onlara çatmağa çalışırlar. Bu cür şagirdlər yalnız dərs proqramı ilə kifayətlənmir, eyni zamanda öz maraq dairələrini genişləndirməyə çalışırlar. Mənim fikrimcə, bu xüsusiyyətlər müasir təhsil sistemində çox vacibdir.

Bununla belə, şəxsi motivasiyanın formalaşması müəyyən şərait tələb edir. Şagirdin özünə inamı, müsbət psixoloji mühit və müəllimin dəstəyi bu prosesdə mühüm rol oynayır. Əgər şagird daim tənqid olunursa və ya özünü dəyərsiz hiss edirsə, onun şəxsi motivasiyası zəifləyə bilər.

Məqsədyönlü motivasiya

Məqsədyönlü motivasiya insanın konkret məqsədlərə çatmaq istəyi ilə bağlıdır. Bu motivasiya növü daha çox planlı və şüurlu fəaliyyətlə xarakterizə olunur. Şagird qarşısına müəyyən məqsəd qoyur və bu məqsədə çatmaq üçün sistemli şəkildə çalışır. Qeyd edək ki, məqsədyönlü motivasiya təhsil prosesində çox vacibdir. Çünki məqsədi olan şagird daha planlı və məsuliyyətli olur. O, vaxtını düzgün bölür, prioritetlərini müəyyən edir və fəaliyyətini məqsədə uyğun təşkil edir.

Məqsədyönlü motivasiya aşağıdakı xüsusiyyətlərlə seçilir:

- konkret məqsədlərin müəyyən edilməsi;
- planlı fəaliyyət;
- nəticəyə yönəlmə;
- özünü qiymətləndirmə bacarığı.

Bu motivasiya növü xüsusilə yuxarı sinif şagirdləri və tələbələr üçün daha aktualdır. Məsələn, ali məktəbə qəbul olmaq istəyən şagirdlər məqsədyönlü şəkildə hazırlaşır və bu da onların motivasiyasını artırır. Araşdırmalar göstərir ki, məqsədyönlü motivasiya digər motivasiya növləri ilə birlikdə daha effektiv olur. Əgər şagird həm şəxsi maraq, həm sosial dəstək, həm də konkret məqsəd əsasında fəaliyyət göstərirsə, onun uğur qazanmaq ehtimalı daha yüksək olur.

Ümumi qiymətləndirmə

Sosial, şəxsi və məqsədyönlü motivasiya bir-biri ilə sıx əlaqədədir və təhsil prosesində kompleks şəkildə təsir göstərir. Mənim fikrimcə, bu motivasiya növlərinin balanslı şəkildə inkişaf etdirilməsi ən optimal nəticəni verir. Müəllimlər və təhsil sistemi bu üç istiqaməti nəzərə alaraq fəaliyyət göstərməlidir. Yalnız bu halda şagirdlərdə həm daxili maraq, həm sosial uyğunlaşma, həm də məqsədyönlü fəaliyyət formalaşa bilər. Beləliklə, motivasiya növlərinin birgə təsiri şagirdin ümumi inkişafına kömək edir.

Motivasiyanın təhsil prosesində funksiyaları

Motivasiya təhsil prosesində bir neçə mühüm funksiyanı yerinə yetirir:

1. İstiqamətləndirici funksiya – şagirdin fəaliyyətini müəyyən məqsədə yönəldir.
2. Stimullaşdırıcı funksiya – öyrənməyə maraq yaradır.
3. Tənzimləyici funksiya – davranışı idarə edir.
4. Davamlılıq funksiyası – öyrənmə prosesinin davam etməsini təmin edir.

Demək olar ki, bu funksiyalar bir-biri ilə sıx bağlıdır və onların hər biri təhsil prosesinin uğuruna təsir göstərir.

Motivasiya və öyrənmə keyfiyyəti

Motivasiya öyrənmə keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir. Motivasiya yüksək olduqda şagird yalnız məlumatı yadda saxlamır, onu anlayır və tətbiq edir. Mənim fikrim belədir ki, motivasiya olmadan əldə olunan biliklər səthi xarakter daşıyır. Motivasiya isə bu bilikləri dərin və davamlı edir.

Motivasiya həm də: yaradıcı düşüncəni inkişaf etdirir, problemlərin həllini asanlaşdırır, analitik bacarıqları gücləndirir.

Müasir təhsildə motivasiyanın artırılması yolları

Müasir təhsil sistemində motivasiyanın artırılması üçün müxtəlif metodlardan istifadə olunur:

İnteraktiv təlim.

Mən hesab edirəm ki, interaktiv dərslər şagirdlərin motivasiyasını artıran ən effektiv üsullardan biridir. Şagird dərsdə aktiv iştirak etdikdə öyrənmə prosesi daha maraqlı olur.

Texnologiyaların rolu.

Rəqəmsal texnologiyalar təhsildə yeni imkanlar yaradır. Mənim fikrimcə, texnologiyaların düzgün istifadəsi şagirdlərin motivasiyasını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Oyunlaşdırma.

Oyun elementləri dərsləri daha cəlbedici edir və şagirdlərdə maraq yaradır. Bu üsul xüsusilə aşağı yaş qruplarında effektivdir.

Müəllimin rolu və motivasiya strategiyaları

Motivasiyanın formalaşmasında müəllimin rolu həlledicidir. Mənim fikrimcə, müəllim şagirdləri motivasiya etməli, onları dəstəkləməli, fərdi yanaşma tətbiq etməlidir. Müəllimin davranışı və ünsiyyət tərzi şagirdin motivasiyasına birbaşa təsir edir.

Motivasiya və psixoloji mühit.

Psixoloji mühit motivasiyanın formalaşmasında mühüm rol oynayır. Mən düşünürəm ki, müsbət mühit motivasiyanı artırır, stress və qorxu isə onu azaldır. Şagird özünü rahat hiss etdikdə daha aktiv olur və öyrənməyə maraq göstərir.

Şəxsi müşahidələr və yanaşma

Mənim müşahidələrimə əsasən, motivasiya olan şagirdlər daha uğurlu olur. Onlar yalnız dərs üçün deyil, öz inkişafları üçün çalışırlar. Motivasiya təkcə müəllimdən deyil, həm də şagirdin daxili dünyasından asılıdır. Bu səbəbdən təhsil sistemi bu daxili motivasiyanı inkişaf etdirməyə yönəlməlidir.

Nəticə

Nəticə olaraq demək olar ki, motivasiya təhsil prosesinin əsas sütunlarından biridir. Onun düzgün təşkili həm akademik uğura, həm də şəxsiyyətin inkişafına təsir göstərir. Beləliklə, gələcəyin təhsil sistemi motivasiya üzərində qurulmalıdır. Yalnız bu halda biz daha güclü və inkişaf etmiş cəmiyyət qura bilərik.

İstifadə olunan ədəbiyyat:

1. Həsənov R. “Pedaqogika əsasları”.
2. Əlizadə Ə. “Təlim və motivasiya problemləri”.
3. Deci, E., Ryan, R. “Intrinsic Motivation and Self-Determination”.
4. Maslow A. “Motivation and Personality”.
5. Vygotsky L. “Thought and Language”.

ALİ TƏHSİL MÜƏSSİSƏLƏRİNDƏ "KİMYƏVİ REAKSİYALARIN TƏSNİFATI"-NA AİD MÖVZULARIN TƏDRİSİNDƏ TƏHSİLALANLARDA PROSEDURAL BİLİKLƏRİN İNKİŞAF ETDİRİLMƏSİ İSTİQAMƏTİNDƏ İSTİFADƏSİ TÖVSİYƏ OLUNAN KİMYA EKSPERİMENTLƏRİNİN TƏŞKİLİ METODOLOGİYASI

MƏTANƏT NURİYEVA
Mühəndislik fakultəsi, Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan

***Xülasə*:** Tədqiqat işində "Kimyəvi reaksiyaların təsnifatı"- a aid mövzunun tədrisində nəzəri və praktiki biliklərin düzgün mənimsənilməsi istiqamətində mövzu ilə əlaqəli kimya eksperimentlərinin düzgün təşkil edilməsinə geniş yer verilmişdir. Beləki, məqalədə əsas məqsəd qeyd olunan mövzunun tədrisində təhsilalanların prosedural və metakoqnitiv biliklərinin inkişaf etdirilməsi istiqamətində onların əldə etdikləri yeni biliklərinin laboratoriya məşğələlərinə, eləcə də, mövzu ilə bağlı müxtəlif tipli çoxsaylı tapşırıqlara müstəqil olaraq tətbiq etmələri zamanı eksperimental bacarıqlarının möhkəmləndirilməsinə uyğun əlverişli təlim mühitinin yaradılmasıdır.
Açar sözlər: Eksperimental metodlar, prosedural bilik, praktik məşğələ, katalizator.

Apardığımız araşdırmalara əsasən deyə bilərik ki, kimyəvi kinetikaya aid mövzuları tədris etdikdə müəllim tərəfindən təhsilalanların dərs prosesinə düzgün cəlb olunmasına xüsusi diqqət edilməlidir. Təhsilalanların dərsə cəlb olunması dedikdə, onların mövzu ilə bağlı laboratoriya fəaliyyətlərinə həvəsli olmaqları, yerinə yetirdikləri müstəqil fəaliyyətlərinin öz həyatlarında hansı əhəmiyyətə malik olduğunu müəyyənləşdirmək bacarıqlarının formalaşdırılması nəzərdə tutulur. Tələbələrin dərsə cəlb olunmasının ən mühim istiqamətlərindən biri də müstəqil iş üsullarıdır. Müstəqil iş üsullarının yerinə yetirilməsi nəticəsində onlarda prosedural, konseptual və metokoqnitiv biliklərin inkişaf etdirilməsini təmin edən öyrənmə həyata keçirilir.

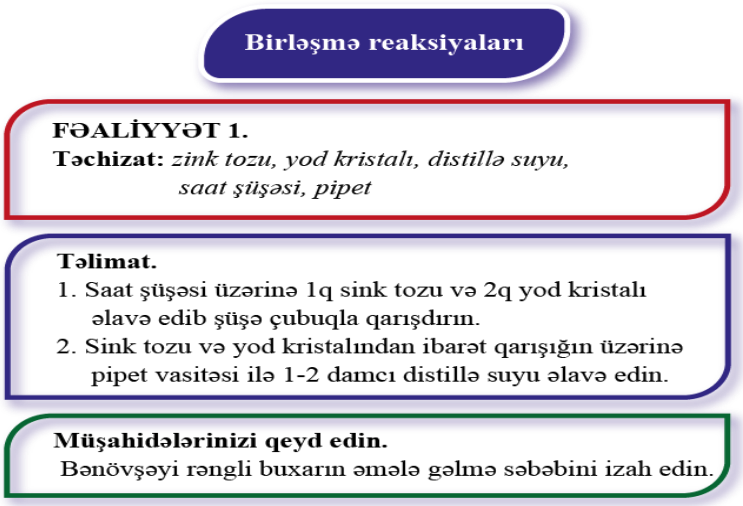
Eksperimental təcrübələr dedikdə, problemli vəziyyətin yaradılması ilə tədris olunan mövzuya aid təcrübələrin yerinə yetirilməsi zamanı müəyyən qrafiklərin qurulması və hesablamaların aparılmasını reallaşdıran eksperimentlər nəzərdə tutulur.

Kimyəvi reaksiyaların təsnifatına aid mövzuların tədrisində istifadə edilən laboratoriya və praktiki məşğələlərinin ümumi cəhətləri aşağıdakılardan ibarətdir:

- Hər iki halda təhsilalanlarda prosedural və konseptual biliklər formalaşdırılır
- Hər iki halda təhsilalanlar təcrübələri müstəqil olaraq yerinə yetirirlər
- Hər iki halda təhsilalanlar işin gedişi, müşahidə və nəticələrdən təşkil olunmuş hesabat tərtib edirlər.

EKSPERİMENTAL TƏDRİS METODLARI

Ali təhsil müəssisələrində "Kimyəvi reaksiyaların təsnifatına" aid mövzunun tədrisində laboratoriya və praktiki məşğələlərin təşkili zamanı istifadəsi tövsiyə olunan laboratoriya təcrübələri:

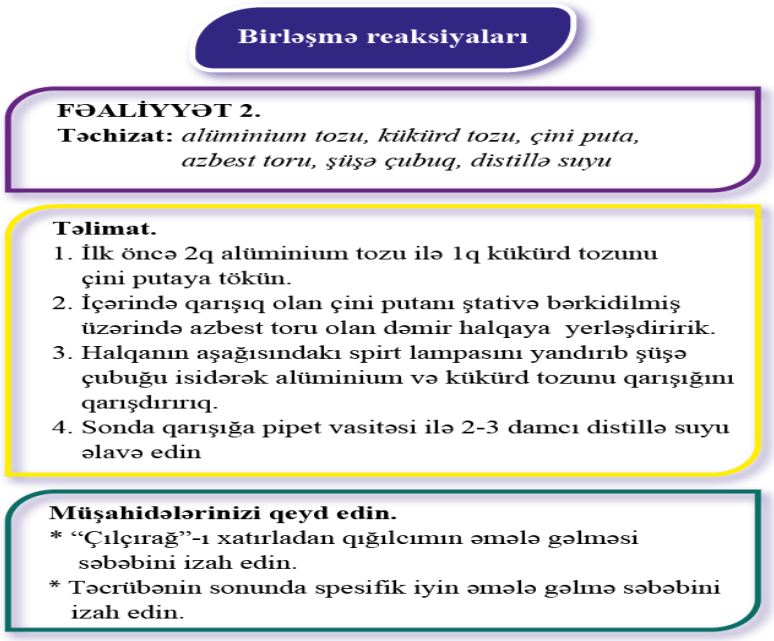


Şəkil 1. ZnJ_2-nin alınması eksperimenti.

İki və ya daha artıq bəsit və ya mürəkkəb maddədən bir yeni maddənin əmələ gəlməsi ilə gedən reaksiyalar birləşmə reaksiyalarıdır.

1. Əksər birləşmə reaksiyaları yeni rabitələrin əmələ gəlməsi səbəbindən ekzotermik reaksiyalardır.
2. Reaksiyanın gedişi prosesində yod kristallarının sublimasiya edərək bənövşəyi rəngli buxar əmələ gətirməsinə səbəb məhz ekzotermik reaksiya zamanı ayrılan istilikdir [1] .

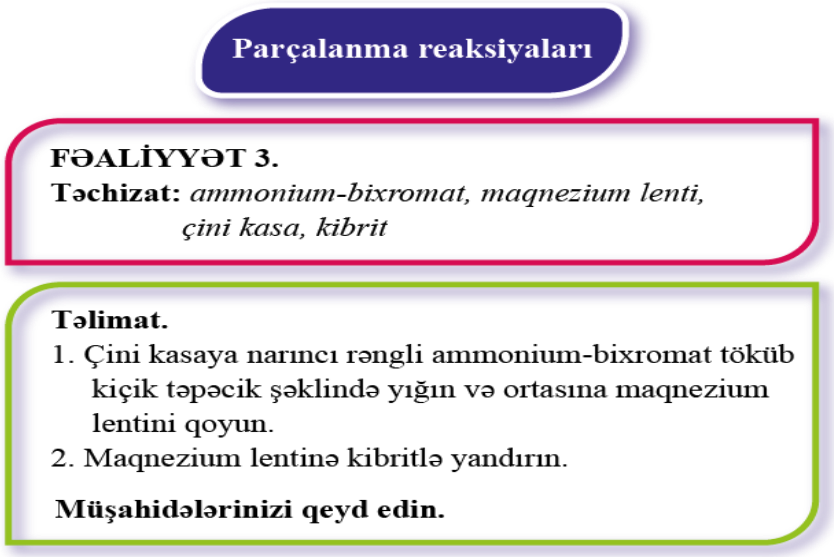
$Zn + J_2 \xrightarrow{H_2O} ZnJ_2 + Q$



Şəkil 2. Al_2S_3-ün alınması eksperimenti.

Bu təcrübənin yerinə yetirilməsində əsas məqsəd şagirdlərin mövzu ilə bağlı prosedural biliklərini möhkəmləndirməklə yanaşı, həmçinin onlarda fəndaxili inteqrasiyanın düzgün təşkil edilməsini formalaşdırmaqdır.

1. Beləki, alüminium və kükürd müəyyən temperatur nəticəsində birləşmə reaksiyasına daxil olur.
2. Reaksiya istiliyin ayrılması ilə gedən ekzotermik reaksiyadır.
3. Alınan Al_2S_3 birləşməsinin üzərinə distillə suyunu əlavə etdikdə alüminium-sulfidin hidroliz etməsi nəticəsində əmələ gələn xoşagəlməz spesifik "lax yumurta" iyli qaz isə hidrogen-sulfid qazıdır.

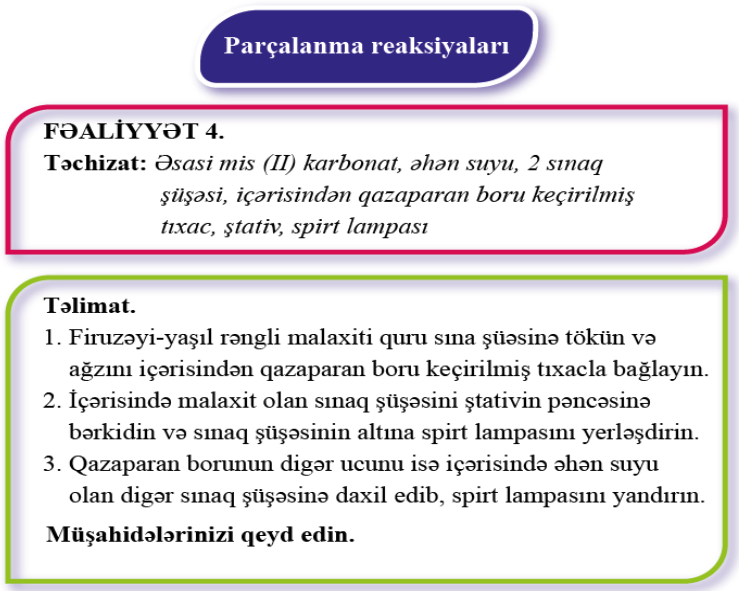


Şəkil 3. $(NH_4)_2Cr_2O_7$-nin parçalanmasına aid eksperiment.

1. Narıncı rəngli kristallik ammonium-bixromat temperaturun təsirindən ani parçalanaraq yaşıl rəngli üçvalentli xrom ionuna çevrilir (xromun bütün III valentli birləşmələri yaşıl rənglidir).
2. Parçalanma reaksiyası olsa da, istisna reaksiyadır ki, ekzotermikdir, yəni istiliyin ayrılması hesabına baş verir.
3. Bu reaksiyanın "süni vulkan" reaksiyası adlandırılmasına səbəb əmələ gələn azot qazının yaratdığı təzyiq hesabına xrom (III) oksidin küllərinin havaya qalxaraq vulkanı xatırlatmasıdır .

$(NH_4)_2Cr_2O_7 \xrightarrow{t} N_2\uparrow + Cr_2O_3 + 4H_2O$

narıncı yaşıl



Şəkil 4. $(CuOH)_2CO_3$-ün parçalanmasına aid eksperiment [2].

1. Firuzəyi-yaşıl rəngli əsasi mis (II) karbonat qara rəngli mis(II)oksidə çevrilməyə başlayır.
2. Reaksiya nəticəsində su ayrıldığı üçün sınaq şüşəsinin divarlarında su damcıları müşahidə olunur.
3. Həmçinin, karbon(IV)oksid əmələ gələrək əhəng suyunu bulandırmağa başlayır.
4. Bir müddət sonra əhəng suyunun yəni kalsium hidroksidin karbon(IV)oksidlə reaksiyasından bulantının əmələ gəlməsi ilə yaranan kalsium-karbonat karbon qazının artığında həll olaraq kalsium-hidrokarbonatın əmələ gəlməsi hesabına yenidən şəffaflaşır [3].

a) $(CuOH)_2CO_3 \xrightarrow{t} 2CuO + CO_2\uparrow + H_2O$

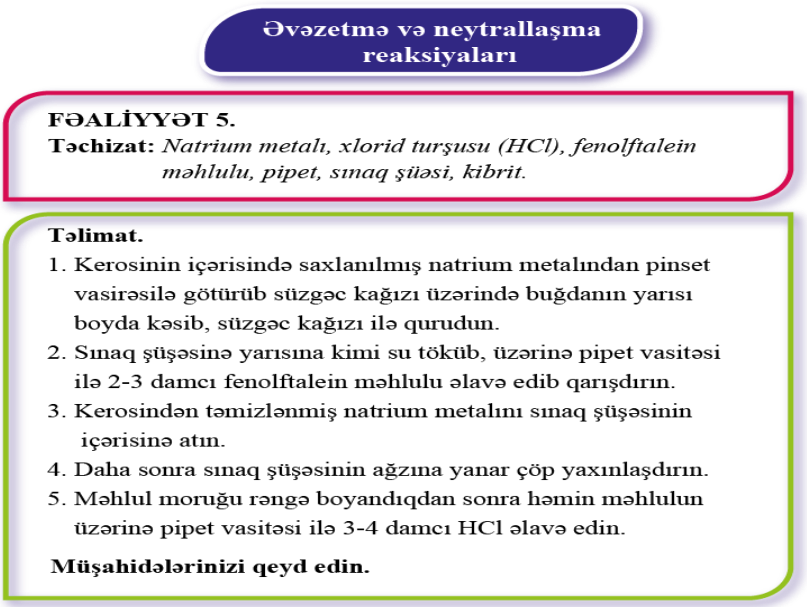
firuzəyi-yaşıl qara

b) $CO_2\uparrow + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O$

ağ

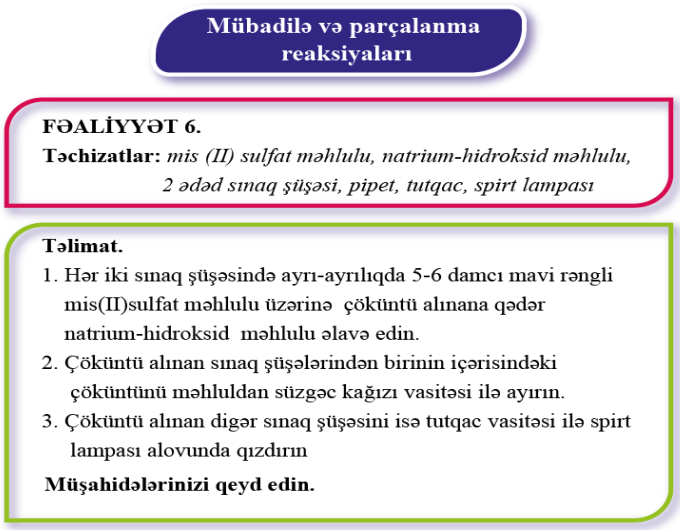
c) $CaCO_3\downarrow + H_2O + CO_2\uparrow \rightarrow Ca(HCO_3)_2$

ağ



Şəkil 5. Əvəzetmə və neytrallaşma reaksiyalarına aid eksperimentlər.

1. Bəsit maddə atomlarının mürəkkəb maddənin atomlarından birini əvəz etməsi ilə gedən reaksiyalara əvəzetmə reaksiyaları deyilir.
2. Natriumun su ilə qarşılıqlı təsirindən NaOH (qələvi) əmələ gəlir.
3. $2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2\uparrow$
4. Əmələ gələn qələvi indikator olan fenolftalein məhlulu ilə təyin edildi. Qələvilərin təsirindən fenolftalein moruğu, lakmus isə göy rəngə boyanır.
5. Natriumun su ilə reaksiyasından həmçinin hidrogen qazı ayrılır ki, reaksiyanın gedişi prosesində natrium metalını suyun üzərində sürətli hərəkət etdirən də həmin ayrılan hidrogen qazıdır.
6. Hidrogen qazının ayrılması isə yanar çöplə təyin edilir ki, bu zaman yanar çöp hidrogen qazının təsirindən "pax" səsi ilə sönür.
7. Turşu və əsas arasında baş verən mübadilə reaksiyalarına neytrallaşma reaksiyaları deyilir.
8. Tərkibində NaOH və fenolftaleindən ibarət moruğu rəngli məhlul üzərinə xlorid turşusu əlavə etdikdə məhlul rənsizləşər. Bu zaman məhlul turşu və əsas arasında baş verən neytrallaşma reaksiyası hesabına rəngsizləşir.
9. $NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$



Şəkil 6. Mübadilə və parçalanma reaksiyalarına aid eksperimentlər.

1. İki mürəkkəb maddə arasında baş verib iki yeni mürəkkəb maddənin əmələ gəlməsi ilə gedən reaksiyalara mübadilə və ya dəyişmə reaksiyaları deyilir.
2. Mis(II)sulfat və natrium-hidroksid arasındakı mübadilə reaksiyası nəticəsində göy rəngli mis(II)hidroksid çöküntüsü əldə edildi [4].

$CuSO_4 + 2NaOH \rightarrow Cu(OH)_2 \downarrow + Na_2SO_4$

mavi göy

3. Tərkibində göy rəngli mis(II)hidroksid çöküntüsü olan məhlulu qızdırdıqda baş verən parçalanma reaksiyası nəticəsində çöküntünün parçalanaraq mis(II)oksid əmələ gəlməsi nəticəsində məhlul qara rəngə boyandı.
4. $Cu(OH)_2 \downarrow \xrightarrow{t} CuO + H_2O$

göy qara

NƏTİCƏ

Beləliklə də, ali təhsil müəssisələrində kimya fənni üzrə tədris olunan dərslərin innovativ təlim texnologiyaları əsasında tədrisində eksperimental metodların düzgün təşkili metodikası tədris olunan mövzu ilə bağlı təhsilalanlarda faktoloji, konseptual, prosedural və metakoqnitiv biliklərin formalaşdırılmasına əsaslanan eksperimental bacarıqların hərtərəfli inkişafına şərait yaradır.

ƏDƏBİYYAT

[1] Abbasov V.M., Abbasov M.M., Əliyev.R. və.b Kimya VIII-IX siniflər üçün dərslik,Bak: Təhsil, 2013, s.135-138.
[2] Nuriyeva M.S. Organizational methofologhy of a chemistry experiment recommended for use in teaching topics related to"classification of chemical reactions" in secondary school//annali d,italia, 2025 issn3572-2436 №74. pp .90-99.
[3] Abbasov M.M.,Nuriyeva M.S., Abbaszadə S.M. Kimyəvi reaksiyaların sürəti və sürətə təsir edən amillər mövzusunun tədrisində məsələ həllinin rolu \\ ARTİ, Elmi əsərlər №6 cild 89, 2022
[4] Nuriyeva M.S. Kimyəvi reaksiyaların kinetikasının nəzəri əsasları \\ Kimya məktəbdə, 2019 №3(67).səh 20-26.

TƏDQİQAT ÜSULLARININ TƏDRİSİ: TƏLƏBƏLƏRİN AKADEMİK YAZI BACARIQLARINA TƏSİRİ

ŞƏFƏQ ƏLİZADƏ
Bakı Mühəndislik Universiteti
selizade@beu.edu.az

Xülasə

Bu məqalədə tədqiqat üsullarının tədrisinin tələbələrin akademik yazı bacarıqlarının formalaşmasına və inkişafına təsiri nəzəri-pedaqoji baxımdan təhlil olunur. Müasir ali təhsil mühitində akademik yazı yalnız yazılı nitq bacarığı kimi deyil, həm də elmi düşüncə, analitik yanaşma, məlumatın seçilməsi və sistemləşdirilməsi, mənbələrlə düzgün işləmə, arqumentlərin məntiqi əsaslandırılması və akademik etikaya əməl olunması ilə bağlı kompleks səriştə kimi qiymətləndirilir. Bu baxımdan tədqiqat üsulları fənni tələbələrdə elmi problemə yanaşma, məqsəd və vəzifələrin düzgün müəyyənləşdirilməsi, metod seçimi, materialın təhlili, nəticələrin ümumiləşdirilməsi və akademik üslubda təqdimatı üçün vacib baza yaradır. Məqalədə göstərilir ki, tədqiqat üsullarının sistemli tədrisi tələbələrin mövzu seçimi, mətnin strukturlaşdırılması, mənbələrin dəyərləndirilməsi, sitat və istinadların düzgün verilməsi, eləcə də əsaslandırılmış nəticə çıxarma bacarıqlarını inkişaf etdirir. Eyni zamanda vurğulanır ki, bu fənnin yalnız nəzəri səviyyədə deyil, praktik yazı tapşırıqları, məqalə təhlili, seminar müzakirələri və mərhələli geribildirim vasitəsilə tədrisi daha səmərəli nəticələr verir. Nəticə olaraq qeyd olunur ki, tədqiqat

üsullarının tədrisi akademik yazı mədəniyyətinin formalaşdırılmasında mühüm rol oynayır və ali təhsil sistemində keyfiyyətli elmi hazırlığın əsas tərkib hissələrindən biri hesab edilməlidir.
Açar sözlər: tədqiqat üsulları, akademik yazı, elmi düşüncə, ali təhsil, yazı bacarıqları, akademik etika

TEACHING RESEARCH METHODS: ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF STUDENTS' ACADEMIC WRITING SKILLS

Abstract

This article examines the impact of teaching research methods on the formation and development of students' academic writing skills from a theoretical and pedagogical perspective. In contemporary higher education, academic writing is regarded not only as a written language skill, but also as a complex competence associated with scientific thinking, analytical approach, selecting and organizing information, using sources properly, justifying arguments logically, and observing academic ethics. From this point of view, research methods courses provide an essential foundation for approaching scientific problems, defining aims and objectives accurately, selecting methods, analyzing materials, drawing conclusions, and presenting ideas in an academic style. The article argues that systematic instruction in research methods improves students' abilities in topic selection, text organization, source evaluation, correct citation and referencing, and evidence-based conclusion writing. It is also emphasized that teaching this course not only at a theoretical level but also through practical writing tasks, article analysis, seminar discussions, and staged feedback leads to more effective results. The study concludes that teaching research methods plays a significant role in shaping academic writing culture and should be considered one of the fundamental components of quality scientific training in higher education.
Keywords: research methods, academic writing, scientific thinking, higher education, writing skills, academic ethics

Giriş

Müasir ali təhsil sistemində tələbənin uğuru təkcə nəzəri biliklərin mənimsənilməsi ilə məhdudlaşmır. Bu gün tələbədən əldə etdiyi bilikləri təhlil etməsi, ümumiləşdirməsi, əsaslandırması və onları akademik normalara uyğun şəkildə təqdim etməsi tələb olunur. Bu baxımdan akademik yazı ali təhsilin mühüm komponentlərindən biri kimi çıxış edir. Akademik yazı sadəcə düzgün cümlə qurmaq bacarığı deyil; düşüncənin intizamı, elmi məntiqin qorunması, arqumentin qurulması, mənbə ilə işləmə mədəniyyəti və akademik məsuliyyətin ifadəsidir.

Tələbələr akademik yazı prosesində müxtəlif çətinliklərlə üzləşirlər. Onlar çox vaxt mövzunu dəqiq sərhədləndirməkdə, problemin elmi aspektini müəyyənləşdirməkdə, uyğun mənbələri seçməkdə, mətnin strukturunu qurmaqda, fikirləri ardıcıl şəkildə təqdim etməkdə və nəticələri əsaslandırmaqda çətinlik çəkirlər. Bu çətinliklərin kökündə isə əksər hallarda yazı bacarığından daha çox metodoloji hazırlığın zəifliyi dayanır. Yəni tələbə nəyi, necə və hansı əsaslarla yazmalı olduğunu aydın dərk etmədikdə, akademik mətn ya səthi, ya da pərakəndə xarakter daşıyır. Məhz bu məqamda tədqiqat üsulları fənni xüsusi əhəmiyyət qazanır. Tədqiqat üsulları tələbəyə elmi işin mahiyyətini, məqsəd və vəzifələrin müəyyənləşdirilməsini, metod seçimini, məlumat toplama və təhlil mexanizmlərini, nəticələrin ümumiləşdirilməsi prinsiplərini öyrədir. Bu biliklər isə birbaşa akademik yazının məzmununa, strukturuna və dilinə təsir göstərir. Babbie'nin (2004) qeyd etdiyi kimi, elmi araşdırma sistemli düşünmə və yoxlanıla bilən nəticə əldə etmə prosesidir və bu prosesin məntiqi akademik mətnin quruluşunda da öz əksini tapır.

Məqalənin məqsədi tədqiqat üsullarının tədrisinin tələbələrin akademik yazı bacarıqlarına təsirini təhlil etmək, bu təsirin əsas istiqamətlərini müəyyənləşdirmək və ali təhsil mühitində daha səmərəli tədris üçün metodik yanaşmalar irəli sürməkdir.

Tədqiqat üsullarının mahiyyəti və tədrisdə yeri

Tədqiqat üsulları elmi araşdırmanın məqsədyönlü şəkildə təşkili üçün istifadə olunan prinsip, metod, yanaşma və texnikaların sistemidir. Bu sahə mövzunun seçilməsindən başlayaraq problemin qoyuluşu, məqsəd və vəzifələrin müəyyənləşdirilməsi, məlumat toplama, materialın təhlili, nəticələrin çıxarılması və təqdimat mərhələlərini əhatə edir. Azizə (2003) görə, tədqiqat yalnız fakt toplamaq prosesi deyil, həm də seçilmiş məqsədə uyğun metodoloji nizam və elmi ardıcıllıq tələb edən fəaliyyətdir.

Ali təhsil müəssisələrində tədqiqat üsullarının tədrisi tələbələrdə elmi dünyagörüşünün formalaşmasına xidmət edir. Bu fənn vasitəsilə tələbə başa düşür ki, hər hansı elmi mətn və ya araşdırma təsadüfi fikir yığını deyil; konkret problem ətrafında qurulan, məqsədi, məntiqi, materialı və nəticəsi olan sistemli fəaliyyətdir. Bell (1995) ilk dəfə tədqiqat aparan tələbələr üçün bu mərhələli yanaşmanın zəruriliyini vurğulayaraq qeyd edir ki, uğurlu araşdırma düzgün planlaşdırma, mövzunun aydınlaşdırılması və

mərhələlərin ardıcıl icrası ilə mümkündür. Tədqiqat üsullarının tədrisi tələbələrə yalnız texniki məlumat vermir, eyni zamanda onlarda elmi problemə yanaşma mədəniyyəti yaradır. Tələbə mövzunu necə qısaltmalı olduğunu, hansı sualların elmi xarakter daşıdığını, hansı mənbələrin etibarlı sayıldığını, hansı metodun hansı məsələyə uyğun gəldiyini və əldə edilmiş nəticənin necə əsaslandırılmalı olduğunu öyrənir. Bu məqamların hər biri akademik yazıda mətnin dəyərini və inandırıcılığını müəyyənləşdirən əsas amillərdəndir.

Akademik yazının mahiyyəti və əsas xüsusiyyətləri

Akademik yazı elmi düşüncənin yazılı şəkildə sistemləşdirilmiş və əsaslandırılmış təqdimatıdır. Bu yazı növü aydınlıq, obyektivlik, məntiqilik, ardıcıllıq, terminoloji dəqiqlik və etik məsuliyyət kimi prinsiplərə əsaslanır. Bailey (2018) akademik yazının əsas məqsədinin oxucuya mövzu haqqında sadəcə məlumat vermək deyil, eyni zamanda həmin mövzu üzrə əsaslandırılmış və strukturlaşdırılmış mövqe təqdim etmək olduğunu vurğulayır. Akademik yazını digər yazı növlərindən fərqləndirən əsas cəhətlərdən biri onun dəlilə əsaslanmasıdır. Burada fikir şəxsi təəssürat səviyyəsində qalmır, mənbə, müşahidə, müqayisə, təhlil və nəticə ilə möhkəmləndirilir. Flowerdew (2013) akademik diskursu müəyyən elmi mühit daxilində formalaşan və həmin mühitin qaydalarına uyğun olaraq işləyən xüsusi ünsiyyət forması kimi xarakterizə edir. Bu yanaşma göstərir ki, akademik yazı təkcə dil vərdişi deyil, həm də elmi cəmiyyətin düşüncə və təqdimat standartlarına daxil olma prosesidir. Buna görə də akademik yazı tələbədən bir neçə bacarığın vəhdətini tələb edir: mövzuya fokuslanmaq, problemi müəyyənləşdirmək, ədəbiyyatı seçib qiymətləndirmək, materialı müqayisə etmək, arqument qurmaq, nəticə çıxarmaq və bunları dil baxımından uyğun formada təqdim etmək. Bu bacarıqların sistemli şəkildə formalaşması isə əhəmiyyətli dərəcədə tədqiqat üsullarının tədrisindən asılıdır.

Tədqiqat üsulları ilə akademik yazı arasındakı əlaqə

Tədqiqat üsullarının tədrisi ilə akademik yazı arasında sıx və məntiqi bağlılıq mövcuddur. Bu bağlılıq ilk növbədə mətnin strukturunda özünü göstərir. Elmi yazı giriş, problemin qoyuluşu, ədəbiyyatın nəzərdən keçirilməsi, metodoloji yanaşma, təhlil və nəticə kimi komponentlərdən ibarət olur. Tələbə tədqiqat üsullarını öyrəndikcə bu hissələrin hər birinin funksiyasını daha yaxşı anlayır və yazısında məntiqi ardıcıllığı qorumağa başlayır. İkinci mühüm əlaqə problemin formalaşdırılması ilə bağlıdır. Akademik yazıda ən böyük çətinliklərdən biri mövzunun ümumi və qeyri-dəqiq qalmasıdır. Tədqiqat üsulları fənni tələbəyə problemi konkretləşdirməyi, əsas sualı müəyyənləşdirməyi və yazını bu sualın ətrafında qurmağı öyrədir. Bu, mətndə dağınıqlığın qarşısını alır və yazının elmi dəyərini artırır. Üçüncü mühüm əlaqə mənbələrlə işləmə bacarığıdır. Tələbə elmi yazıda hansı mənbənin əsas, hansının yardımçı olduğunu, mənbənin etibarlılığını necə qiymətləndirməyi, sitat və parafrazı necə düzgün istifadə etməyi bilməlidir. Day (2003) yazır ki, elmi mətnin keyfiyyəti təkcə müəllifin nə düşündüyü ilə deyil, həmin düşüncənin hansı mənbələrlə və necə təqdim olunduğu ilə də ölçülür. Deməli, tədqiqat üsulları dərsi yazının informasiya bazasını gücləndirir. Dördüncü cəhət isə arqumentasiya ilə bağlıdır. Tədqiqat üsulları tələbəyə fakt, müşahidə, nəticə və interpretasiya arasındakı əlaqəni başa düşməyə kömək edir. Belə olduqda tələbə sadəcə məlumat vermir, həmin məlumatı təhlil edir, müqayisə edir, səbəb-nəticə əlaqələri qurur və müəyyən nəticəyə gəlir. Bu isə akademik yazının məzmununu dərinləşdirir və elmi səviyyəsini yüksəldir.

Akademik yazı bacarıqlarının inkişafında metodoloji hazırlığın rolu

Tədqiqat üsullarının tədrisinin akademik yazıya təsiri yalnız nəzəri çərçivə verməklə məhdudlaşmır. Bu fənn eyni zamanda tələbədə düşüncəni nizamlamaq bacarığı yaradır. Məsələn, tələbə yazı prosesinə başlamazdan əvvəl mövzunu müəyyənləşdirməyi, tədqiqat sualını qurmağı, əsas anlayışları seçməyi və məqalənin planını hazırlamağı öyrənir. Bu hazırlıq mərhələsi akademik yazının keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir.

Seyidoğlu (2009) elmi araşdırma və yazı prosesində planlılığın, sistemli material toplamanın və düzgün yazı üsulunun əsas şərt olduğunu vurğulayır. Bu baxımdan yazı prosesi düşüncə prosesindən ayrı deyil; əksinə, yaxşı yazı aydın və sistemli düşüncənin məhsuludur. Tələbə tədqiqat üsullarını mənimsədikcə yazı prosesini daha şüurlu şəkildə idarə edir, mətnin ayrı-ayrı hissələrinin funksiyasını düzgün müəyyənləşdirir, arqumentləri məqsədəuyğun şəkildə yerləşdirir və fikirlər arasında məntiqi keçidləri daha aydın qurur. Denzin və Lincoln (1998) keyfiyyət yönümlü materiallarla işləməkdə təhlil və interpretasiyanın mühüm rolunu göstərirlər. Bu fikir akademik yazı üçün də son dərəcə əhəmiyyətlidir. Çünki tələbə topladığı məlumatı yalnız təkrar etməməli, onu şərh etməli, ümumiləşdirməli və elmi mövqe şəklində təqdim etməlidir. Bu baxımdan tədqiqat üsulları dərsi informasiyanın təhlil və ümumiləşdirmə yolu ilə elmi biliyə çevrilməsini, həmin bilik əsasında isə arqumentlərin və nəticələrin formalaşdırılmasını təmin edir.

Tədqiqat üsullarının tədrisində praktik komponentlərin əhəmiyyəti

Tədqiqat üsullarının tədrisi yalnız nəzəri mühazirə şəklində qurulduqda tələbələrin akademik yazı bacarıqlarında gözlənilən inkişaf tam təmin olunmur. Buna görə də bu fənnin praktik yazı fəaliyyəti ilə inteqrasiyası vacibdir. Praktik komponentlər tələbəyə nəzəri bilikləri tətbiq etməyə, səhvlərini görməyə və yazı üzərində mərhələli şəkildə işləməyə imkan verir. Bu istiqamətdə səmərəli üsullardan biri kiçik həcmli araşdırma tapşırıqlarıdır. Məsələn, tələbəyə konkret bir mövzu üzrə problem qoyuluşu yazdırmaq, qısa ədəbiyyat icmalı hazırlatmaq, müəyyən məqaləni təhlil etdirmək və ya tədqiqat planı qurmaq kimi tapşırıqlar metodoloji biliklə akademik yazı arasında körpü yaradır. Bell (1995) bu cür mərhələli tapşırıqların başlanğıc səviyyədə olan tədqiqatçılar üçün xüsusi əhəmiyyət daşıdığını vurğulayır. Digər mühüm vasitə müəllim tərəfindən verilən geribildirimdir. Akademik yazı birdəfəlik yaranan məhsul deyil; ilkin qaralama, düzəliş, redaktə və təkmilləşdirmə mərhələlərindən keçir. Bailey (2018) yazı bacarığının inkişafı üçün geribildirimin sadəcə səhv göstərmək funksiyası daşımadığını, eyni zamanda düşüncə axınının düzəldilməsi və arqumentin gücləndirilməsi baxımından mühüm rol oynadığını qeyd edir. Bu baxımdan tədqiqat üsulları dərsində yazı prosesi mərhələli nəzarət, sistemli geribildirim və metodik istiqamətləndirmə ilə dəstəklənməlidir. Seminar müzakirələri isə tələbənin fikirlərini şifahi şəkildə əsaslandırmaq, mövqeyini müdafiə etmək və arqumentlərini dəqiqləşdirmək bacarığını inkişaf etdirir. Bu təcrübə sonradan yazılı ifadədə daha aydın, ardıcıl və əsaslandırılmış mətn qurulmasına şərait yaradır. Nəticə etibarilə, tədqiqat üsullarının tədrisi yalnız yazının son nəticəsinə deyil, yazını formalaşdıran idraki və analitik proseslərə də birbaşa təsir göstərir.

Akademik etika və tədqiqat üsullarının rolu

Akademik yazının vacib tərəflərindən biri etikadır. Elmi dürüstlük, sitat və istinadların düzgün verilməsi, plagiatdan yayınma və müəllif hüquqlarına hörmət akademik yazının əsas şərtlərindəndir. Tələbə bu qaydaları yalnız formal tələblər kimi deyil, elmi mədəniyyətin ayrılmaz hissəsi kimi mənimsəməlidir. Day (2003) elmi məqalənin hazırlanması prosesində mənbəyə istinadın, müəllif mövqeyinin və təqdimat etikasının elmi işin etibarlılığı üçün həlledici olduğunu vurğulayır. Eyni şəkildə, Seyidoğlu (2009) elmi yazının düzgünlüyünün yalnız dil və forma məsələsi deyil, həm də intellektual dürüstlük məsələsi olduğunu önə çəkir. Bu baxımdan tədqiqat üsulları dərsində istinad qaydalarının, parafraz üsullarının və plagiat anlayışının praktik nümunələrlə izahı vacibdir. Akademik etikaya əməl etməyən mətn elmi baxımdan zəif görünməklə yanaşı, müəllifin etibarlılığını da azaldır. Buna görə tədqiqat üsullarının tədrisi tələbələrdə yalnız yazı texnikası deyil, həm də elmi məsuliyyət mədəniyyəti formalaşdırmalıdır.

Nəticə

Nəticə olaraq demək olar ki, tədqiqat üsullarının tədrisi tələbələrin akademik yazı bacarıqlarının formalaşması və inkişafında mühüm rol oynayır. Bu fənn tələbələrdə elmi düşüncə tərzini inkişaf etdirir, mövzuya problem əsaslı yanaşma bacarığı yaradır, mənbələrlə işləmə mədəniyyətini formalaşdırır, arqument qurmaq və nəticəni əsaslandırmaq vərdişlərini gücləndirir. Eyni zamanda, akademik üslubun xüsusiyyətlərinin mənimsənilməsi, mətnin məntiqi və struktur baxımından düzgün qurulması, eləcə də istinad sisteminə uyğunluğun təmin edilməsi kimi mühüm komponentlər də tədqiqat üsullarının səmərəli tədrisi nəticəsində daha aydın və məqsədyönlü şəkildə formalaşır. Araşdırma göstərir ki, akademik yazı yalnız dil və ifadə vasitələrinin düzgün istifadəsi ilə məhdudlaşmır. Həm də tədqiqat məntiqinin, analitik və tənqidi yanaşmanın, elmi informasiyanın sistemləşdirilməsi bacarığının və akademik məsuliyyətin göstəricisidir. Bu baxımdan tədqiqat üsulları fənni tələbələrin yalnız yazılı nitqinin inkişafına deyil, həm də onların elmi düşünmə və müstəqil araşdırma aparma qabiliyyətinin formalaşmasına birbaşa təsir edir. Tələbə bu fənn vasitəsilə elmi problemin müəyyənləşdirilməsi, məqsəd və vəzifələrin dəqiq qurulması, uyğun metodların seçilməsi, əldə olunan nəticələrin təhlili və ümumiləşdirilməsi kimi vacib mərhələləri mənimsəyir ki, bu da akademik yazının məzmun və keyfiyyət göstəricilərini yüksəldir.

Ali təhsil müəssisələrində tədqiqat üsullarının tədrisi geniş, ardıcıl və məqsədyönlü şəkildə təşkil edilməlidir. Bu fənnin yalnız nəzəri biliklərin ötürülməsi ilə məhdudlaşdırılması kifayət etmir. Bu fənnin praktik yazı tapşırıqları, məqalə və mətn təhlilləri, seminar müzakirələri, kiçik tədqiqat layihələri və mərhələli geribildirim üzərində qurulması tədrisin səmərəliliyini artırır və daha yüksək nəticələrin əldə olunmasına imkan verir. Belə yanaşma tələbələrin əldə etdikləri bilikləri tətbiq etməsinə, öz fikirlərini daha dəqiq və əsaslandırılmış şəkildə ifadə etməsinə, eləcə də elmi yazı prosesinə daha şüurlu və məsuliyyətli yanaşmasına imkan verir.

Beləliklə, tədqiqat üsullarının tədrisi tələbələrin yalnız akademik yazı bacarıqlarını inkişaf etdirmir, eyni zamanda onların elmi dünyagörüşünün, intellektual müstəqilliyinin, tənqidi təfəkkürünün və araşdırma

mədəniyyətinin formalaşmasına da əhəmiyyətli təsir göstərir. Bu baxımdan həmin fənn ali təhsil mühitində keyfiyyətli elmi hazırlığın, akademik səriştələrin və gələcək tədqiqat potensialının inkişafını təmin edən əsas istiqamətlərdən biri kimi qiymətləndirilməlidir.

Ədəbiyyat

1. Aziz, A. (2003). *Araştırma yöntemleri, teknikleri ve iletişim* (3. b.). Turhan Kitabevi.
2. Babbie, E. (2004). *The practice of social research*. Thomson/Wadsworth.
3. Bailey, S. (2018). *Academic writing: A handbook for international students*. Routledge.
4. Bell, J. (1995). *Doing your research project: A guide for first-time researchers in education and social science* (2nd ed.). Open University Press.
5. Day, R. A. (2003). *Bilimsel makale nasıl yazılır, nasıl yayınlanır?* (G. A. Altay, Çev.). TÜBİTAK Bilgi Dizisi.
6. Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (1998). *Collecting and interpreting qualitative materials*. Sage Publications.
7. Flowerdew, J. (2013). *Academic discourse*. Routledge.
8. Seyidoğlu, H. (2009). *Bilimsel araştırma ve yazma el kitabı* (Geliştirilmiş 10. baskı). Güzem Can Yayınları.

TƏLİMDƏ TƏLƏBƏLƏRİN MOTİVASIYASININ ARTIRILMASI YOLLARI
WAYS TO INCREASE STUDENTS' MOTIVATION IN THE LEARNING PROCESS

SƏMA HƏSƏNLİ
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin Cəlilabad filialı
Pedaqoji fakültə, tələbə
Cəlilabad, Azərbaycan
hesenlisema76@gmail.com

Xülasə: Bu tədqiqat işi təlim prosesində tələbə motivasiyasının artırılması yollarının araşdırılmasına həsr olunmuşdur. Məqalədə motivasiya anlayışı, onun əhəmiyyəti, onun formalaşmasına təsir edən daxili və xarici amillər elmi baxımdan araşdırılmışdır. İşin praktik hissəsində aparılan sorğunun nəticələrinə əsasən, dərsdə aktiv iştirak, müəllimin müsbət münasibəti və yaxşı qiymət vermə tələbə motivasiyasının artırmasına kömək edən əsas amillər kimi müəyyən olunmuşdur. Digər amillərin isə nisbətən zəif qiymətləndirildiyi müşahidə olunmuşdur.
Açar sözlər: *motivasiya, tələbə, təlim prosesi, sorğu-sual, auditoriya mühiti*

Abstract: This research study is devoted to investigating ways to increase student motivation in the learning process. The concept of motivation, its importance, and the internal and external factors influencing its formation are analyzed from a scientific perspective. Based on the results of the survey conducted in the practical part of the study, active participation in class, a teacher's positive attitude, and awarding good grades were identified as the main factors contributing to increased student motivation. Other factors were observed to be relatively less significant.
Key words: *motivation, student, training process, questioning, audience environment*

GİRİŞ

Gənclərin tərbiyəsi mürəkkəb və çoxşaxəli bir proses olub, təşviq və dəstəyin balanslaşdırılmış birləşməsini tələb edir. Motivasiya fərdləri uğura can atmağa ruhlandıran daxili fikir kimi çıxış etsə də, həmçinin nizam-intizam ardıcıllığı və nizamı qoruyan təməl struktur rolunu da oynayır.

Motivasiya məhsul deyil prosesdir. Bir proses olaraq biz motivasiyanı birbaşa müşahidə etmirik, əskinə onun mövcudluğunu hərəkətlərdən (məsələn, tapşırıqların seçimi, səy, əzmkarlıq) və şifahi ifadələrdən (məsələn, "Mən həqiqətən bunun üzərində işləmək istəyirəm") nəticə çıxarırıq.

Motivasiya fiziki və ya zehni fəaliyyətlər tələb edir. Fiziki fəaliyyətlər səy, əzmkarlıq və digər açıq hərəkətləri əhatə edir. Zehni fəaliyyətlərə planlaşdırma, məşq , təşkilatlanma, monitorinq, qərar qəbuletmə, problemləri həll etmə və irəliləyişi qiymətləndirmək kimi zehni fəaliyyətlər daxildir.

TƏDQİQAT METODU

Motivasiya termini latınca "movere" (hərəkət etmək) feilindən götürülmüşdür. Hərəkət ideyası motivasiya haqqında bizi hərəkətə gətirən, işləməyimizə və tapşırıqları yerinə yetirməyimizə kömək edən proses kimi öz əksini tapır. Motivasiya fəaliyyətlərin davam etdirilməsi üçün çox vacibdir. Bir çox əsas məqsədlər ,məsələn, fəxri siyahıya düşmək, tezisin tamamlanması və məzun olmaq uzunmüddətlidir. Motivasiya haqqında bildiklərimizin çoxu insanların uzunmüddətli məqsədlərə çatmaq üçün qarşılaşdıqları çətinliklərə, problemlərə, uğursuzluqlara və geriləmələrə necə reaksiya verdiklərini müəyyən etməkdən irəli gəlir. İnsanların bu vəziyyətlərdə strategiyaları, inancları və emosiyaları kimi motivasiya prosesləri onlara çətinliklərin öhdəsindən gəlməyə və motivasiyanı qorumağa kömək edir. Bir sözlə motivasiya məqsədyönlü davranışlarla nəticələnən daxili vəziyyətdir.

Motivasiya dediyimiz kimi fərdləri məqsədlərinə çatdırmaq üçün hərəkətə keçirməyə məcbur edən psixoloji qüvvədir. Onu 2 yerə bölmək olar:

1. Daxili motivasiya: daxili məmnuniyyət, maraq və şəxsi inkişafla idarə olunur. Bu motivasiya tələbənin özündən gəlir, maraqları və məqsədləri ilə əlaqələndirilir. Məsələn, yeni bir şey öyrənmək və ya bacarıqları artırmaq istəyi.
2. Xarici motivasiya: tanınma, qiymətlər və ya maliyyə stimulları kimi xarici mükafatdan təsirlənir. Xarici motivasiya qiymətlər, tanınma və ya mükafatlar kimi xarici amillərdən asılıdır.

Motivasiyanın növünü müəyyənləşdirmək üçün isə sadə anketlər və fərdi söhbətlər tələbələri nəyin idarə etdiyini anlamağa və onların ehtiyaclarına uyğunlaşmağa kömək edəcəkdir.

Motivasiyanın azaldılması problemləri

Motivasiyanın azaldılması təhsil təşkilatlarının üzləşdiyi əsas problemlərdən biridir. Təlimin müxtəlif mərhələlərində baş verə bilən, nişan, akademik performans və hədəflərə mənfi təsir göstərə bilər.

Motivasiyanın azaldılmasının əlamətləri:

- Dərslərə marağın azalması: tələbələr müzakirələrdə fəal iştirak etməyi dayandırır, müəllimi və tələbə yoldaşları ilə qarşılıqlı əlaqədən çəkinirlər
- İştirakın azalması: şagirdlər dərsi atlayır, və ya fəaliyyətlərində iştirakını tamamilə dayandırır
- Uğursuzluq: test nəticələrinin pisləşməsi, tapşırıqların vaxtında verilməməsi və ya görülən iş keyfiyyətinin aşağı salınması
- Passiv davranış: tələbələr laqeyd qalırlar, təşəbbüs göstərməkdən çəkinirlər və maraq göstərmirlər
- Tez-tez şikayətlər: şagirdlər tədris prosesindən, materiallardan və ya müəllimlərdən narazılıqlarını bildirirlər

Tələbə motivasiyası pedaqoji ədəbiyyatda əsasən daxili və xarici amillərin qarşılıqlı təsiri kontekstində izah olunur. Bununla belə, bu amillərin real auditoriya mühitində tələbələr tərəfindən necə qavranılması məsələsi empirik tədqiqat baxımından xüsusi aktuallıq kəsb edir. Bu məqsədlə Filial tələbələri arasında 108 respondentin iştirakı ilə sorğu əsaslı tədqiqat aparılmışdır.

Tədqiqatda məlumatların toplanması üçün sorğu üsulundan istifadə edilmişdir. Anket forması pedaqoji nəzəriyyələrə əsaslanaraq hazırlanmış, qapalı və açıq tipli sualları əhatə etmişdir. Qapalı tipli sualda respondentlərə təlim prosesində motivasiyalarını artıran fəaliyyət növləri təqdim olunmuş və onlardan uyğun variantı seçmək tələb olunmuşdur. Açıq tipli sual isə tələbələrin motivasiyasına təsir edən digər amilləri sərbəst şəkildə ifadə etmələrinə imkan yaratmışdır.

Qapalı tipli sual üzrə əldə olunan nəticələrin təhlili göstərir ki, tələbə motivasiyasına təsir edən amillər arasında aktiv və interaktiv təlim formaları ilə nəticəyönümlü xarici motivasiya arasında balans müşahidə olunur. Belə ki, "dərslərdə müzakirə və praktik fəaliyyətlərdə iştirak" (27.8%) və "müəllimin tərifi və yaxşı qiymət almaq" (27.8%) eyni səviyyədə ən yüksək göstəriciyə malik olmuşdur. Bu nəticə tələbə motivasiyasının həm daxili (maraq, iştirak, öyrənmə prosesindən zövq alma), həm də xarici (qiymətləndirmə, sosial tanınma) amillərlə şərtləndiyini empirik olaraq təsdiqləyir.

İnteraktiv fəaliyyətlərin yüksək qiymətləndirilməsi tələbələrin passiv öyrənmə modelindən uzaqlaşaraq, daha çox iştirakçı və təcrübəyönümlü öyrənmə mühitinə üstünlük verdiyini göstərir. Bu tip fəaliyyətlər tələbələrdə həm idrak fəallığını artırır, həm də öyrənmə prosesinə psixoloji bağlılıq yaradır. Digər tərəfdən,

müəllimin tərifi və akademik qiymətləndirmənin eyni səviyyədə yüksək nəticə göstərməsi tələbələrin geribildirimə və nəticələrin tanınmasına həssas yanaşdığını göstərir. Bu isə motivasiyanın davamlılığında möhkəmləndirici mexanizm kimi çıxış edir.

"Qrup işi və müəllimin dəstəyi" amilinin (24.1%) nisbətən yüksək, lakin lider mövqedə olmaması bu faktorun əhəmiyyətli, lakin universal olmadığını göstərir. Bu hal tələbələr arasında öyrənmə üslublarının fərqliliyi ilə izah oluna bilər. Bəzi tələbələr üçün əməkdaşlıq mühiti motivasiyaedici olduğu halda, digərləri fərdi fəaliyyətə daha çox üstünlük verə bilər. Eyni zamanda qrup işində iştirak səviyyəsinin bərabər olmaması da bu göstəriciyə təsir edən amillərdən biri kimi çıxış edir.

"Tapşırıqları uğurla yerinə yetirmək" (15.5%) amilinin daha aşağı faizlə ifadə olunması motivasiyanın yalnız nəticədən deyil, prosesdən də asılı olduğunu göstərir. Bu nəticə onu deməyə əsas verir ki, tələbələr üçün təkcə uğur hissi deyil, həmin uğura aparan öyrənmə mühiti və proses də motivasiya baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Ən aşağı göstəricinin "mövzunu araşdıraraq öyrənmək" (4.8%) amilinə aid olması isə xüsusi diqqət tələb edən məqamdır. Bu nəticə tələbələrin müstəqil və tədqiqatyönümlü öyrənmə fəaliyyətlərini daha az motivasiyaedici hesab etdiyini göstərir. Ehtimal olunur ki, bu tip fəaliyyətlər daha çox zaman, səy və yüksək səviyyədə özünütənzimləmə bacarığı tələb etdiyindən tələbələr tərəfindən çətin və əlavə yük kimi qavranılır. Bu isə təlim prosesində tələbəyönümlü, lakin eyni zamanda strukturlaşdırılmış və dəstəkləyici yanaşmaların vacibliyini ön plana çıxarır.

Açıq tipli sual üzrə əldə olunan cavabların təhlili isə qapalı sualın nəticələrini tamamlayaraq tələbə motivasiyasının daha fərdi və kontekstual tərəflərini üzə çıxarmışdır. Respondentlərin cavablarında "müxtəlif informasiya mənbələrindən istifadə", "rollu oyunlar", "yarış elementləri", "müəllimin emosional yanaşması və dəstəyi", həmçinin "vizual təqdimat vasitələri" kimi faktorlar qeyd edilmişdir. Bu nəticələr göstərir ki, motivasiya yalnız məzmun və fəaliyyət növləri ilə deyil, eyni zamanda dərsin təqdimetmə forması, emosional mühiti və müəllim-tələbə qarşılıqlı münasibətləri ilə sıx bağlıdır.

NƏTİCƏ

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, motivasiya təlim prosesinin səmərəliyi müəyyən edən əsas amillərdən biridir və tələbənin öyrənməyə münasibətinə, fəallığına və nailiyyətlərinə birbaşa təsir göstərir. Beləliklə, tədqiqatın nəticələri göstərir ki, tələbə motivasiyası çoxölçülü xarakter daşıyır və onun effektiv şəkildə artırılması üçün həm interaktiv təlim metodlarının, həm də sistemli geribildirim və dəstək mexanizmlərinin inteqrasiyası zəruridir. Eyni zamanda müstəqil öyrənmə bacarıqlarının inkişaf etdirilməsi üçün tələbələrə mərhələli və yönləndirici dəstəyin göstərilməsi məqsədəuyğun hesab olunur.

Ədəbiyyat

[5] Reeve, J. A Self-Determination Theory Perspective on Student Engagement. Handbook of Research on Student Engagement, Motivation in Education: Theory, Research, and Applications. Pearson. 2012.
[6] Pintrich, Paul R. A Motivational Science Perspective on the Role of Student Motivation in Learning and Teaching Contexts. Journal of Educational Psychology, 2003.
[7] Schunk, Dale H., Meece, J. L., & Pintrich, P. R. 2014.
[8] Wentzel, Kathryn R., & Brophy, J. Motivating Students to Learn. Routledge, 2014.

AZƏRBAYCANDA İBTİDAİ SİNİF MÜƏLLİMLƏRİNİN PORTFOLİO QİYMƏTLƏNDİRMƏYƏ DAİR FİKİRLƏRİ: DÖVLƏT VƏ ÖZƏL MƏKTƏBLƏR ÜZRƏ MÜQAYİSƏLİ YANAŞMA

AYTAC YUSİFLİ
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
SABAH qrupları Təhsildə Qiymətləndirmə və Monitorinq
aytaj.yusifli@bk.ru
Bakı, Azərbaycan
https://orcid.org/0009-0007-2683-2736

Xülasə

Bu tədqiqat Azərbaycanda ibtidai təhsil səviyyəsində şagird portfoliolarının qiymətləndirilməsi ilə bağlı müəllimlərin peşəkar baxışlarını və təcrübələrini araşdırmaq məqsədi daşıyır. Araşdırma keyfiyyət yanaşması çərçivəsində fenomenologiya dizaynı əsasında həyata keçirilmişdir. Məlumatlar məqsədli seçmə üsulu ilə seçilmiş dövlət və özəl məktəblərdə çalışan ümumilikdə 10 müəllimlə aparılan yarı strukturlaşdırılmış müsahibələr vasitəsilə toplanmışdır. Təhlil nəticələri göstərir ki, portfolionun tətbiqinə yanaşmalar təhsil mühitinə görə fərqlənir. Dövlət məktəblərində portfolio əsasən şagird fəaliyyətinin izlənməsi, materialların toplanması və formal qiymətləndirmə məqsədilə istifadə olunur və daha çox nəzarətyönümlü xarakter daşıyır. Özəl məktəblərdə isə portfolio daha inkişafyönümlü yanaşma ilə tətbiq edilərək şagirdin davamlı inkişafının izlənməsi, formativ qiymətləndirmə və valideynlərlə kommunikasiya vasitəsi kimi çıxış edir. Portfoliodan istifadə tezliyi müəllimlər arasında fərqli olub yüksək, orta və aşağı səviyyələrdə müşahidə edilir. Ən geniş yayılmış portfolio növü qiymətləndirmə yönümlü portfoliolar olsa da, nümayiş və inteqrativ yanaşmalar da tətbiq olunur. Bununla yanaşı, qiymətləndirmə meyarlarının müxtəlifliyi və vahid standartların olmaması obyektivlik baxımından müəyyən çətinliklər yaradır. Nəticələr göstərir ki, portfolio şagirdlərin motivasiyasına, özünüqiymətləndirmə və reflektiv bacarıqlarına müsbət təsir göstərir. Lakin vaxt məhdudiyyəti, iş yükü və valideyn dəstəyinin zəifliyi əsas problemlər kimi çıxış edir. Bu baxımdan, rəqəmsal portfolioların tətbiqi, vahid standartların hazırlanması və müəllimlərin ixtisasartırılması tövsiyə olunur.

Açar sözlər: portfolio, qiymətləndirmə, ibtidai təhsil, müəllim baxışları.

Teachers' Perspectives on Portfolio Assessment in Primary Education in Azerbaijan: A Comparative Approach between Public and Private Schools

Abstract

This study aims to explore teachers' professional perspectives and experiences regarding the assessment of student portfolios at the primary education level in Azerbaijan. The research was conducted within a qualitative approach using a phenomenological design. Data were collected through semi-structured interviews with 10 teachers (5 from public and 5 from private schools) selected via purposeful sampling. The findings indicate that approaches to portfolio use differ depending on the educational context. In public schools, portfolios are mainly used for monitoring student performance, documenting materials, and conducting formal assessment, reflecting a more control-oriented approach. In contrast, private schools adopt a more development-oriented perspective, where portfolios are used to track continuous student progress, support formative assessment, and facilitate communication with parents. The frequency of portfolio use varies among teachers, ranging from high to low levels. Assessment-oriented portfolios are the most common type, although showcase and integrative portfolios are also applied. However, the lack of standardized assessment criteria creates challenges in ensuring objectivity. The results also reveal that portfolio use positively influences students' motivation, self-assessment, and reflective skills. Despite these benefits, several challenges were identified, including time constraints, heavy workload, and limited parental support. Therefore, the study recommends the implementation of digital portfolios, the development of unified assessment standards, and professional development opportunities for teachers.

Keywords: *portfolio, assessment, primary education, teacher perspectives.*

1. Giriş

Təhsilin inkişafı zaman keçdikcə yeni yanaşmaların və islahatların tətbiqi ilə müşayiət olunur. Bu prosesdə qiymətləndirmə təhsilin ayrılmaz komponenti kimi xüsusi əhəmiyyət daşıyır və keyfiyyətin yüksəldilməsində əsas amillərdən biri kimi çıxış edir. Ənənəvi standartlaşdırılmış testlər əsasən şagirdlərin artıq formalaşmış bacarıqlarını ölçür və onların ümumi inkişafının yalnız müəyyən hissəsini əhatə edir.

Halbuki öyrənmə prosesində hələ inkişaf mərhələsində olan potensial çox vaxt bu qiymətləndirmə üsullarında nəzərə alınmır (Poehner & van Compernolle, 2011).
Şagird nailiyyətlərinin daha dolğun qiymətləndirilməsi məqsədilə müxtəlif metod və vasitələrdən istifadə olunur ki, bunlardan biri də portfolio yanaşmasıdır. Portfolio tədris prosesi ərzində şagirdin işlərini və əldə etdiyi nailiyyətləri sistemli və məqsədyönlü şəkildə bir araya gətirən qiymətləndirmə vasitəsidir. Bu üsulun tətbiqi müəllimlərə və şagirdlərə çatışmazlıqları erkən mərhələdə müəyyən etməyə, yaradıcı təfəkkürü inkişaf etdirməyə, nəticələri daha obyektiv dəyərləndirməyə və təlim prosesini davamlı izləməyə imkan yaradır.
Tədqiqatın əsas məqsədi Azərbaycanda ümumitəhsil pilləsinin ibtidai təhsil səviyyəsində şagird portfoliolarının qiymətləndirilməsi ilə bağlı müəllimlərin peşəkar baxışlarını, təcrübələrini və bu metoddan istifadə səviyyələrini sistemli şəkildə təhlil etmək, bu yanaşmalara təsir edən amilləri müəyyənləşdirmək və əldə olunan nəticələr əsasında qiymətləndirmə prosesinin təkmilləşdirilməsinə yönəlmiş elmi cəhətdən əsaslandırılmış təklif və tövsiyələr irəli sürməkdir.
Yalnız bir qiymətləndirmə tapşırığı və ya test nəticəsinə əsaslanaraq şagird, sinif və ya məktəb haqqında ümumi nəticələr çıxarmaq müəyyən məhdudiyyətlər yaradır. Buna görə də şagirdin bilik və bacarıqları barədə daha dolğun və etibarlı məlumat əldə etmək üçün müxtəlif qiymətləndirmə üsullarının və mərhələlərinin tətbiqi məqsədəuyğun hesab olunur. Uzunmüddətli qiymətləndirmə yanaşması ayrı-ayrı nəticələri daha geniş kontekstdə təhlil etməyə şərait yaradır, eyni göstəricini ölçən bir neçə vasitədən istifadə isə şagird nailiyyətlərinin daha əhatəli mənzərəsini formalaşdırır.
Bu kontekstdə bir çox müəllimlər sinifdə çoxşaxəli və dinamik qiymətləndirmə sistemi qurmaq məqsədilə portfolio əsaslı yanaşmaya üstünlük verirlər. Portfolionun əsas xüsusiyyəti şagirdin müxtəlif tapşırıqlar əsasında hazırladığı iş nümunələrini sistemli şəkildə toplamasıdır. Effektiv şəkildə təşkil olunmuş portfoliolar, adətən, tamamlanmamış, davam edən və yekunlaşdırılmış iş nümunələrini, şagirdin reflektiv düşüncələrini və özünüqiymətləndirməsini, eləcə də qiymətləndirmə üçün istifadə olunan aydın və əsaslandırılmış meyarları özündə birləşdirir. Bu cür yanaşma müəllimlərə şagirdlərin öyrənmə prosesini ardıcıl izləmək və qiymətləndirməni daha obyektiv aparmaq imkanı verir. Şagirdlərin refleksiyası və qiymətləndirmə meyarlarının portfoliaya daxil edilməsi isə onların inkişafını daha dolğun şəkildə əks etdirməyə şərait yaradır (Herman, Aschbacher & Winters, 1992).
Portfolio qiymətləndirmə təhsil prosesində alternativ və davamlı yanaşmalardan biri kimi çıxış edir. Bu metod şagirdin öyrənmə müddətində əldə etdiyi nailiyyətləri və gördüyü işləri sistemli şəkildə sənədləşdirməyə imkan verir. Portfolio yalnız öyrənilən məzmunu deyil, həm də şagirdin istifadə etdiyi strategiyaları, düşünmə tərzini, sualvermə və təhlil bacarıqlarını, informasiyanı təşkil etmə qabiliyyətini, sosial ünsiyyət bacarıqlarını və çətinliklərlə mübarizə yollarını əks etdirir (Korkmaz & Kaptan, 2002).
Bu yanaşma şagirdin nailiyyətlərini və inkişafını kompleks şəkildə qiymətləndirməyə xidmət edən məqsədyönlü sistemdir. Portfolio şagirdin bir və ya bir neçə sahədə əldə etdiyi bilik və bacarıqları, göstərdiyi səyləri və inkişaf dinamikasını əks etdirən işlər toplusudur. Buraya şagirdin məzmun seçimi, seçim meyarları, qiymətləndirmə kriteriyaları və öz işinə dair reflektiv qeydləri də daxil edilir. Beləliklə, portfolio həm öyrənilən bilikləri, həm də onların təhsil məqsədləri baxımından əhəmiyyətini nümayiş etdirir (Paulson, 1991).
Adətən portfolio şagirdin seçilmiş iş nümunələrindən ibarət olur və bu seçimlər reflektiv yazılarla əsaslandırılır. Bu prosesdə şagirdin öz işlərini təhlil etməsi və uyğun nümunələri seçməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir, çünki bu, özünüqiymətləndirmə və refleksiya vasitəsilə öyrənmənin dərinləşməsinə şərait yaradır (Black & William, 1998).
Tədqiqatlar göstərir ki, portfolio ilə şagird motivasiyası arasında güclü əlaqə mövcuddur (Pitri, 2021). Şagirdlərin təlim prosesində fəal iştirakını təmin etmək üçün sadəcə təşviqedici çağırışlar kifayət etmir; onların motivasiyasını artıran konkret və görünən mexanizmlər vacibdir. Şagirdlər öz işlərinin və nəticələrinin başqaları tərəfindən görüləcəyini və qiymətləndiriləcəyini dərk etdikdə, daha məsuliyyətli davranır və daha çox səy göstərirlər.
Nəticə etibarilə, portfolio şagirdin fəaliyyətini, inkişaf dinamikasını və nailiyyətlərini sistemli şəkildə əks etdirən effektiv qiymətləndirmə vasitəsidir. Bu yanaşma müəllimlərə daha obyektiv qiymətləndirmə aparmağa imkan verir, eyni zamanda şagirdlərin motivasiyasını artıraraq onların akademik uğurlarına müsbət təsir göstərir. Şagird öz inkişafını konkret nümunələr əsasında müşahidə etdikdə və təqdim etdikdə, öyrənməyə münasibəti də daha müsbət istiqamətdə formalaşır (Pitri, 2021).
Tədqiqat sualı. Dövlət və özəl təhsil müəssisələrində çalışan müəllimlərin şagird portfoliolarının qiymətləndirilməsi prosesinə dair peşəkar baxışlarında hansı fərqlər müşahidə olunur?

2. Metodologiya

Metod

Bu tədqiqatda keyfiyyət yanaşması çərçivəsində fenomenologiya dizaynına üstünlük verilmişdir. Fenomenologiya, iştirakçıların müəyyən bir fenomenlə bağlı yaşadıqları təcrübələrin mahiyyətini üzə çıxarmağa yönələn keyfiyyət tədqiqat strategiyasıdır. Bu yanaşmada əsas diqqət hadisələrin obyektiv təsvirindən çox, fərdlərin həmin hadisələri necə qavradıqları və onlara hansı mənanı yüklədikləri üzərində cəmlənir. Başqa sözlə, fenomenologiya iştirakçıların yaşantılarının dərin və sistemli təhlili vasitəsilə onların subyektiv baxışlarını ümumiləşdirməyə imkan verən metodoloji çərçivədir (Creswell, 2013).

Tədqiqatın əsas məqsədi şagird portfoliolarından istifadə ilə bağlı müəllimlərin fikir və təcrübələrini araşdırmaqdır. Keyfiyyət yanaşması məlumatların toplanmasında müsahibə, müşahidə və sənəd təhlili kimi müxtəlif üsulların tətbiqinə imkan yaradaraq tədqiqat probleminin daha dərindən və şərhedici şəkildə öyrənilməsini təmin edir (Creswell, 2014).

Bu araşdırmada müəllimlərin subyektiv baxışları, peşəkar təcrübələri, düşüncə prosesləri və qarşılaşdıqları çətinlikləri daha dolğun anlamaq məqsədilə məlumatlar əsasən müsahibələr vasitəsilə əldə edilmişdir. Müsahibə üsulu iştirakçıların baxışlarını, təcrübələrini, hisslərini və qavrayışlarını sistemli şəkildə üzə çıxarmağa imkan verən təsirli məlumat toplama vasitəsi hesab olunur (Kvale & Brinkmann, 2009).

İştirakçılar

Tədqiqatın nümunə kütləsini dövlət və özəl məktəblərdə çalışan ibtidai sinif müəllimləri təşkil etmişdir. İştirakçılar məqsədli seçmə üsulu ilə, portfoliodan aktiv istifadə edən müəllimlər arasından seçilmişdir. Ümumilikdə 10 müəllim (5 dövlət, 5 özəl) tədqiqata cəlb olunmuş, bu balanslı bölgü fərqli təhsil mühitlərini müqayisə etməyə imkan yaratmışdır.

Cədvəl 1. İştirakçılarla bağlı məlumatlar

İştirakçılar	Pedaqoji təcrübə	Portfoliodan istifadə təcrübəsi	Tədris Səviyyəsi	Tədris etdiyi sinif	Tədris etdiyi fənlər
D1	26	20	İbtidai	2	Bütün
D2	12 il 7 ay	9	İbtidai	2	Bütün
D3	5	5	İbtidai	3	Bütün
D4	31 il	20	İbtidai	4	Bütün
D5	6	6	İbtidai	1	Bütün
D6	8	5	İbtidai	3	Bütün
Ö1	4	2	İbtidai (IB)	2	İngilis dili, riyaziyyat, Uİ (tədqiqat)
Ö2	2	6 ay	İbtidai	1	İngilis dili, riyaziyyat, Uİ (tədqiqat)
Ö3	1	1	İbtidai	1	İngilis dili, riyaziyyat, Uİ (tədqiqat)
Ö4	3	2	İbtidai (IB)	1	İngilis dili, riyaziyyat, Uİ (tədqiqat)
Ö5	7	2	İbtidai (IB)	2	İngilis dili, riyaziyyat, Uİ (tədqiqat)
Ö6	12	7	İbtidai/ Ümumi orta	3/5/6	İngilis dili, riyaziyyat, Uİ (tədqiqat)

Müəllimlərin pedaqoji təcrübəsi fərqli olmuşdur: dövlət məktəblərində 5–31 il, özəl məktəblərdə isə 1–12 il aralığında dəyişmişdir. Portfoliodan istifadə müddəti də dövlət məktəblərində daha uzun (5–20 il), özəl məktəblərdə isə bəzi hallarda daha qısa (məsələn, 6 ay) olmuşdur. Bütün iştirakçılar ibtidai siniflərdə dərs demiş, əsasən 1–4-cü sinifləri əhatə etmişlər. Dövlət məktəblərində müəllimlər adətən bütün fənləri tədris etdiyi halda, özəl məktəblərdə daha ixtisaslaşmış yanaşma (ingilis dili, riyaziyyat və s.) müşahidə

olunmuşdur. Ümumilikdə, seçilmiş nümunə müxtəlif təcrübə və yanaşmaları əhatə edərək tədqiqat üçün balanslı və informativ baza yaratmışdır.

Məlumat toplama prosesi və tədqiqat aləti

Bu araşdırmada məlumatların əldə edilməsi üçün əsas alət kimi yarı strukturlaşdırılmış müsahibə forması tətbiq edilmişdir. Hazırlanmış müsahibə forması iki hissədən ibarət olmuşdur. Birinci hissə iştirakçıların peşəkar və demoqrafik xüsusiyyətlərini müəyyənləşdirməyə xidmət edən sualları (tədris səviyyəsi, iş təcrübəsi, tədris etdiyi fənlər və portfolio qiymətləndirməsi ilə bağlı təcrübə) əhatə etmişdir. İkinci hissədə isə tədqiqatın məqsədinə uyğun olaraq müəllimlərin portfoliodan istifadəyə dair baxışlarını və təcrübələrini öyrənməyə yönəlmiş əsas suallar yer almışdır.

Müsahibə prosesi çevik şəkildə təşkil olunmuş, əvvəlcədən hazırlanmış suallarla yanaşı iştirakçıların cavablarından irəli gələn əlavə suallar da verilmişdir. Bu yanaşma mövzunun daha dərindən araşdırılmasına və iştirakçıların fikirlərinin daha geniş şəkildə ifadə olunmasına imkan yaratmışdır. Müsahibə suallarının hazırlanması mərhələsində tədqiqatın elmi əsaslılığını təmin etmək məqsədilə mövzu ilə bağlı mövcud ədəbiyyat təhlil edilmiş və nəzəri çərçivə formalaşdırılmışdır. Daha sonra sualların məzmun baxımından uyğunluğu və aydınlığını qiymətləndirmək üçün sahə üzrə 4 mütəxəssisin rəyinə müraciət olunmuşdur. Ekspert rəyləri əsasında aparılan düzəlişlərdən sonra müsahibə forması yekunlaşdırılmışdır.

Müsahibələr əvvəlcədən planlaşdırılmış şəkildə təşkil edilmişdir. Dövlət məktəblərində çalışan müəllimlərlə görüşlər 02 dekabr 2025-ci il tarixində, özəl məktəblərdə çalışan müəllimlərlə isə 18 fevral 2026-cı il tarixində həyata keçirilmişdir. İştirakçılarla əvvəlcədən əlaqə saxlanılmış və onların iş qrafiklərinə uyğun vaxt seçilmişdir ki, bu da müsahibələrin daha səmərəli şəraitdə keçirilməsini təmin etmişdir.

Müsahibələr üzbəüz formatda aparılmış və hər biri təxminən 30 dəqiqə davam etmişdir. Məlumatların dəqiqliyini təmin etmək məqsədilə müsahibələrin səsyazması nəzərdə tutulmuş və iştirakçıların razılığı alınmışdır. Bununla belə, dövlət məktəblərində çalışan müəllimlər səsyazmaya razılıq verməmələri üçün həmin hallarda məlumatlar yazılı qeydlər vasitəsilə toplanmışdır. Bu üsul bütün iştirakçılardan etibarlı məlumat əldə edilməsinə imkan vermişdir.

Mövzu ilə əlaqəli müəllimlərə ünvanlanan suallar:

1. Hal-hazırda hansı tədris səviyyəsində (ibtidai, ümumi orta, tam orta) və neçənci siniflərə dərs keçirsiz? Hansı fənni (fənləri) tədris edirsiniz?
2. Ümumi pedaqoji təcrübəniz neçə ildir? Portfoliodan istifadə təcrübəniz nə qədərdir?
3. Sizcə, şagird portfolioları nə məqsədlə istifadə olunur?
4. Portfoliodan tədris prosesində hansı tezlikdə istifadə edirsiniz? (ildə bir dəfə, ayda bir dəfə və s.)
5. Portfolionun hansı növlərini tətbiq edirsiniz? (Məsələn: iş portfoliosu, qiymətləndirmə portfoliosu, nümayiş portfoliosu və s.)
6. Hal-hazırda dərslərinizdə və qiymətləndirmə prosesində şagird portfoliolarından necə istifadə edirsiniz? Hansı materialları toplayırsınız?
7. Portfolioların şagird nailiyyətlərini qiymətləndirməkdə effektivliyini necə dəyərləndirirsiniz?
8. Portfoliodan istifadə ənənəvi qiymətləndirməyə nisbətən hansı üstünlükləri yaradır?
9. Portfolioda hansı meyarlarla qiymətləndirmə aparırsınız?
10. Portfoliolardan istifadənin şagirdlərin öyrənmə motivasiyasına necə təsir etdiyini təsvir edin?
11. Portfoliodan istifadə prosesində hansı üstünlükləri müşahidə edirsiniz? Hər hansı konkret uğurlu nəticəniz varmı? (Məsələn, şagirdin portfolio qiymətləndirmədən istifadə edərək inkiaf etdiyi hal)
12. Hansı çətinlik və ya maneələrlə qarşılaşırsınız? Konkret nümunələr verə bilərsiz? məsələn: vaxt məhdudiyyəti, texniki imkanlar, valideyn dəstəyi və s.)
13. Gələcəkdə portfolioların təhsil sistemində daha geniş istifadə olunmasını istərdinizmi? Niyə?
14. Portfolionun qiymətləndirməyə inteqrasiyasını təkmilləşdirmək üçün hansı təkliflərniz var?

Tapıntılar və Məlumatların təhlili

Tədqiqat çərçivəsində məlumatların təhlili bir neçə mərhələdə həyata keçirilmişdir. İlk mərhələdə dövlət və özəl məktəblərdən olmaqla ümumilikdə 12 müəllimlə müsahibələr aparılmış və iştirakçılar məxfiliyin qorunması məqsədilə kodlaşdırılmışdır (D1–D6; Ö1–Ö6). Müsahibələrin səsyazıları dinlənilmiş, deşifr edilərək mətn formasına salınmış və əldə olunan məlumatlar məzmun oxşarlığına əsasən kateqoriyalara ayrılmışdır. Bu proses nəticəsində mövzular müəyyənləşdirilmiş və kod kitabçası hazırlanmışdır. Kodlamanın etibarlılığını təmin etmək üçün məlumatlar təkrarən kodlaşdırılmış, nəticələr elmi rəhbər tərəfindən yoxlanılmışdır. Aparılan təhlil nəticəsində müəllimlərin portfolio qiymətləndirməsinə dair fikirləri 12 tema, 41 kateqoriya və 98 kod üzrə sistemləşdirilmişdir.

Portfolionun məqsədi ilə bağlı nəticələr göstərir ki, müəllimlər bu aləti əsasən şagirdlərin inkişafını və təlim dinamikasını izləmək üçün istifadə edirlər. Eyni zamanda, portfolionun şagird işlərinin sistemli şəkildə toplanması və saxlanması, həmçinin valideynlərin məlumatlandırılması funksiyaları da ön plana çıxır. Daha az hallarda isə qiymətləndirmə və şagirdlərdə özünənəzarət bacarıqlarının inkişafı məqsədi ilə istifadə edildiyi qeyd olunmuşdur.

Təhlil nəticələri göstərir ki, dövlət və özəl məktəblərdə portfolionun istifadəsinə yanaşmalar fərqlidir. Dövlət məktəblərində portfolio əsasən şagird fəaliyyətinin izlənməsi, materialların toplanması və formal qiymətləndirmə üçün istifadə olunur və daha çox nəzarətyönümlü xarakter daşıyır. Özəl məktəblərdə isə portfolio şagirdin inkişafının davamlı izlənməsi, valideynlərlə kommunikasiya və formativ qiymətləndirmə məqsədilə istifadə edilərək daha inkişafyönümlü pedaqoji vasitə kimi çıxış edir.

Portfoliodan istifadə tezliyi və növləri

Tədqiqat göstərir ki, portfoliodan istifadə tezliyi üç səviyyədədir: yüksək (gündəlik/həftəlik), orta (aylıq) və aşağı (semestrlik). Yüksək tezlik davamlı qiymətləndirmə və operativ geribildirimlə bağlıdır: "demək olar ki, hər gün istifadə edirəm" (Ö11), "hər həftə istifadə edirik" (D1). Orta tezlik (aylıq) geniş yayılıb: "ayda bir dəfə baxırıq və qiymətləndiririk" (D3). Aşağı tezlik isə əsasən semestr sonuna aiddir: "ildə iki dəfə istifadə edirik" (Ö9), bu da portfolionun daha çox yekun qiymətləndirmə aləti kimi istifadə olunduğunu göstərir. Portfolionun növlərində qiymətləndirmə yönümlü yanaşma üstünlük təşkil edir: "summativ nəticələri və işləri saxlamaq üçün istifadə edirik" (D1). Özəl məktəblərdə isə nümayiş portfolioları da yayılmışdır: "ən yaxşı işləri seçib valideynlərə göstəririk" (Ö8). Bəzi hallarda inteqrativ yanaşma mövcuddur: "il ərzində yığırıq, sonda isə təqdim edirik" (Ö10).

Portfolionun qiymətləndirmə meyarları

Təhlil göstərir ki, portfolionun qiymətləndirilməsi müxtəlif meyarlara əsaslanır. Akademik göstəricilər ön planda olsa da, digər komponentlər də nəzərə alınır. Məsələn, "sözlərin düzgün yazılışı və fikrin ifadəsi əsasdır" (Ö9) kimi yanaşmalar müşahidə olunur. Bəzi müəllimlər daha sadə qiymətləndirmə üsullarından istifadə edir: "tapşırığı edibsə, tam bal veririk" (Ö8). Digərləri isə daha kompleks yanaşmanı üstün tutur: "inkişaf dinamikasına baxırıq" (D6). Bununla yanaşı, davranış və sosial meyarlar da müəyyən hallarda qiymətləndirməyə daxil edilir. Məsələn, "davranışına görə də bal veririk" (Ö7) kimi fikirlər bu istiqaməti göstərir. Lakin ümumilikdə vahid qiymətləndirmə sisteminin olmaması diqqət çəkir.

Portfolionun effektivliyi və üstünlükləri

Müəllimlərin fikirlərinə əsasən, portfoliolar ənənəvi qiymətləndirmə ilə müqayisədə daha obyektiv və əhatəli nəticələr təqdim edir. Belə ki, "şagirdin bütün işlərini görə bilirik, bu daha ədalətlidir" (Ö8) fikri tez-tez vurğulanır. Eyni zamanda, portfoliolar şagirdlərin özünüqiymətləndirmə bacarıqlarını inkişaf etdirir. Bir müəllim bunu belə ifadə edir: "şagird öz nəticələrinə baxıb inkişaf etdiyini görür" (D5).

Portfolionun digər üstünlükləri arasında fərdi yanaşma və diaqnostik imkanlar da qeyd olunur: "zəif tərəflərini daha aydın görürük" (D2). Bundan əlavə, "yalnız testlə yox, layihə və digər işlərlə də qiymətləndiririk" (Ö12) fikri portfolionun çoxşaxəli qiymətləndirmə imkanı yaratdığını göstərir.

Portfolionun motivasiyaya təsiri

Nəticələr göstərir ki, portfoliolar şagird motivasiyasına əsasən müsbət təsir edir. Dövlət məktəblərində bu təsir daha çox daxili motivasiya ilə bağlıdır: "şagird öz inkişafını gördükcə daha çox çalışır" (D5).

Özəl məktəblərdə isə motivasiya daha çox xarici stimullarla əlaqələndirilir. Məsələn, "çox xal toplamaq üçün daha çox çalışırlar" (Ö11) və "ən yaxşılar sertifikat alır" (Ö10) kimi fikirlər bunu göstərir. Bununla yanaşı, sosial motivasiya da mühüm rol oynayır: "uşaqlar bir-biri ilə rəqabət aparır" (Ö7). Lakin bəzi hallarda motivasiyanın "qiymət almaq üçün oxuyurlar" (D2) kimi daha çox xarici amillərlə bağlı olduğu da qeyd olunur.

Qarşılaşılan çətinliklər və təkliflər

Müəllimlər portfolionun tətbiqi zamanı əsas çətinlik kimi vaxt məhdudiyyətini vurğulayırlar: "portfolionu toplamaq çox vaxt aparır" (D3). Xüsusilə "şagird sayı çox olanda bu daha çətin olur" (Ö10).

Valideyn amili də mühüm rol oynayır. Bəzi müəllimlər "valideynlər kifayət qədər maraq göstərmir" (D6), digərləri isə "bəzən tapşırıqları valideynlər edir" (Ö11) kimi problemləri qeyd edirlər. Təkliflər arasında ən çox vurğulanan istiqamət rəqəmsallaşmadır: "onlayn sistem olsa, daha rahat olar" (D5). Eyni zamanda, portfolionun qiymətləndirməyə daha çox təsir etməsi də təklif olunur: "yekun qiymətə təsiri olmalıdır" (Ö8). Ümumilikdə, nəticələr göstərir ki, portfolionun tətbiqi dövlət məktəblərində daha strukturlaşdırılmış, özəl məktəblərdə isə daha çevik və çoxşaxəli xarakter daşıyır. Bu fərqlər portfolionun tətbiq səviyyəsinin və pedaqoji yanaşmaların təhsil mühitindən asılı olaraq dəyişdiyini göstərir.

Nəticə

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, müəllimlər portfolioları əsasən şagird inkişafının izlənməsi, materialların sistemli toplanması və valideynlərlə kommunikasiya vasitəsi kimi qiymətləndirirlər. Bu yanaşma portfolionun daha çox sənədləşdirici və diaqnostik rolunu önə çıxarır, reflektiv və formativ qiymətləndirmə potensialının isə tam reallaşmadığını göstərir.

Portfoliodan istifadə tezliyi müəllimlər arasında fərqlidir və yüksək, orta, aşağı səviyyələrdə müşahidə olunur. Yüksək tezlikli istifadə davamlı qiymətləndirməni dəstəklədiyi halda, aşağı tezlikli istifadə portfolionun əsasən yekun qiymətləndirmə vasitəsinə çevrildiyini göstərir. Ümumilikdə, praktikada portfoliolar daha çox izləmə və sənədləşdirmə məqsədilə istifadə olunur.

Ən geniş yayılmış portfolio növü qiymətləndirmə yönümlü portfoliolardır, nümayiş portfolioları isə şagird nailiyyətlərinin təqdimatı və valideynlərlə əlaqə üçün tətbiq olunur. Müəllimlər çox vaxt kombinə olunmuş modellərdən istifadə etsələr də, proses portfoliolarının sistemli tətbiqi zəifdir və nəticəyönümlü yanaşma üstünlük təşkil edir.

Qiymətləndirmə meyarları çoxşaxəli olsa da, vahid standartların olmaması və fərqli bal sistemlərinin tətbiqi obyektivlik baxımından problemlər yaradır. Bununla yanaşı, portfoliolar şagirdlərin daxili və xarici motivasiyasını, reflektiv və metakognitiv bacarıqlarını inkişaf etdirir. Əsas çətinliklər vaxt və iş yükü, böyük siniflər, eləcə də valideyn dəstəyinin məhdudluğu ilə bağlıdır. Rəqəmsal portfolioların tətbiqi bu problemlərin qismən aradan qaldırılmasına kömək edə bilər.

Nəticələr digər tədqiqatlarla uyğunluq təşkil edir. Belə ki, müəllimlərin böyük əksəriyyətinin portfoliodan istifadə etdiyi, lakin tətbiqin sistemli olmadığı qeyd olunur (Walumoli, Mwoma & Waithaka, 2025). Eyni zamanda, portfolionun daha çox sənədləşdirmə məqsədilə istifadə edildiyi və tədris aləti kimi məhdud tətbiq olunduğu digər kontekstlərdə də təsdiqlənmişdir (Chere-Masopha & Mothetsi-Mothiba, 2020). Vaxt və iş yükü ilə bağlı çətinliklər, xüsusilə böyük siniflərdə, digər tədqiqatlarda da vurğulanır (Adediwura, Ogunsakin & Shogbesan, 2021).

Ümumilikdə, portfolio qiymətləndirməsi böyük potensiala malik olsa da, onun effektivliyi müəllim hazırlığı, resurs təminatı, sinif ölçüsü və valideyn dəstəyi ilə sıx bağlıdır. Bu baxımdan, vahid standartların hazırlanması, müəllimlərin ixtisasartırılması, rəqəmsallaşdırma və valideynlərin prosesə cəlb olunması əsas inkişaf istiqamətləri kimi çıxış edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Adediwura, A. A., Ogunsakin, F. C., & Shogbesan, Y. O. (2021). Challenges of portfolio assessment implementation in large classrooms. *African Educational Research Journal, 9*(2), 300–308.
2. Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice, 5*(1), 7–74.
3. Chere-Masopha, J., & Mothetsi-Mothiba, K. (2020). Teachers' perceptions of portfolio assessment in classroom practice. *South African Journal of Education, 40*(1), 1–9.
4. Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (3rd ed.). SAGE Publications.
5. Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
6. Herman, J. L., Aschbacher, P. R., & Winters, L. (1992). *A practical guide to alternative assessment*. Association for Supervision and Curriculum Development.
7. Korkmaz, H., & Kaptan, F. (2002). The effects of project-based learning on elementary school students' academic achievement, academic self-concepts and study time in science education. *Hacettepe University Journal of Education, 22*, 91–97.
8. Kvale, S., & Brinkmann, S. (2009). *InterViews: Learning the craft of qualitative research interviewing* (2nd ed.). SAGE Publications.
9. Paulson, F. L., Paulson, P. R., & Meyer, C. A. (1991). What makes a portfolio a portfolio? *Educational Leadership, 48*(5), 60–63.
10. Pitri, E. (2021). The impact of portfolio assessment on student motivation. *International Journal of Educational Research Review, 6*(2), 150–160.
11. Poehner, M. E., & van Compernolle, R. A. (2011). L2 development as a dynamic, socially mediated process. *Language Teaching, 44*(4), 465–483.
12. Walumoli, J. W., Mwoma, T., & Waithaka, E. (2025). Teachers' use of portfolio assessment in primary education: Practices and challenges. *Journal of Education and Practice, 16*(3), 45–58.

PORTRET: ONUN BƏDİİ ƏSƏRDƏ MAHİYYƏTİ VƏ ROLU

NİGAR FƏRZƏLİYEVA
Bakı Dövlət Universiteti Qazax filialı
Filologiya/Azərbaycan
nigar.ferzeliyeva@inbox.ru
QAZAX, AZƏRBAYCAN

XÜLASƏ

Bədii əsərlərdə portret obrazın yalnız zahiri cizgilərini deyil, onun daxili dünyasını anlamağa imkan yaradan əsas təsvir vasitələrindən biridir. Müəllif qəhrəmanın sifətini, baxışlarını, geyimini və davranış detallarını təqdim etməklə oxucuya onun xarakteri, psixoloji vəziyyəti və ictimai mövqeyi haqqında ipucları verir. Portret çox vaxt sadə təsvir kimi qalmır, hadisələrin gedişində dəyişərək obrazın inkişafını əks etdirir. Bəzi hallarda isə portret simvolik məna qazanaraq daha dərin ideyaların ifadəsinə çevrilir. Bu baxımdan portret həm estetik təsir yaradır, həm də mətnin ideya-məzmun qatını zənginləşdirir. Nəticədə oxucu obrazı daha dolğun və inandırıcı şəkildə qavrayır.

***AÇAR SÖZLƏR*: PORTRET, BƏDII MƏTN, XARAKTER, BƏDII ÜSUL**

PORTRAIT: ITS ESSENCE AND ROLE IN LITERARY WORKS

NİGAR FARZALİYEVA
Baku State University, Gazakh Branch
Philology / Azerbaijani Studies
nigar.ferzeliyeva@inbox.ru
Gazakh, Azerbaijan

SUMMARY

In literary works, the portrait is not only a depiction of a character's external features but also one of the main expressive tools that helps reveal their inner world. By describing the character's face, gaze, clothing, and behavioral details, the author provides the reader with clues about their personality, psychological state, and social position. A portrait often goes beyond a simple description; it may change throughout the course of events, reflecting the character's development. In some cases, it acquires symbolic meaning and becomes a means of expressing deeper ideas. From this perspective, the portrait creates both an aesthetic impact and enriches the conceptual and thematic layers of the text. As a result, the reader perceives the character in a more complete and convincing way.

KEYWORDS: PORTRAIT, ARTISTIC TEXT, CHARACTER, ARTISTIC STYLE

GIRIŞ

Bədii mətnin əsəs ifadə məramı, şübhəsiz, əsərin əsas strukturunu təşkil edən portret, peyzaj, kompozisiya, süjet və digər elementlərdir. Özlüyündə bunların hər biri oxucunu əsərə bağlayan və ya ideyanı çatdıran müəyyən meyarları özündə birləşdirir. Bəzən yazıçı öz qəhrəmanının surətini daha dolğun açıqlamaq məqsədilə başqa personajın xarici görünüşünü təsvirinə də əl atır.

İnsan taleyini qələmə alıb, onun keçdiyi yolları, üzərinə düşən həm sevincli, həm acılı günləri canlandıran yazıçılar çox zaman portret vasitəsilə qəhrəmanlarının daxili vəziyyətini, sarsıntılarını oxucuya çatdırmağa nail olur. A.S. Puşkinin " Stansiya nəzarətçisi" povestində əsərin qəhrəmanı stansiya nəzarətçisi Samsonun iki müxtəlif zamana təsadüf edən portretini verir. Birincidə Samson "əlli yaşında gümrah və sağlam", səliqəli geyinmiş bir adam kimi təsvir olunub. O zaman o özünü xoşbəxt hiss edirdi, çünki dünyalar qədər sevdiyi, uşaqlıqdan tək başına böyütdüyü, mələkə kimi gözəl qızı yanında idi və qızıyla qürurlanırdı. Ancaq həyat Samsona ağır bir zərbə vurur: sevimli qızı varlı bir zabitə qoşularaq qaçır və ərinin tələbi ilə atası ilə əlaqəni tamam kəsir. Qızının belə nankorluğu ata qəlbini sarsıdaraq ona böyük əzab verir. Dərd onu əzir və o zahirən tamam dəyişir. Puşkinin yaratdığı ikinci portret də onu belə təsvir edir: "Bu, həmin Samson Vırin idi, lakin nə qədər qocalmışdır!...Mən onun çallanmış başına, çoxdan bəri qırxılmamış üzündəki qırışlara, bükülmüş belinə baxdım, sağlam bir kişinin üç-dörd ildə bu qədər qocalıb üzüldüyü məni heyrətə saldı" (Pushkin, 2015).

Bəzən bədii portret əsərin lap başlanğıcında verilir və oxucunu hekayənin əhval-ruhiyəsinə köklənməyə hazırlaşdırır. Məsələn, M.Şoloxov "İnsanın taleyi" hekayəsində kədərli bir hisslə qəhrəmanının portretini yaradır : Mən yandan ona baxdım, ürəyimdə dərin bir sızıltı duydum....Siz heç ömrünüzdə sanki kül

tökülmüş, ağır kədər çökmüş gözlər görmüsünüzmü?? Elə gözlər ki, adam onlara baxa bilmir....Təsadüfən rast gəldiyim bu adamın gözləri belə idi". (Sholokhov, 2012).

Və ancaq bundan sonra müharibənin odlu-alovlu yollarını keçmiş, bütövlüklə ailəsi həlak olmuş, bu dünyada tək-tənha qalmış və meylini oğulluğa götürmüş balaca uşağa salan sürücü Andrey Sokolovun həyat tarixini oxuculara nəql ediir.

Portret bədii əsərlərdə olur və onun əsasını təşkil edir. Buna görə də portreti iki yerə bölə bilərik:

1. Dəyişilməz portret
2. Dəyişilən portret

Dəyişilməz portret dedikdə biz əsər boyu o portretin nə geyiminin, nə simasının, nə də nitqinin dəyişildiyini görürük. Ona görə də yazıçı bu təsviri əsərin bir yerində verir və bir daha həmin təsvirə rast gəlmirik. Beləliklə, stabil portret çəkilir. Bu cür portretlər nağıllarda və dastanlarda daha çox müşahidə olunur. Fikrimizi, Lermantovun "Əsrimizin qəhrəmanı" əsərindən gətirdiyimiz bir nümunə ilə şərh edək: "O gəzəndə onun əlləri hərəkətsiz qalır, bu onun xasiyyətindən xəbər verir... bığı, saqqalı müxtəlif rəngdədir. Saçı qızılı rəngdir, saqqalı qara rəngdədir. Bu da onun xasiyyətinin ziddiyyətli olmasından xəbər verir." (Lermantov, 2014) .

Dəyişilən və ya dinamik portret - əsər boyu dəyişilən portretdir. Burada bilməlik ki, yuxarıda bəhs etdiyimiz stabil portreti bir neçə böldükçə qəhrəmanın təsviri bizə açılır. Buna deyirik parçalanmış və mətn içərisində gizlənmiş portret. Bu dinamik porterin ancaq birinci növüdür. Onun ikinci növü qəhrəmanlar tərəfindən təsvir olunan portretdir. Bədii əsərdə yazıçı qəhrəmanın xarici görünüşünü təsvir edib, açıqlamır, müxtəlif qəhrəmanlarla əlaqəyə girdikdə bu portret üzə çıxır. İ.Turgenyevin "Atalar və oğullar" romanın bu cür təsvirlə oxucuda təsəvvür yaradır.

Bədii portret əsasən epik əsərlərdə geniş yer tutur, ancaq lirik əsərlərdə də, maraqlı portret nümunələrinə rast gəlmək olar., Burada şifahi xalq ədəbiyyatında geniş yayılmış sabit portret cizgilərini də xatırlamaq yerinə düşər. Nağıllarda, xalq mahnılarında tərənnüm edilən gözəlləri əsasən belə görürük : "qara qözlü", "sərv qamətli ", "inci dişli", "incə belli", "oxa bənzər kiprikli", "qələm qaşlı" və s. Qadın gözəlliyinin vurğunu olan böyük şairimiz Molla Pənah Vaqif oxucunun gözü qarşısında qadın portretini məharətlə canlandırırdı

Ənliyi, kirşanı neylər camalın,
Sən elə gözəlsən binadan, Pəri. –
" Üzün ağ, dəyirmi, gözün məstana,
Baxışın bağrımı döndərdi qana.
Ağzın sədəf, dişlərindir dürdana
Əcayib cəvahir ləli sevmişəm.
Halqalanır zülfün buxaq yanında,
Yay qaşların ucu qulaq dalında,
Zənəxdan içində yanaq yanında
Qara telli bir xətalı sevmişəm. (Vaqif, 2013).

Dram əsərində portret çox zaman remarkalar və ya qəhrəmanların nitqi vasitəsilə verilir. Məsələn, İ.Əfəndiyevin "Atayevlər ailəsində" pyesində Sadıqovun portreti remarkada belə təsvir edilir: "Sadıqov əlli beş yaşında gödək, yoğun, sifəti qırmızı bir kişidir. Gözlərində hiyləgər bir ifadə hiss olunur. Təzə kostyum geyib, şlyapa qoymuşdur.Lakin şlyapa onun tüksüz və ətli başında çox yöndəmsiz görünür". Cahangir isə "... iyirmi dörd yaşında yaraşıqlı bir oğlandır. Üzündə bir az sərt görünən açıq və ağıllı ifadə vardır.Hərəkətləri qəti və sərbəstdir." (Əfəndiyev, 2016).

Bu iki təsvir həm personajların xüsusiyyətlərini, həm də müəllifin onlara münasibətini təyin edir.Onu da deyək ki, dram əsərlərində verilən portretlər rejissor və aktyorlara böyük yardım edir.

NƏTICƏ

Aparılan tədqiqat nəticəsində əldə edilmiş nəticələr müzakirə edilir, işin üstünlükləri və səmərəliliyi qeyd edilir. Bədii əsərlərdə portret obrazın təqdimində mühüm struktur və semantik funksiyaya malik olan bədii təsvir vasitəsi kimi çıxış edir. O, qəhrəmanın yalnız zahiri xüsusiyyətlərini deyil, həm də onun daxili dünyasını, psixoloji durumunu və sosial-mədəni mövqeyini açmağa xidmət edir. Portret təsvirləri vasitəsilə müəllif oxucuda obraz haqqında ilkin təsəvvür yaradır və bu təsəvvür mətnin inkişafı prosesində dərinləşərək daha kompleks xarakter alır. Xüsusilə dinamik portretlər obrazın transformasiyasını və inkişaf trayektoriyasını izləməyə imkan verir. Eyni zamanda portretin simvolik yük daşıması əsərin ideya-bədii məzmununu zənginləşdirir. Beləliklə, portret bədii mətnin estetik təsir gücünü artıran və onun semantik qatlarını genişləndirən əsas komponentlərdən biri kimi qiymətləndirilir.

ƏDƏBIYYAT SIYAHISI

1. Alexander Pushkin, A. S. (2015). Seçilmiş əsərləri. Bakı: Qanun nəşriyyatı.
2. Əliyev, R. (2019). Obraz sistemi və xarakter problemi. Bakı: Müəllim nəşriyyatı.
3. İlyas Əfəndiyev, İ. (2016). Seçilmiş əsərləri. Bakı: Təhsil nəşriyyatı.
4. Vəliyev, K. (2018). Bədii mətnin poetikası və struktur xüsusiyyətləri. Bakı: Elm və təhsil nəşriyyatı.
5. Qasımov, F. (2020). Müasir ədəbiyyatşünaslıqda bədii təsvir vasitələri. Bakı: Elm nəşriyyatı.
6. Hüseynli, S. (2017). Ədəbiyyat nəzəriyyəsi: müasir yanaşmalar. Bakı: Bakı Universiteti nəşriyyatı.
7. Məmmədov, A. (2012). Bədii təsvir vasitələri və onların funksiyası. Bakı: Universitet nəşriyyatı.
8. Mikhail Lermontov, M. Y. (2014). Zəmanəmizin qəhrəmanı. Bakı: Qanun nəşriyyatı.
9. Molla Pənah Vaqif, M. P. (2013). Seçilmiş əsərləri. Bakı: Lider nəşriyyatı.
10. Mikhail Sholokhov, M. A. (2012). Sakit Don. Bakı: Şərq-Qərb nəşriyyatı.

METAVERSE TEXNOLOGİYALARININ TƏHSİLDƏ TƏTBİQİ: İMMERSİV ÖYRƏNMƏ MÜHİTLƏRİNİN PERSPEKTİVLƏRİ

Elanə Soltanova Süleyman qızı
Sumqayıt Dövlət Universiteti, Təbiət elmləri fakültəsi, Fizika kafedrası
Sumqayıt, Azərbaycan
elane.soltanova@sdu.edu.az

Xülasə : Müasir dövrdə rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı təhsil sistemində yeni yanaşmaların formalaşmasına səbəb olmuşdur. Xüsusilə metaverse və immersiv texnologiyalar (Virtual Reallıq – VR, Artırılmış Reallıq – AR, Qarışıq Reallıq – MR) təlim mühitlərinin daha interaktiv, vizual və təcrübə əsaslı qurulmasına imkan yaradır. Bu məqalədə metaverse anlayışı, onun təhsildə tətbiq imkanları, immersiv öyrənmə mühitlərinin xüsusiyyətləri, üstünlükləri və mövcud problemlər geniş şəkildə təhlil olunur. Eyni zamanda, bu texnologiyaların Azərbaycan təhsil sistemində tətbiq perspektivləri də araşdırılır.

Açar sözlər: *metaverse, immersiv təhsil, virtual reallıq, artırılmış reallıq, rəqəmsal təhsil, innovativ təlim*

Giriş

XXI əsr informasiyanın sürətlə yayıldığı və texnologiyanın həyatın bütün sahələrinə dərindən nüfuz etdiyi bir dövr kimi xarakterizə olunur. Bu dövrdə biliklərin əldə olunması və ötürülməsi əvvəlki dövrlərlə müqayisədə daha sürətli və əlçatan olmuşdur. Lakin bu dəyişikliklər təhsil sisteminin qarşısında yeni tələblər də qoymuşdur. Artıq təhsilin əsas məqsədi yalnız şagirdlərə hazır məlumatları ötürmək deyil, onları müstəqil düşünə bilən analiz aparan problemlərə yaradıcı yanaşan və dəyişən dünyaya uyğunlaşa bilən fərdlər kimi yetişdirməkdir [7].

Ənənəvi tədris metodları əsasən müəllim mərkəzli olduğu və şagirdləri passiv dinləyici rolunda saxladığı üçün bu yeni tələbləri tam şəkildə qarşılaya bilmir. Şagirdlər çox vaxt öyrəndikləri məlumatları real həyatla əlaqələndirməkdə çətinlik çəkir və bu da onların dərsə marağının azalmasına səbəb olur. Bu baxımdan təhsil prosesinin daha interaktiv, daha vizual və şagirdyönümlü şəkildə qurulmasına ehtiyac yaranır.

Məhz bu səbəbdən rəqəmsal texnologiyaların təhsildə tətbiqi zərurətə çevrilmişdi. Xüsusilə immersiv texnologiyalar yəni, virtual reallıq, artırılmış reallıq və qarışıq reallıq kimi alətlər öyrənmə mühitini tamamilə dəyişərək, onu daha cəlbedici və effektiv edir [6]. Bu texnologiyalar vasitəsilə şagirdlər yalnız məlumatı dinləmir, eyni zamanda onu görür hiss edir və təcrübə edir. Bu isə öyrənmənin keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Bu kontekstdə metaverse anlayışı xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Metaverse sadəcə virtual mühit deyil, eyni zamanda insanların qarşılıqlı əlaqə qurduğu, öyrəndiyi və müxtəlif fəaliyyətlər həyata keçirdiyi geniş rəqəmsal ekosistemdir. Bu mühitdə istifadəçilər avatarlar vasitəsilə iştirak edir və real həyata bənzər

təcrübələr yaşayır. Təhsil baxımından bu yanaşma dərs prosesini daha canlı, daha interaktiv və praktik edir. Şagirdlər artıq yalnız nəzəri biliklə kifayətlənmir, eyni zamanda həmin bilikləri tətbiq etmək imkanı əldə edir.

Beləliklə metaverse və immersiv texnologiyalar müasir təhsil sisteminin qarşısında duran problemlərin həlli üçün innovativ vasitə kimi çıxış edir və onların düzgün tətbiqi təhsilin keyfiyyətinin yüksəldilməsində mühüm rol oynaya bilər [5].

Metaverse anlayışı və əsas xüsusiyyətləri

Metaverse anlayışı ilk dəfə Snow Crash əsərində istifadə edilmişdir. Müasir dövrdə isə bu anlayış texnologiyanın inkişafı ilə reallığa daha da yaxınlaşmışdır.

Metaverse – insanların virtual mühitdə avatarlar vasitəsilə iştirak etdiyi, real həyatın bir çox elementlərini özündə əks etdirən geniş rəqəmsal ekosistemdir. Bu mühitin əsas xüsusiyyətlərini daha ətraflı izah edək:

- **Davamlılıq:** Metaverse mühiti fasiləsiz fəaliyyət göstərir. Yəni istifadəçi sistemdən çıxsa belə, mühit işləməyə davam edir. Bu, real həyatdakı davamlılığı xatırladır.
- **Real zamanlı interaksiya:** İstifadəçilər eyni anda bu mühitdə olur və bir-biri ilə ünsiyyət qurur. Bu, canlı dərs mühitinə çox bənzəyir.
- **Avatar əsaslı iştirak:** Hər bir istifadəçi özünü virtual obraz (avatar) vasitəsilə təmsil edir. Bu, istifadəçiyə mühitdə "mövcud olma" hissi verir.
- **İqtisadi və sosial sistem:** Metaverse daxilində alış-veriş etmək, xidmətlərdən istifadə etmək və sosial əlaqələr qurmaq mümkündür [2].

Təhsil baxımından metaverse ənənəvi sinif anlayışını dəyişdirir və onu daha geniş, sərhədsiz və əlçatan edir.

İmmersiv öyrənmə mühitləri və onların xüsusiyyətləri

İmmersiv təhsil mühiti – öyrənənin dərs prosesinə tam daxil olduğu, özünü həmin mühitin içində hiss etdiyi bir öyrənmə modelidir. Bu mühitlərdə şagird sadəcə məlumatı dinləmir, onu yaşayır və təcrübə edir. Bu mühitlərin əsas texnologiyalarını daha sadə izah edək:

- **Virtual Reallıq (VR) :** İstifadəçi tamamilə süni bir mühitə daxil olur. Məsələn, VR eynəyi taxaraq kosmosa "səyahət" etmək mümkündür.
- **Artırılmış Reallıq (AR)**: Real mühit dəyişmir, sadəcə üzərinə əlavə məlumatlar gəlir. Məsələn, telefon vasitəsilə kitabdakı şəkillərin 3D modelə çevrilməsi.
- **Qarışıq Reallıq (MR)**: Real və virtual obyektlər bir mühitdə qarşılıqlı təsir göstərir.

Bu texnologiyalar sayəsində şagirdlər:

- daha yaxşı anlayır,
- daha uzun müddət yadda saxlayır,
- dərsdə daha aktiv olur.

Bu yanaşma konstruktivist təlim nəzəriyyəsinə əsaslanır, yəni şagird bilikləri özü qurur və mənimsəyir.

Metaverse texnologiyalarının təhsildə tətbiqi

Metaverse təhsil sahəsində çox geniş imkanlar yaradır və müxtəlif formalarda tətbiq oluna bilər.

1. Virtual sinif otaqları: Şagirdlər və müəllimlər fiziki olaraq bir yerdə olmasa belə, virtual mühitdə bir araya gələ bilirlər. Bu mühit real sinif otağına bənzəyir, lakin daha interaktivdir. Müəllim 3D modellərdən istifadə edərək mövzunu izah edə bilər.

2. Virtual laboratoriyalar: Bəzi eksperimentlər ya təhlükəli, ya da bahalı olduğu üçün məktəblərdə həyata keçirilmir. Metaverse mühitində isə bu problemlər aradan qalxır. Şagirdlər istənilən eksperimentləri təhlükəsiz şəkildə sınaqdan keçirə bilirlər.

3. Simulyasiya əsaslı öyrənmə: Şagirdlər real həyatda görməsi çətin olan prosesləri (məsələn, atom quruluşu və ya planetlərin hərəkəti) daha aydın şəkildə müşahidə edə bilirlər. Bu, abstrakt anlayışların konkretləşməsinə kömək edir.

4. Tarixi və coğrafi mühitlərin canlandırılması: Şagirdlər keçmiş dövrlərə virtual səyahət edərək hadisələri daha real şəkildə öyrənə bilirlər. Bu, xüsusilə tarix dərsləri üçün çox faydalıdır.

Fizika tədrisində immersiv mühitlərin rolu

Fizika elmi çox vaxt abstrakt anlayışlara əsaslanır və bu anlayışları şagirdlər üçün başa düşmək çətin olur. İmmersiv texnologiyalar bu problemi aradan qaldırmaq üçün çox effektiv vasitədir.

Məsələn:

- Elektromaqnit sahələri adi gözlə görünmür, lakin VR vasitəsilə vizual şəkildə göstərilə bilər,
- Mexaniki hərəkətlər 3D mühitdə daha aydın izah olunur,

- Kvant hadisələri simulyasiya edilərək şagirdlərə izah edilir.

Bu yanaşma şagirdlərin yalnız yadda saxlamasını deyil, həm də başa düşməsini təmin edir.

Üstünlüklər

Metaverse və immersiv təhsil mühitlərinin ən mühüm üstünlüklərindən biri şagirdlərin motivasiyasının əhəmiyyətli dərəcədə artmasıdır. Çünki ənənəvi dərslərlə müqayisədə bu mühitlər daha maraqlı, daha canlı və interaktiv olur. Şagird yalnız dinləyən deyil, eyni zamanda prosesin içində olan iştirakçıya çevrilir. Bu isə onun diqqətini daha uzun müddət saxlamağa və dərsə daha həvəslə yanaşmasına səbəb olur. Belə mühitdə öyrənmə şagird üçün məcburi fəaliyyət deyil, maraqlı bir təcrübə kimi qəbul edilir.

Digər vacib üstünlük təcrübə əsaslı öyrənmənin təmin olunmasıdır. Çünki immersiv texnologiyalar şagirdə yalnız nəzəri məlumat vermir, ona həmin bilikləri praktik olaraq sınaqdan keçirməyə imkan yaradır. Məsələn şagird fiziki qanunları sadəcə oxumaq əvəzinə onları virtual mühitdə müşahidə edir və tətbiq edir. Bu zaman öyrənmə daha dərin və qalıcı olur. Çünki insan öyrəndiyini tətbiq etdikdə. onu daha yaxşı mənimsəyir.

Metaverse mühitinin digər üstün cəhətlərindən biri təhlükəsiz təlim imkanlarının yaradılmasıdır [3]. Bəzi eksperimentlər real həyatda təhlükəli və ya bahalı ola bilər. Lakin virtual mühitdə bu cür məhdudiyyətlər aradan qalxır. Şagirdlər risk olmadan istənilən təcrübəni həyata keçirə bilir, səhv etdikdə isə heç bir real zərər yaranmır. Bu da onların daha sərbəst öyrənməsinə və qorxmadan sınaq aparmasına şərait yaradır.

Bundan əlavə, immersiv təhsil mühiti fərdiləşdirilmiş öyrənmə imkanlarını genişləndirir. Hər bir şagirdin öyrənmə tempi və qabiliyyəti fərqli olduğu üçün bu texnologiyalar həmin fərqləri nəzərə almağa imkan verir [4]. Şagird mövzunu öz sürətində öyrənə bilər. Anlamadığı hissələri təkrar izləyə bilər və ya daha irəli səviyyəyə keçə bilər. Bu isə həm zəif, həm də güclü şagirdlər üçün daha effektiv nəticə verir.

Nəhayət, metaverse texnologiyalarının ən böyük üstünlüklərindən biri məkan məhdudiyyətinin aradan qalxmasıdır. Artıq dərs keçmək üçün fiziki olaraq eyni məkanda olmaq vacib deyil. Şagirdlər istənilən yerdən virtual sinfə qoşula bilər. Bu isə xüsusilə ucqar bölgələrdə yaşayan və ya müxtəlif səbəblərdən məktəbə gedə bilməyən şagirdlər üçün böyük imkanlar yaradır. Eyni zamanda beynəlxalq əməkdaşlıq və qlobal təhsil mühitinə inteqrasiya üçün də geniş şərait formalaşdırır.

Çətinliklər və məhdudiyyətlər

Metaverse və immersiv təhsil texnologiyalarının tətbiqi bir çox üstünlüklərlə yanaşı, müəyyən çətinliklər və məhdudiyyətlərlə də müşayiət olunur və bu problemlər onların geniş yayılmasının qarşısını qismən ala bilər. İlk növbədə texniki problemlər diqqət çəkir. Çünki bu texnologiyaların istifadəsi üçün xüsusi avadanlıqlar tələb olunur. Məsələn, VR eynəklər, sensor qurğular və güclü kompüterlər. Bu cihazlar isə kifayət qədər bahalıdır və təhsilin büdcəsi bu avadanlıqları təmin etməyə imkan vermir. Nəticədə texnologiyaya çıxış bərabər olmur və bu da təhsildə fərqlərin yaranmasına səbəb ola bilər.

Digər mühüm problem infrastruktur çatışmazlığı ilə bağlıdır. Çünki metaverse və immersiv mühitlər əsasən stabil və yüksək sürətli internet bağlantısı tələb edir. Lakin bir çox bölgələrdə xüsusilə ucqar ərazilərdə internet ya zəifdir, ya da ümumiyyətlə mövcud deyil. Bu isə həmin texnologiyaların effektiv istifadəsini çətinləşdirir. Hətta bəzi hallarda mümkün etmir. Nəticədə texnologiyanın tətbiqi yalnız müəyyən məktəblərlə məhdudlaşır və bu da təhsildə bərabərsizliyə gətirib çıxara bilər.

Bundan əlavə müəllim hazırlığı məsələsi də ciddi problemlərdən biridir. Çünki yeni texnologiyaların tətbiqi yalnız texniki vasitələrlə deyil. Eyni zamanda onları düzgün istifadə edə bilən müəllimlərlə mümkündür. Bir çox müəllimlər ənənəvi tədris metodlarına öyrəşdiyi üçün VR, AR və digər immersiv alətlərdən istifadə etməkdə çətinlik çəkə bilər [1]. Bu isə texnologiyanın potensialından tam istifadə olunmasına mane olur. Buna görə də müəllimlərin bu sahədə xüsusi təlimlərə cəlb olunması və onların rəqəmsal bacarıqlarının inkişaf etdirilməsi vacibdir.

Sağlamlıq və psixoloji təsirlər də nəzərə alınmalı olan mühüm məqamdır. Çünki uzun müddət virtual mühitdə qalmaq bəzi hallarda göz yorğunluğu, baş ağrısı və ümumi narahatlıq hissi yarada bilər. Xüsusilə, məktəb yaşlı uşaqlar üçün bu məsələ daha həssasdır. Buna görə də immersiv texnologiyaların istifadəsi müəyyən zaman çərçivəsində və nəzarət altında həyata keçirilməlidir. Eyni zamanda real və virtual mühit arasında balansın qorunması vacibdir.

Nəhayət qeyd etmək lazımdır ki, bu texnologiyaların tətbiqi yalnız texniki və fiziki məsələlərlə məhdudlaşmır. Eyni zamanda pedaqoji və metodik yanaşmaların da yenilənməsini tələb edir. Əks halda texnologiya yalnız vizual effekt olaraq qalacaq və təhsilin keyfiyyətinə real təsir göstərməyəcək. Buna görə də metaverse və immersiv mühitlərin uğurlu tətbiqi üçün kompleks yanaşma zəruridir.

Azərbaycanda tətbiq perspektivləri

Azərbaycanda bu texnologiyalar hələ geniş yayılmasa da, onların tətbiqi üçün real imkanlar mövcuddur. Xüsusilə aşağıdakı addımlar vacibdir:

- VR əsaslı dərs materiallarının hazırlanması,
- İnternetsiz işləyən tədris proqramlarının yaradılması,
- Müəllimlər üçün təlimlərin təşkili.

Nəticə

Nəticə olaraq demək olar ki, metaverse və immersiv texnologiyalar təhsil sahəsində böyük dəyişikliklərə səbəb olur. Bu texnologiyalar öyrənmə prosesini daha maraqlı, interaktiv və effektiv edir. Gələcəkdə onların daha geniş tətbiqi təhsilin keyfiyyətinin artmasına və daha güclü nəsil yetişməsinə töhfə verəcəkdir.

Ədəbiyyat siyahısı

[1] PwC (2019). *Seeing is believing: How VR and AR will transform business and the economy*.
[2] UNESCO (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*.
[3] Mark Zuckerberg (2021). *The Metaverse Vision*.
[4] Radianti, J., Majchrzak, T.A., Fromm, J., Wohlgenannt, I. (2020). *A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education*. Education and Information Technologies.
[5] Makransky, G., Petersen, G.B. (2019). *Immersive virtual reality and learning: A meta-analysis*. Educational Psychology Review.
[6] Slater, M., Sanchez-Vives, M.V. (2016). *Enhancing our lives with immersive virtual reality*. Frontiers in Robotics and AI.
[7] OECD (2022). *Digital Education Outlook*.

ŞAGİRDLƏRİN KOGNİTİV YÜKLƏNMƏ SƏVİYYƏSİNİN OPTİMALLAŞDIRILMASI: YENİ TƏLİM STRATEGİYASI

Elşən Səfixanov Rövşən
Riyaziyyat müəllimi,Magistr
Quba rayon Fərhad Həmzəyev adına Digah kənd tam orta ümumtəhsil məktəbi
E-mail: elsen.sefixanov40@gmail.com
Quba,Azərbaycan

Xülasə

Bu məqalədə şagirdlərin kognitiv yüklənmə səviyyəsinin optimallaşdırılması və bunun üçün yeni təlim strategiyasının hazırlanması məsələsi araşdırılmışdır. Tədqiqatın əsas məqsədi təlim prosesində şagirdlərin idrak resurslarının daha səmərəli istifadəsini təmin etmək, artıq kognitiv yüklənməni azaltmaq və öyrənmənin keyfiyyətini artırmaq olmuşdur. Araşdırmada kognitiv yüklənmə nəzəriyyəsinə əsaslanaraq işçi yaddaşın məhdudluğu, daxili, xarici və məqsədyönlü yüklənmə anlayışları təhlil edilmişdir.

Metodoloji olaraq qarışıq yanaşma tətbiq edilmiş, həm eksperimental, həm də müşahidəvi metodlardan istifadə olunmuşdur. Tədqiqatda 9–11-ci sinif şagirdləri iştirak etmiş və onlara mərhələli informasiya təqdimatı, mikro-öyrənmə blokları, vizual-verbal balans və fərdiləşdirilmiş təlim strategiyaları tətbiq edilmişdir. Nəticələrin qiymətləndirilməsi testlər, müşahidələr və performans analizləri vasitəsilə aparılmışdır.

Nəticələr göstərmişdir ki, yeni təlim modeli şagirdlərin akademik göstəricilərini yaxşılaşdırmış, diqqət davamlılığını artırmış və kognitiv yüklənmə səviyyəsini azaldmışdır. Eyni zamanda, şagirdlərin bilikləri daha dərin mənimsəməsi və tətbiq bacarıqlarının inkişafı müşahidə olunmuşdur. Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, düzgün strukturlaşdırılmış təlim modeli öyrənmə prosesinin effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır və müasir təhsil mühitində praktik tətbiq üçün geniş imkanlar yaradır.

Açar sözlər: Kognitiv yüklənmə, təlim strategiyası, işçi yaddaş, mikro-öyrənmə, fərdiləşdirilmiş təlim, pedaqoji dizayn, öyrənmə effektivliyi, şagird performansı.

Abstract
This article investigates the optimization of students' cognitive load levels and the development of a new instructional strategy to support this process. The main purpose of the study is to enhance the efficient use of learners' cognitive resources, reduce extraneous cognitive load, and improve overall learning quality. Based on Cognitive Load Theory, the study analyzes the concepts of working memory limitations and the three types of cognitive load: intrinsic, extraneous, and germane load.
A mixed-method research design was applied, combining both experimental and observational approaches. The participants included students from grades 9–11. The intervention involved structured instructional strategies such as staged information delivery, micro-learning units, visual-verbal balance, and individualized learning approaches. Data collection and evaluation were conducted through tests, classroom observations, and performance analysis.
The results indicated that the proposed instructional model significantly improved students' academic performance, increased attention span, and reduced cognitive overload. Furthermore, students demonstrated deeper conceptual understanding and improved problem-solving abilities. Overall, the findings suggest that a well-structured instructional design effectively enhances learning outcomes and offers practical applications for modern educational environments.
Keywords*: Cognitive load, learning strategy, working memory, micro-learning, personalized learning, pedagogical design, learning effectiveness, student performance.*

Giriş
Müasir təhsil mühitində rəqəmsallaşma, informasiya bolluğu və tədris məzmununun sürətlə genişlənməsi şagirdlərin öyrənmə prosesinə ciddi təsir göstərir. İnformasiyanın həcminin artması ilə yanaşı, onun təqdimetmə sürəti və mürəkkəbliyi də yüksəlmişdir. Bu şəraitdə şagirdlərin idrak sisteminin imkanları ilə tədris yükü arasında yaranan uyğunsuzluq kognitiv yüklənmənin optimallaşdırılması problemini daha da aktuallaşdırır. Aparılan müasir tədqiqatlar göstərir ki, şagirdlər çox zaman məlumatı mexaniki şəkildə mənimsəyir, lakin onu strukturlaşdırmaq və yeni situasiyalarda tətbiq etməkdə çətinlik çəkirlər [1].
Kognitiv yüklənmə problemi xüsusilə rəqəmsal və hibrid təlim mühitlərində daha qabarıq şəkildə özünü göstərir. Onlayn platformalarda təqdim olunan çoxsaylı vizual, mətn və interaktiv elementlər şagirdlərin diqqətini parçalayaraq onların işçi yaddaşına əlavə yük yaradır. Nəticədə şagirdlər əsas məzmunu seçməkdə çətinlik çəkir və öyrənmə prosesi səthi xarakter alır [2]. Bu baxımdan, yalnız informasiyanın həcmi deyil, həm də onun təqdim olunma forması və strukturlaşdırılması kognitiv yüklənmənin səviyyəsinə birbaşa təsir göstərir.
Müasir pedaqoji yanaşmalar kognitiv yüklənməni yalnız məhdudiyyət kimi deyil, eyni zamanda düzgün idarə olunduqda öyrənməni stimullaşdıran bir mexanizm kimi qiymətləndirir. Son illərin tədqiqatlarında göstərilir ki, tədris prosesində lazımsız (xarici) yüklənmənin azaldılması və faydalı (məqsədyönlü) kognitiv fəaliyyətin artırılması şagirdlərin dərin öyrənmə bacarıqlarının formalaşmasına müsbət təsir göstərir [3]. Bu yanaşma təlim materiallarının dizaynında və pedaqoji strategiyaların seçilməsində yeni modellərin tətbiqini zəruri edir. Eyni zamanda, fərdiləşdirilmiş təlim yanaşmaları və adaptiv öyrənmə sistemləri kognitiv yüklənmənin idarə olunmasında mühüm rol oynayır. Müasir araşdırmalar göstərir ki, şagirdlərin əvvəlki bilik səviyyəsinə və öyrənmə tempinə uyğunlaşdırılmış təlim strategiyaları onların idrak resurslarından daha səmərəli istifadə etməyə imkan verir [4]. Bu isə həm akademik nəticələrin yüksəlməsinə, həm də öyrənməyə qarşı daxili motivasiyanın artmasına səbəb olur.
Problemin aktuallığı həm də onunla izah olunur ki, ənənəvi tədris metodları çox vaxt standart yanaşmaya əsaslanır və şagirdlərin fərdi idrak xüsusiyyətlərini nəzərə almır. Bu isə bəzi şagirdlərdə artıq yüklənməyə, digərlərində isə idrak fəaliyyətinin kifayət qədər stimullaşdırılmamasına gətirib çıxarır. Nəticədə təlim prosesi effektivliyini itirir və gözlənilən nəticələr tam şəkildə əldə olunmur [5]. Bu tədqiqatın məqsədi şagirdlərin kognitiv yüklənmə səviyyəsini optimallaşdırmağa yönəlmiş yeni təlim strategiyasının işlənib hazırlanması və onun müasir təhsil mühitində tətbiq imkanlarının elmi əsaslandırılmasıdır. Tədqiqat çərçivəsində kognitiv yüklənmənin struktur xüsusiyyətləri təhlil edilir, müasir elmi yanaşmalar sistemləşdirilir və praktik tətbiq üçün effektiv model təqdim olunur.

2. Nəzəri əsaslar və ədəbiyyat icmalı
Kognitiv yüklənmə nəzəriyyəsi (Cognitive Load Theory) müasir pedaqoji psixologiyada öyrənmə prosesinin izahında ən sistemli yanaşmalardan biri kimi qəbul olunur. Bu nəzəriyyənin əsas ideyası ondan ibarətdir ki, insan beyninin informasiya emalı məhdud resurslara malikdir və təlim prosesi bu resursların imkanlarına uyğun qurulmalıdır. Əks halda, idrak sistemi artıq yüklənir və öyrənmə səmərəliliyi aşağı

düşür. Son illərin tədqiqatları göstərir ki, təlim materialının strukturlaşdırılması və təqdimetmə forması şagirdlərin öyrənmə nəticələrinə birbaşa təsir edən əsas amillərdən biridir [6].
İşçi yaddaşın məhdudluğu kognitiv yüklənmə nəzəriyyəsinin mərkəzi anlayışlarından biri hesab olunur. İşçi yaddaş eyni anda yalnız məhdud sayda informasiya vahidini emal edə bilir və bu həddi aşılarsa idrak prosesində "informasiya sıxlığı" yaranır. Bu vəziyyət şagirdlərin diqqətini parçalayır, əsas və ikinci dərəcəli informasiyanı ayırd etməyi çətinləşdirir və nəticədə öyrənmə prosesində səhvlərin artmasına səbəb olur. Müasir neyrokognitiv tədqiqatlar göstərir ki, işçi yaddaşın bu məhdudluğu təlim dizaynında nəzərə alınmadıqda, hətta yüksək keyfiyyətli məzmun belə effektiv öyrənməyə gətirib çıxarmır [7].
Kognitiv yüklənmə üç əsas komponent üzərində qurulur: intrinsic (daxili), extraneous (xarici) və germane (məqsədyönlü) yüklənmə. Daxili yüklənmə öyrənilən materialın öz struktur mürəkkəbliyi ilə bağlıdır və mövzunun təbiətindən asılı olaraq dəyişir. Məsələn, mürəkkəb riyazi konsepsiyalar və ya çoxpilləli məntiqi əlaqələr daha yüksək daxili yüklənmə yaradır. Xarici yüklənmə isə tədris materialının təqdim olunma forması ilə bağlıdır və çox zaman pedaqoji dizayn səhvlərindən qaynaqlanır. Lazımsız vizual elementlər, qeyri-müntəzəm struktur və artıq informasiya bu yüklənməni artırır. Məqsədyönlü yüklənmə isə şagirdin aktiv idrak fəaliyyətini, yəni mövcud bilikləri strukturlaşdırma və yeni biliklərlə inteqrasiya etmə prosesini əhatə edir. Effektiv təlimdə məqsədyönlü yüklənmə artırılmalı, xarici yüklənmə isə minimuma endirilməlidir [8].Son illərdə aparılan araşdırmalar göstərir ki, kognitiv yüklənmənin düzgün idarə olunması xüsusilə rəqəmsal və multimodal təlim mühitlərində kritik əhəmiyyət daşıyır. Müxtəlif kanallar vasitəsilə (vizual, audio, interaktiv) təqdim olunan informasiya düzgün sinxronlaşdırılmadıqda şagirdlərin idrak sistemində parçalanma yaranır. Bu isə həm diqqət idarəetməsini zəiflədir, həm də uzunmüddətli yaddaşa keçidi çətinləşdirir. Buna görə də təlim materiallarının dizaynında "sadəlik prinsipi" və "idrak yükünün balanslaşdırılması" əsas pedaqoji qaydalar kimi qəbul edilir [9].
Müasir tədqiqatlar həmçinin göstərir ki, kognitiv yüklənmənin optimallaşdırılmasında fərdiləşdirilmiş təlim strategiyaları mühüm rol oynayır. Şagirdlərin bilik səviyyəsi, öyrənmə sürəti və idrak üslubları nəzərə alındıqda, eyni material müxtəlif şagirdlər üçün fərqli kognitiv yük yaradır. Bu səbəbdən adaptiv təlim sistemləri və mərhələli öyrənmə modelləri daha effektiv nəticələr verir. Belə yanaşmalar şagirdin işçi yaddaşını aşırı yükləmədən, onun tədricən daha mürəkkəb biliklərə keçidini təmin edir [10].
Ədəbiyyat icmalı göstərir ki, kognitiv yüklənmənin idarə olunması yalnız nəzəri problem deyil, eyni zamanda praktik pedaqoji zərurətdir. Təlim prosesində düzgün strukturlaşdırma, informasiyanın mərhələli təqdimatı və idrak resurslarının məqsədyönlü istifadəsi şagirdlərin öyrənmə keyfiyyətini artıran əsas amillər kimi çıxış edir. Mövcud tədqiqatların ümumi nəticəsi ondan ibarətdir ki, effektiv təlim dizaynı kognitiv yüklənməni azaltmaqla yanaşı, öyrənmənin dərinliyini və davamlılığını da gücləndirir.

3. Metodologiya

Bu tədqiqatın metodoloji əsasını şagirdlərin kognitiv yüklənmə səviyyəsinin təlim strategiyaları vasitəsilə necə dəyişdiyini empirik şəkildə qiymətləndirmək təşkil edir. Araşdırma həm nəzəri, həm də praktik komponentləri birləşdirərək təlim prosesində tətbiq olunan metodların real nəticələrini ölçməyə yönəlmişdir. Burada əsas məqsəd yalnız nəticəni qeydə almaq deyil, eyni zamanda hansı pedaqoji mexanizmlərin bu nəticəni yaratdığını izah etməkdir.
Tədqiqat qarışıq metodoloji dizayna əsaslanır və eksperimental ilə müşahidəvi yanaşmanın inteqrasiyasını ehtiva edir. Eksperimental mərhələdə müxtəlif təlim strategiyalarının tətbiqi nəticəsində şagirdlərin idrak yükündə və akademik performansında baş verən dəyişikliklər ölçülmüşdür. Bu mərhələdə dəyişənlər üzərində nəzarət saxlanılaraq səbəb-nəticə əlaqələrinin müəyyənləşdirilməsinə üstünlük verilmişdir. Müşahidəvi mərhələdə isə real dərs mühiti daxilində şagird davranışları, diqqət davamlılığı və tapşırıq icra prosesləri təbii şəraitdə izlənilmişdir. Bu yanaşma nəticələrin süni deyil, real təhsil mühitinə uyğun olmasını təmin edir [11]. Tədqiqatın iştirakçıları orta ümumtəhsil müəssisələrinin 9–11-ci sinif şagirdlərindən seçilmişdir. Bu yaş qrupu xüsusilə əhəmiyyətlidir, çünki şagirdlər artıq əsas bilik bazasına malikdirlər, lakin daha mürəkkəb abstrakt düşünmə mərhələsinə keçid edirlər. Bu keçid mərhələsi kognitiv yüklənmənin təsirini daha aydın müşahidə etməyə imkan verir. Nümunə seçimi heterogen strukturda aparılmış, yəni müxtəlif akademik səviyyəyə malik şagirdlər tədqiqata daxil edilmişdir ki, bu da nəticələrin ümumiləşdirilməsinə imkan yaratsın [12].
Tədqiqat çərçivəsində tətbiq olunan strategiyalar kognitiv yüklənmənin optimallaşdırılması prinsiplərinə əsaslanır. Təlim materialları "informasiya parçalanması" prinsipi ilə strukturlaşdırılmış, yəni böyük həcmli məzmun kiçik və məntiqi ardıcıllığa malik idrak vahidlərinə bölünmüşdür. Eyni zamanda "addım-addım öyrənmə" (sequential learning) yanaşması tətbiq edilmişdir ki, bu da şagirdlərin işçi yaddaşına düşən yükü mərhələli şəkildə artırmağa imkan verir. Vizual və verbal informasiya arasında balans yaradılmış, lazımsız

vizual elementlər minimuma endirilmişdir. Bundan əlavə, mikro-öyrənmə (microlearning) strategiyası tətbiq edilərək hər dərs bloku qısa, fokuslanmış idrak epizodlarına bölünmüşdür. Bu yanaşma xüsusilə diqqət davamlılığı zəif olan şagirdlər üçün effektiv nəticə göstərmişdir [13].

Təlim prosesində fərdiləşdirilmiş yanaşma da tətbiq olunmuşdur. Şagirdlərin əvvəlki bilik səviyyələri diaqnostik testlər vasitəsilə müəyyənləşdirilmiş və tapşırıqlar bu səviyyəyə uyğunlaşdırılmışdır. Daha yüksək səviyyəli şagirdlər üçün genişləndirici tapşırıqlar, aşağı səviyyəli şagirdlər üçün isə sadələşdirilmiş və mərhələli tapşırıq strukturu istifadə edilmişdir. Bu fərdiləşdirmə kognitiv yüklənmənin balanslaşdırılmasında mühüm rol oynamışdır.

Ölçmə üsulları çoxsəviyyəli yanaşma əsasında qurulmuşdur. Birinci mərhələdə standartlaşdırılmış biliyin qiymətləndirilməsi testləri tətbiq olunmuşdur. Bu testlər şagirdlərin mövzu üzrə ilkin və son bilik səviyyələrini müqayisə etməyə imkan vermişdir. İkinci mərhələdə sistemli müşahidə aparılmış, dərs zamanı şagirdlərin diqqət davranışı, cavabvermə sürəti, səhv etmə tezliyi və tapşırıq icra ardıcıllığı qeydə alınmışdır. Bu müşahidələr strukturlaşdırılmış protokollar əsasında həyata keçirilmişdir. Üçüncü mərhələdə isə performans analizi aparılmış, şagirdlərin problemləri həll etmə strategiyaları, düşünmə ardıcıllığı və idrak yükünə uyğunlaşma səviyyəsi qiymətləndirilmişdir [14].

Bundan əlavə, nəticələrin daha obyektiv qiymətləndirilməsi üçün statistik analiz metodlarından istifadə edilmişdir. Orta göstəricilər, dispersiya və müqayisəli analizlər vasitəsilə eksperimental və nəzarət qrupları arasında fərqlər müəyyən edilmişdir. Bu yanaşma tədqiqatın elmi etibarlılığını artırmış və nəticələrin təsadüfi deyil, sistemli dəyişikliklərə əsaslandığını göstərmişdir.

Ümumilikdə, tətbiq olunan metodologiya kognitiv yüklənmənin təlim prosesində rolunu çoxölçülü şəkildə analiz etməyə imkan verir. Qarışıq metod dizaynı həm obyektiv ölçməni, həm də davranış müşahidəsini birləşdirərək nəticələrin daha dərin və əsaslandırılmış interpretasiyasını təmin edir.

4. Yeni təlim strategiyasının modeli

Bu tədqiqatın əsas nəticə hissəsini təşkil edən yeni təlim strategiyası kognitiv yüklənmənin optimallaşdırılmasına yönəlmiş inteqrativ pedaqoji model kimi formalaşdırılmışdır. Modelin əsas məqsədi şagirdlərin idrak resurslarını səmərəli idarə etmək, artıq kognitiv yükü azaltmaq və öyrənmənin dərinliyini artırmaqdır. Bu yanaşma təlim prosesini yalnız informasiya ötürülməsi kimi deyil, mərhələli idrak quruculuğu kimi nəzərdən keçirir [15].

İlk prinsip informasiyanın mərhələli verilməsidir. Bu yanaşmaya görə, tədris materialı tam və kompleks şəkildə deyil, məntiqi ardıcıllıqla strukturlaşdırılmış kiçik hissələrə bölünərək təqdim olunur. Hər mərhələ əvvəlki biliklərin üzərinə qurulur və yeni biliklərin assimilyasiyasını asanlaşdırır. Bu, işçi yaddaşın həddindən artıq yüklənməsinin qarşısını alır və şagirdin diqqətini əsas anlayışlara yönəldir. Mərhələli təqdimat həmçinin öyrənmə prosesində "idarə olunan çətinlik" prinsipi yaradır ki, bu da idrak inkişafını stimullaşdırır [5].

İkinci prinsip vizual və verbal informasiyanın balanslaşdırılmasıdır. Təlim prosesində yalnız mətn və ya yalnız vizual materiallardan istifadə etmək idrak yüklənməsində disbalans yarada bilər. Bu modeldə isə vizual elementlər (sxemlər, qrafiklər, modellər) və verbal izahlar bir-birini tamamlayan şəkildə qurulur. Əsas məqsəd məlumatın iki fərqli idrak kanalında paralel emalını təmin edərək işçi yaddaşın yükünü bölüşdürməkdir. Lakin bu balansın pozulması, xüsusilə artıq vizual stimulların istifadəsi, əks effekt yarada bilər və diqqət yayınıqlığına səbəb ola bilər [6].

Üçüncü komponent mikro-öyrənmə bloklarıdır. Bu yanaşmada tədris materialı qısa, fokuslanmış və konkret idrak məqsədlərinə yönəlmiş kiçik öyrənmə vahidlərinə bölünür. Hər blok yalnız bir əsas konseptə fokuslanır və şagirdin həmin konsepti tam mənimsəməsinə imkan yaradır. Mikro-öyrənmə xüsusilə diqqət davamlılığı məhdud olan şagirdlər üçün effektivdir, çünki uzun və kompleks dərs strukturlarından yaranan yorğunluğu azaldır və öyrənmə prosesini daha dinamik edir [6].

Dördüncü prinsip təkrar və möhkəmləndirmə mexanizmidir. Bu modeldə təkrar yalnız mexaniki yaddaşın gücləndirilməsi kimi deyil, eyni zamanda biliklərin müxtəlif kontekstlərdə tətbiqi kimi nəzərdə tutulur. Spaced repetition (aralıqlı təkrar) və aktiv xatırlama metodları vasitəsilə şagirdlər öyrəndikləri məlumatı uzunmüddətli yaddaşa daha effektiv şəkildə köçürürlər. Bu mexanizm həmçinin biliklər arasında əlaqə qurulmasını gücləndirir və idrak strukturlarını daha dayanıqlı edir [9].

Beşinci komponent fərdiləşdirmə prinsipidir. Təlim prosesi şagirdlərin fərdi bilik səviyyəsi, öyrənmə tempi və idrak üslublarına uyğunlaşdırılır. Eyni material müxtəlif çətinlik səviyyələrində təqdim edilərək hər şagirdin öz optimal kognitiv yük zonasına daxil olması təmin edilir. Bu yanaşma "hamıya eyni təlim" modelindən uzaqlaşaraq adaptiv öyrənmə mühitinə keçidi ifadə edir. Fərdiləşdirmə həm akademik nəticələri yaxşılaşdırır, həm də şagirdlərin daxili motivasiyasını artırır [7].

Ümumilikdə, təqdim olunan model kognitiv yüklənmənin idarə olunmasını sistemli pedaqoji dizayn səviyyəsinə qaldırır. İnformasiyanın mərhələli təqdimatı, multimodal balans, mikro-strukturlaşdırma, möhkəmləndirmə mexanizmləri və fərdiləşdirilmiş yanaşma birgə şəkildə işləyərək təlim prosesinin daha effektiv və dayanıqlı olmasını təmin edir. Bu modelin tətbiqi nəticəsində şagirdlərdə həm anlayış dərinliyi, həm də problem həll etmə bacarıqları əhəmiyyətli dərəcədə inkişaf edir.

5. Nəticələr və müzakirə

Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, kognitiv yüklənmənin optimallaşdırılmasına yönəlmiş yeni təlim strategiyası şagirdlərin təlim nəticələrinə əhəmiyyətli dərəcədə müsbət təsir göstərmişdir. Eksperimental qrupda aparılan ölçmələr nəzarət qrupu ilə müqayisədə daha yüksək akademik göstəricilər, daha stabil diqqət davamlılığı və daha az idrak yorğunluğu nümayiş etdirmişdir. Bu dəyişikliklər təlim prosesinin strukturlaşdırılmasının və idrak yükünün düzgün tənzimlənməsinin effektivliyini təsdiqləyir [8].

Şagirdlərin performansında əsas dəyişikliklərdən biri biliklərin sadəcə yadda saxlanılması deyil, daha çox dərin anlayış səviyyəsində mənimsənilməsi olmuşdur. Xüsusilə tətbiq yönümlü tapşırıqlarda eksperimental qrup daha çevik düşünmə strategiyaları nümayiş etdirmiş, problemlərin həllində addım-addım məntiq qurma bacarığı inkişaf etmişdir. Bu, öyrənmənin səthi səviyyədən konseptual səviyyəyə keçdiyini göstərir və təlim dizaynının idrak inkişafına təsirini təsdiqləyir [9].

Yüklənmə səviyyəsinin azalması tədqiqatın ən mühüm empirik tapıntılarından biridir. Şagirdlərin öz-qiymətləndirmə nəticələri və müşahidə protokolları göstərir ki, yeni model tətbiq edildikdən sonra dərs zamanı diqqət dağınıqlığı azalmış, tapşırıq icra sürəti artmış və zehni yorğunluq daha gec yaranmışdır. Bu nəticə göstərir ki, informasiyanın mərhələli təqdimatı və mikro-strukturlaşdırma işçi yaddaşın daha effektiv işləməsinə şərait yaradır

Əldə olunan nəticələrin izahı müasir kognitiv psixologiya və təlim dizaynı ədəbiyyatı ilə uyğunluq təşkil edir. İşçi yaddaşın məhdud resursları nəzərə alındıqda, informasiyanın kiçik idrak bloklarına bölünməsi şagirdlərin emal yükünü azaldır və əsas anlayışlara fokuslanmanı artırır. Eyni zamanda vizual və verbal informasiyanın balanslaşdırılması idrak kanalları arasında yükün paylanmasına səbəb olur ki, bu da daha səmərəli öyrənmə nəticələri yaradır

Tədqiqatın nəticələri həmçinin göstərir ki, fərdiləşdirilmiş təlim yanaşması heterogen sinif mühitlərində xüsusilə effektivdir. Aşağı akademik səviyyəyə malik şagirdlərdə əsas anlayışların mənimsənilməsi yaxşılaşmış, yüksək səviyyəli şagirdlərdə isə analitik və tənqidi düşünmə bacarıqları daha da inkişaf etmişdir. Bu fərq təlimin adaptiv dizaynının idrak yükünü optimallaşdırmaqda mühüm rol oynadığını göstərir

Bundan əlavə, nəticələr göstərir ki, kognitiv yüklənmənin idarə olunması yalnız akademik nəticələrə deyil, həm də şagirdlərin motivasiya səviyyəsinə təsir edir. Strukturlaşdırılmış və mərhələli təlim mühiti şagirdlərdə öyrənməyə qarşı daha yüksək inam və aktiv iştirak davranışı formalaşdırmışdır. Bu isə təlim prosesinin psixoloji komponentinin də nəzərə alınmasının vacibliyini ortaya qoyur

Ümumilikdə, tədqiqatın nəticələri göstərir ki, düzgün dizayn edilmiş təlim strategiyası kognitiv yüklənməni azaldaraq öyrənmə keyfiyyətini yüksəldir və şagirdlərin idrak inkişafını sürətləndirir. Bu yanaşma müasir təhsil sistemində daha effektiv, çevik və fərdiləşdirilmiş təlim modellərinin tətbiqi üçün elmi əsas yaradır.

6. Nəticə və təkliflər

Aparılmış tədqiqatın ümumi nəticələri göstərir ki, kognitiv yüklənmənin elmi əsaslarla idarə olunması təlim prosesinin keyfiyyətini yüksəldən əsas pedaqoji faktorlardan biridir. Yeni təlim strategiyasının tətbiqi şagirdlərin həm akademik göstəricilərində, həm də idrak fəaliyyətinin strukturunda nəzərəçarpacaq müsbət dəyişikliklər yaratmışdır. Bu nəticələr əsasında bir sıra praktik tövsiyələr və tətbiq imkanları formalaşdırmaq mümkündür.

İlk növbədə, müəllimlər üçün ən mühüm tövsiyə tədris materialının strukturlaşdırılmış şəkildə təqdim edilməsidir. İnformasiya vahidlərinin böyük və kompleks formada verilməsi əvəzinə, kiçik, məntiqi ardıcıllığa malik bloklara bölünməsi daha effektiv nəticə verir. Bu yanaşma şagirdlərin işçi yaddaşına düşən yükü azaldır və əsas anlayışların daha aydın qavranılmasına şərait yaradır. Eyni zamanda dərs planlamasında “bir dərs – bir əsas konsept” prinsipi tətbiq olunduqda öyrənmə daha məqsədyönlü xarakter alır [4].

İkinci mühüm tövsiyə vizual və verbal materialların balanslaşdırılmış istifadəsidir. Müəllimlər dərs zamanı yalnız mətn izahına və ya yalnız vizual təqdimata üstünlük verməməli, hər iki komponenti bir-birini tamamlayan şəkildə istifadə etməlidirlər. Qrafiklər, sxemlər və modellər izahlı mətnlərlə uyğunlaşdırıldıqda şagirdlərin idrak yükü daha optimal paylanır və məlumatın yadda saxlanma ehtimalı artır [3].

Üçüncü olaraq, mikro-öyrənmə yanaşmasının dərs prosesinə inteqrasiyası tövsiyə olunur. Dərs müddətinin uzun bloklar şəklində deyil, qısa və fokuslanmış öyrənmə seqmentlərinə bölünməsi şagirdlərin diqqət davamlılığını artırır və zehni yorğunluğu azaldır. Bu xüsusilə aşağı motivasiyalı və diqqət çətinliyi yaşayan şagirdlər üçün daha effektiv pedaqoji nəticələr verir [5].

Dördüncü tövsiyə təkrar və möhkəmləndirmə mexanizmlərinin sistemli tətbiqidir. Sadəcə dərs sonunda edilən ümumi təkrar əvəzinə, aralıqlı təkrar (spaced repetition) və aktiv xatırlama metodlarından istifadə olunması biliklərin uzunmüddətli yaddaşa keçidini gücləndirir. Bu yanaşma şagirdlərdə öyrənilən materialın daha dərin mənimsənilməsini təmin edir və unudulma sürətini azaldır [4].

Beşinci mühüm istiqamət fərdiləşdirilmiş təlim strategiyalarının geniş tətbiqidir. Şagirdlərin fərdi bilik səviyyələri, öyrənmə sürətləri və idrak üslubları nəzərə alınmadan aparılan təlim prosesi heterogen sinif mühitində effektiv olmur. Buna görə də müəllimlər diferensial tapşırıqlar, adaptiv qiymətləndirmə və mərhələli öyrənmə modellərindən istifadə etməlidirlər. Bu yanaşma hər bir şagirdin öz optimal idrak yükü səviyyəsində öyrənməsinə imkan yaradır [15]. Təlim strategiyasının tətbiq imkanlarına gəldikdə isə, bu model yalnız ayrı-ayrı fənlər üçün deyil, ümumilikdə bütün təhsil pillələri üçün uyğunlaşdırıla bilər. Xüsusilə riyaziyyat, təbiət elmləri və informatika kimi yüksək kognitiv yük tələb edən fənlərdə bu yanaşma daha yüksək effekt göstərir. Eyni zamanda rəqəmsal təhsil platformalarında bu modelin tətbiqi daha da asanlaşır, çünki adaptiv sistemlər və interaktiv tədris vasitələri kognitiv yüklənmənin real vaxtda idarə olunmasına imkan verir [13].

Ümumilikdə, əldə olunan nəticələr göstərir ki, kognitiv yüklənmənin optimallaşdırılması yalnız nəzəri bir konsepsiya deyil, praktik pedaqoji dizaynın əsas komponentlərindən biridir. Müəllimlərin bu prinsipləri dərs planlamasında sistemli şəkildə tətbiq etməsi təlimin keyfiyyətini yüksəldir, şagirdlərin idrak inkişafını sürətləndirir və öyrənmə prosesini daha səmərəli və dayanıqlı edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Ayres, P. (2020). *Cognitive Load Theory: Implications for Multimedia Learning*. Learning and Instruction. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101396
2. Fiorella, L. (2023). *Making Sense of Generative Learning*. https://doi.org/10.1007/s10648-023-09769-7
3. Fiorella,L. (2023).*Making Sense of Generative Learning*. https://doi.org/10.1007/s10648-023-09769-7
4. Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2016). *Eight Ways to Promote Generative Learning*. https://doi.org/10.1007/s10648-015-9348-9
5. Kalyuga, S. (2020). *Cognitive Load Theory: Recent Advances and Future Directions*. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09503-1
6. Mayer, R. E. (2020). *Multimedia Learning Principles in Practice*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108894333
7. Mayer, R. E. (2020). *Multimedia Learning Principles in Practice*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108894333
8. Mayer, R. E. (2021). *Multimedia Learning (3rd ed.)*. https://doi.org/10.1017/9781316941355
9. Mayer, R. E. (2021). *Multimedia Learning (3rd ed.)*. https://doi.org/10.1017/9781316941355
10. Paas, F., & Sweller, J. (2020). *Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning*. Educational Technology Research and Development. https://doi.org/10.1007/s11423-020-09786-7
11. Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2018). *Cognitive Load Theory and Instructional Design*. Educational Psychology Review. https://doi.org/10.1007/s10648-018-09483-4
12. Schnotz, W. (2018). *Integrated Model of Text and Picture Comprehension*. Educational Psychology Review. https://doi.org/10.1007/s10648-018-09459-2
13. Sweller, J. (2019). *Cognitive Architecture and Instructional Design*. Educational Psychology Review. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09461-8
14. Sweller, J. (2019). *Cognitive Architecture and Instructional Design*. Educational Psychology Review. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09461-8
15. van Gog, T., & Paas, F. (2021). *Cognitive Load Theory: Recent Developments*. https://doi.org/10.1007/s10648-021-09628-3

XARİCİ DİL TƏDRİSİNDƏ DƏRSİN PLANLAŞDIRILMASI VƏ TƏLİM MATERİALLARININ ADAPTASİYASI

GÜLAY YASINLI
Xarici Dillər kafedrası
Bakı Mühəndislik Universiteti
Bakı, Azərbaycan
guyasinli@beu.edu.az

Xülasə

Bu məqalədə xarici dil tədrisində dərs planlaşdırılmasına müxtəlif yanaşmalar nəzərdən keçirilir, onların həm nəzəri əsasları, həm də praktik tətbiq imkanları təhlil olunur. Eyni zamanda bu yanaşmaların tələbələrin öyrənmə nəticələrinə təsiri araşdırılır. Tədqiqat göstərir ki, çevik və tələbəyönümlü planlaşdırma müasir təhsil mühitində xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Müxtəlif yanaşmaların müqayisəsi müəllimlərə daha düşünülmüş seçimlər etməyə, dərsləri daha effektiv təşkil etməyə və dil öyrənmə prosesini daha mənalı etməyə kömək edir. Bununla yanaşı istifadə edilən resursların keçirilən dərsin formatına, habelə məzmun və strukturuna uyğunlaşdırılmasının zəruriliyi diqqətə çatdırılır.

Açar sözlər: *dərs planlaşdırılması, sinif idarəetməsi, tədris yanaşmaları, resurslardan istifadə, xarici dil*

Abstract

This study examines a range of approaches to lesson planning in foreign language teaching, with particular attention to their theoretical underpinnings, practical implementation, and influence on learner outcomes. It highlights the significance of flexible, learner-centered planning that can effectively address the dynamic and evolving needs of students. Through a critical analysis of these approaches, the paper aims to support educators in making well-informed pedagogical decisions, ultimately enhancing instructional effectiveness and promoting meaningful language acquisition.

Keywords*: lesson planning, effective teaching, different approaches, resources, classroom management*

GİRİŞ

Dil öyrənməyə marağın formalaşdırılmasında müəllimin rolu müstəsna əhəmiyyət kəsb edir və bu prosesin uğurla həyata keçirilməsi birbaşa onun peşəkar səriştəsindən asılıdır. Hər bir dərs çərçivəsində müəllim tədrisi ən yaxşı formada çatdırmaq üçün daim metodoloji seçim qarşısında qalır. Bu baxımdan müxtəlif tədris metodları ilə sistemli şəkildə tanışlıq, onların müqayisəli və tənqidi təhlili müəllimin pedaqoji fəaliyyətinin ayrılmaz tərkib hissəsi kimi çıxış edir. Belə bir yanaşma müəllimə yalnız özünəməxsus tədris strategiyası formalaşdırmağa deyil, həm də konkret auditoriyanın xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq daha effektiv və nəticəyönümlü metodları seçməyə imkan yaradır.

Bununla yanaşı, nəzərə almaq vacibdir ki, dil öyrənmə prosesi yalnız müəllim amili ilə məhdudlaşmır və daha geniş, çoxşaxəli xarakter daşıyır. Müasir dövrdə öyrənənlər dili müxtəlif alternativ yollarla — müstəqil mütaliə, audiovizual materiallardan istifadə, rəqəmsal platformalarla işləmək, eləcə də dil mühitində aktiv ünsiyyət qurmaq vasitəsilə mənimsəyə bilirlər [2, s.98]. Xüsusilə ali təhsil mühitində təhsil alan tələbələr yeni biliklərə daha açıq olmaqla yanaşı, fərdi öyrənmə strategiyalarını inkişaf etdirməyə və özünüidarəetmə bacarıqlarını gücləndirməyə meyllidirlər. Bu isə müəllimin rolunu bilik ötürücüsündən daha çox fasilitator və istiqamətləndirici mövqeyə transformasiya edir.

Müəllimlərin əsas məqsədlərindən biri dərs prosesini maraqlı və cəlbedici etməkdir. Lakin tədris prosesinin əsasən müəllim yönümlü, uzunmüddətli monoloji təqdimatlar üzərində qurulması, hətta bu təqdimatlar müəyyən dərəcədə maraqlı formada həyata keçirilsə belə, tələbələrin diqqətinin zəifləməsinə və idrak fəallığının azalmasına səbəb ola bilər. Bu isə öz növbəsində öyrənmə nəticələrinin səmərəliliyinə mənfi təsir göstərir. Bu baxımdan effektiv dərs təşkili müəllimdən yalnız informasiyanın ötürülməsini deyil, həm də tələbələrin fəal iştirakını təmin edən interaktiv və balanslaşdırılmış yanaşmanın tətbiqini tələb edir.

Dərs prosesini metaforik olaraq səyahətə bənzətmək mümkündür. Bu səyahətdə əsas məqsəd yalnız maraqlı və dinamik bir yol qət etmək deyil, eyni zamanda əvvəlcədən müəyyən edilmiş təlim məqsədlərinə uyğun istiqamətdə irəliləmək və konkret nəticələrə nail olmaqdır. Belə yanaşma dərs planlaşdırılmasının sistemli, məqsədyönlü və strateji xarakter daşımasının vacibliyini bir daha vurğulayır.

Hazırda bir çox ölkədə xarici dil tədrisi üçün qəbul edilmiş ən münasib metodik yanaşma kommunikativ yanaşmadır. Sözsüz ki, sadəcə bu yanaşmanı tətbiq etməklə dili ən effektiv şəkildə tədris etmək kifayət etmir, materialların düzgün seçilməsi, düzgün ötürülməsi, dərsin psixoloji axarlılığının təmin edilməsi

vacib nüanslardan sayılır. Bu zaman tədris edilən məzmunun özünün də sinfin ümumi dil, social, mədəni, psixoloji və s. səviyyəsinə uyğunluğu nəzərə alınnmalı amillərdəndir.

DƏRS PLANLAŞDIRILMASININ ƏHƏMİYYƏTİ

Dərs planlaşdırılması yaradıcılıq və pedaqoji təcrübənin vəhdətini tələb edən mürəkkəb bir prosesdir və onun ideya bazası çox vaxt gözlənilməz mənbələrdən qidalanır. Müəllimlər dərs üçün ilhamı yalnız akademik ədəbiyyatdan deyil, həm də izlədikləri filmlərdən, oxuduqları bədii və elmi əsərlərdən, həmkarlarla apardıqları peşəkar müzakirələrdən, eləcə də sosial mühitdə müşahidə etdikləri ünsiyyət formalarından əldə edə bilirlər. Bu, dərs planlaşdırılmasını statik deyil, dinamik və davamlı yenilənən bir prosesə çevirir.

Müasir təhsil paradiqması çərçivəsində dil tədrisinin əsas məqsədlərindən biri öyrənənlərin passiv bilik qəbul edən subyektlərdən aktiv, təşəbbüskar və məsuliyyətli iştirakçılara transformasiyasını təmin etməkdir. Bu yanaşma tələbələrin yalnız informasiyanı mənimsəməsini deyil, həm də onu tətbiq etmə, təhlil etmə və müstəqil şəkildə yenidən qurma bacarıqlarını inkişaf etdirməyi hədəfləyir.

Empirik müşahidələr və pedaqoji təcrübə göstərir ki, dilin təbii ünsiyyət mühitində mənimsənilməsi — yəni orijinal kommunikasiya vasitəsilə öyrənilməsi — ən yüksək effektivliyə malik yanaşmalardan biridir. Danışıq və dinləmə fəaliyyətləri, real həyat situasiyalarına əsaslanan tapşırıqlar və kontekstual öyrənmə modelləri tələbələrin dərs prosesinə daha dərindən cəlb olunmasına şərait yaradır. Bu kontekstdə müəllimlərin yaratdığı spontan və emosional cəhətdən zəngin "tədris anları" tələbələrin fərqində olmadan öyrənmə prosesinə daxil olmasına və dili daha təbii şəkildə mənimsəməsinə səbəb olur.

Dərs planlaşdırılmasının əsas mərhələlərindən biri də öyrənənlərin ehtiyaclarının sistemli şəkildə müəyyənləşdirilməsidir. Ehtiyacların təhlili müəllimə tədris məqsədlərini daha dəqiq formalaşdırmağa, məzmunu uyğun şəkildə seçməyə, adekvat metod və strategiyalar müəyyənləşdirməyə, həmçinin qiymətləndirmə mexanizmlərini düzgün qurmağa imkan verir. Bu proses dərs planının məqsədyönlü və nəticəyönümlü olmasını təmin edən əsas amillərdən biridir.

DƏRSİN TƏŞKİLİNDƏ PSİXOLOJİ VƏ METODİK ƏSASLAR

Dərsin başlanğıc mərhələsi onun ümumi strukturunun və dinamikasının formalaşmasında həlledici rol oynayır. İlk dəqiqələrdə yaradılan psixoloji və pedaqoji mühit tələbələrin diqqətinin cəmlənməsinə, motivasiyanın formalaşmasına və dərsə aktiv qoşulmasına birbaşa təsir göstərir. Əgər dərsin ilkin mərhələsində maraq və diqqət uğurla təmin olunursa, bu, dərsin sonadək səmərəli şəkildə davam etməsi ehtimalını əhəmiyyətli dərəcədə artırır [3, s.312]. Əks halda, motivasiya boşluğunu sonradan aradan qaldırmaq xeyli çətinləşir. Bu mərhələdə adətən xarici dil müəllimlərinə yaxşı tanış olan bir sıra oyunlar, qısa dialoqlar, tələbələrin diqqətini dərsə cəmləşdirməyə kömək edən sualların verilməsi uğurlu başlanğıc sayıla bilər.

Dərsin ortalarına doğru – nə qədər ki, tələbənin diqqəti materialı qavramağa hazırdır – yeni mövzunun izah edilməsi, tapşırıqların işlənilməsi və möhkəmləndirmə çalışmalarının edilməsi dərsin öz təbii axarını canlandıracaqdır. Əlbəttə, istənilən halda bəzi "boşluqlar" verilməsi tələbənin istirahətindən çox, beyin məşqi formatında edilə bilər. Bu, müəllim üçün əvəzedilməz fürsətdir, çünki müəllim tələbələrin nə qədər hissəsinin, hansı səviyyədə keçirilən materiali mənimsədiyindən əmin olacaqdır. Digər tərəfdən isə, bu cür bir geri bildiriş (feedback) müəllimə növbəti dərsləri düzgün planlaşdırmağa kömək edəcəkdir.

Dərsin yekun mərhələsi də az əhəmiyyət kəsb etmir. Bu mərhələ öyrənilən materialın sistemləşdirilməsi, əsas məqamların ümumiləşdirilməsi və əldə olunmuş biliklərin möhkəmləndirilməsi baxımından mühüm funksiyaya malikdir. Eyni zamanda, dərsin sonu, yuxarıda qeyd edildiyi kmi növbəti dərs üçün intellektual və motivasion zəmin yaradır. Bu mərhələdə verilən tapşırıqların izahı və müzakirəsi öyrənmə prosesinin davamlılığını təmin edir.

Plansız və spontan şəkildə təşkil olunan dərslər qısamüddətli perspektivdə maraqlı təsir bağışlasa da, uzunmüddətli tədris nəticələri baxımından səmərəsiz hesab olunur. Bu cür yanaşmanın təkrarlanması tələbələrdə müəllimin peşəkarlığına dair şübhələr yarada və pedaqoji münasibətlərin keyfiyyətinə mənfi təsir göstərə bilər. Digər tərəfdən tələbələrin informasiyanı daha sistemli şəkildə qavraması və geri ötürməsi demək olar ki, düzgün dərs planlaşdırılmasının nəticəsi hesab olunacaqdır. Belə ki, qrammatika və lüğət ehtiyatını təşkil edən mövzuların rabitəsiz, təsadüfi seçilməsi, materialların yanlış seçimi tələbələrdə çaşqınlığa səbəb olacaq. Bu isə özünü keyfiyyətsiz öyrənmədə göstərəcəkdir.

MÜASİR YANAŞMALAR FONUNDA DİL TƏDRİSİ

Dil bacarıqları içərisində danışıq qabiliyyəti öyrənənlər üçün ən mürəkkəb və çətin inkişaf etdirilən komponentlərdən biri hesab olunur. Bunun başlıca səbəbi danışığın spontan xarakter daşıması, real vaxt rejimində həyata keçirilməsi və əvvəlcədən strukturlaşdırma imkanlarının məhdud olmasıdır.

Bu baxımdan kommunikativ yanaşma müasir dil tədrisində xüsusi aktuallıq kəsb edir. Bu yanaşma tələbələrin dili praktik ünsiyyət vasitəsi kimi istifadə etməsini prioritetləşdirir və onların sərbəst şəkildə fikir ifadə etməsinə şərait yaradır. Cütlük və qrup işlərinə əsaslanan fəaliyyətlər tələbələrin interaktiv öyrənmə mühitində iştirakını təmin edir [5, s.42]. Müəllim tərəfindən yaradılan dəstəkləyici və təhlükəsiz öyrənmə mühitində səhvlər öyrənmənin təbii komponenti kimi qəbul edilir ki, bu da tələbələrin psixoloji baryerlərini aradan qaldıraraq onların daha fəal iştirakını stimullaşdırır.

Xarici dil tədrisi təkcə yaxşı danışmağa fokuslanmır, eyni səviyyədə parallel olaraq yazı, oxu və dinləmə qabiliyyətinin də inkişaf etdirilməsini hədəfləyir. Burada məqsəd sadəcə bütün sözləri başa düşmək yox, qrammatik strukturu dərk etmək, analiz edə bilmək və özündə yeni bacarıqlar formalaşdırmaqdır.

XARİCİ DİL TƏDRİSİNƏ TEXNOLOGİYANIN İNTEQRASİYASI

Müasir informasiya cəmiyyətində texnologiya tədris prosesinin ayrılmaz tərkib hissəsinə çevrilmişdir. Rəqəmsal alətlər və platformalar yalnız informasiyanın təqdimatını deyil, həm də öyrənmə prosesinin interaktivliyini və vizual cəlbediciliyini artırır. Bu isə tələbələrin motivasiyasına və diqqət səviyyəsinə müsbət təsir göstərir.

Dərsliklər tədris prosesinin strukturlaşdırılmasında mühüm rol oynasa da, yalnız onlarla məhdudlaşmaq pedaqoji baxımdan yetərli hesab olunmur. Əlavə materiallar — videolar, autentik mətnlər, interaktiv tapşırıqlar və real obyektlər — dərsin məzmununu zənginləşdirir və öyrənmə təcrübəsini daha müxtəlif və effektiv edir. Xüsusilə ilkin mərhələdə real obyektlərdən istifadə konkret anlayışların mənimsənilməsini asanlaşdırır, lakin müasir texnologiyalar bu prosesi daha geniş və çevik imkanlarla təmin edir.

Hazırda süni intellektin geniş istifadə edildiyi bir dövrdə müəllimlər və öyrənənlər üçün yeni imkanlar yaranmışdır. Müəllim istənilən materialı dərsin məzmununa uyğunlaşdıra bilir, qrammatika, lüğət, oxu, yazı, dinləmə və danışma bacarıqlarının inkişafı üçün özü materiallar hazırlaya bilir. Bu inqilabi fenomen əslində, xarici dil müəllimlərinin işini hədsiz dərəcədə asanlaşdırmışdır. İstənilən dil səviyyəsinə uyğun mətnlər hazırlanması, dərsin planına uyğun dinləmə materiallarının yaradılması, hətta test tərtibi kimi mürəkkəb məsələlər kifayət qədər əlçatan olmuşdur.

DƏRS PLANLAŞDIRILMASININ ƏSAS PRİNSİPLƏRİ

Effektiv dərs planlaşdırılması bir sıra fundamental prinsiplərə əsaslanır:

- davamlı və məqsədyönlü motivasiyanın təmin edilməsi;
- mövzular arasında məntiqi və konseptual əlaqələrin qurulması;
- öyrənənlərin aktiv və şüurlu iştirakının təşviqi;
- tənqidi və analitik düşünmə bacarıqlarının inkişaf etdirilməsi;
- tələbəyönümlü və inklüziv yanaşmanın tətbiqi;
- obyektiv və şəffaf qiymətləndirmə mexanizmlərinin qurulması.

Bu kontekstdə tədris məqsədləri konkret, ölçülə bilən və nəticəyönümlü olmalı, seçilmiş fəaliyyət və metodlar isə həmin məqsədlərə xidmət etməlidir. Bütün sadalanan prinsiplərin hər birinin tətbiqi ola bilsin ki, eyni səviyyədə mümkün olmur, lakin keyfiyyətli və arzuolunan nəticələrin əldə ediləsinə böyük ölçüdə töhfə verir.

Dərsin planlaşdırılması yuxarıda sözügedən prinsiplərdən kənara da çıxa bilər. Bir sıra obyektiv və subyektiv amillər mütləq prosesə təsir edəcəkdir. Nəticə dəyişməz qalır – hər dərs müəllim üçün bir şah əsər yaratmaq, ən uğurlu formada tədrisi təşkil etməkdir.

NƏTİCƏ

Beləliklə, xarici dil tədrisində dərs planlaşdırılmasına müxtəlif yanaşmalar — ənənəvi PPP modeli, tapşırıqəsaslı öyrənmə, CLIL və kommunikativ yanaşma — fərqli tədris kontekstlərində spesifik üstünlüklər təqdim edir. Lakin effektiv pedaqoji fəaliyyətin əsasını yalnız bir metodun tətbiqi deyil, müxtəlif yanaşmaların məqsədyönlü şəkildə inteqrasiyası təşkil edir. Çevik, reflektiv və elmi əsaslandırılmış dərs planlaşdırılması həm müəllimin peşəkar inkişafını stimullaşdırır, həm də öyrənənlərin dil bacarıqlarının daha dərin və davamlı şəkildə formalaşmasına şərait yaradır. Bununla yanaşı, xarici dil tədris edən müəllimlərin süni intellektdən, internet əsaslı platformalardan və ən müasir texnologiyalardan istifadəsi artıq məcburi, qaçılmaz bir hal almışdır. Dərsin planlaşdırılması baxımından isə bu son dərəcə əhəmiyyətli rol oynamaqdadır. Yəni, istənilən mövzunun, istənilən formatda, dil öyrənənlərin cari vəziyyətlərinə uyğun, ən yaxşı resurslarla öyrədilməsi və materialların dərsin planına uyğunlaşdırılması üçün birmənalı şəkildə müəllimin davamlı öz biliklərini yeniləməsi vacibdir.

Ədəbiyyat
[1] K. V. den Branden, *Task-based language education: From theory to practice*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
[2] H. D. Brown, *Teaching by principles: An interactive approach to language pedagogy*, 3rd ed. Pearson Education, 2007.
[3] L. Cameron, *Teaching languages to young learners*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
[4] J. Harmer, *The practice of English language teaching*, 5th ed. Pearson Education, 2015.

THE ROLE OF GAMES IN ENHANCING ENGLISH VOCABULARY RETENTION

Mammadova Gunel
Baku Engineering University
Department of Foreign Languages
Baku, Azerbaijan
gmammedova@beu.edu.az
Orcid code:0009-0007-8713-7681

Simuzar Shirinova
Baku Engineering University
Department of Foreign Languages
Baku, Azerbaijan
sishirinova@beu.edu.az
Orcid:0009-0001-7901-0812

Abstract
This study investigates the role of games and interactive activities in enhancing English vocabulary retention among elementary-level EFL learners. Grounded in theories such as constructivism, cognitive learning theory, and Krashen's affective filter hypothesis, the research emphasizes the pedagogical benefits of integrating game-based methods into vocabulary instruction. A quasi-experimental design was employed with 60 participants from Baku Engineering University, divided into an experimental group that engaged in language games and a control group that received traditional instruction. The tests conducted by the researcher—including pre-tests, immediate post-tests, and delayed post-tests—were designed to measure vocabulary acquisition and retention. Examples of these tests included vocabulary recognition, gap-filling, and word usage tasks. The methodological approach combined quantitative analysis through paired-samples and independent-samples t-tests with qualitative data from classroom observations and learner questionnaires. Results indicated that learners exposed to game-based activities demonstrated significantly higher long-term vocabulary retention, greater motivation, and more active participation than those taught via conventional methods. This study highlights the importance of detailed assessment strategies to evaluate vocabulary retention and provides practical implications for educators, curriculum developers, and textbook authors seeking to foster interactive and learner-centered language education.
Keywords: game-based activities, vocabulary acquisition, retention, cognitive learning, interactive methods

Introduction
In the study of language education, vocabulary plays an important role in improving learners' communication skills. Learners are enabled to comprehend written and spoken texts, express ideas clearly, and engage in meaningful communication by a strong vocabulary base. Language learners face significant difficulties in understanding grammar, participating in conversations, and performing academic tasks without adequate vocabulary knowledge. Despite its significance, vocabulary acquisition—and more

critically, vocabulary retention—remains a challenging aspect of second language learning. While traditional approaches, such as rote memorization and repetitive drilling, may offer short-term success, they often fail to ensure long-term retention and active usage of words in real-life contexts.

The need for learner-centered and interactive methods that go beyond mechanical memorization have been emphasized by recent educational trends. In this context, games and educational activities have emerged as effective tools for enhancing vocabulary retention. The learning environment are transformed by these strategies into a dynamic and engaging space, promoting active involvement and motivation among students. Elements of fun, competition, and collaboration are introduced by games which can stimulate learners' interest and reduce the anxiety often associated with language learning. When learners are engaged and emotionally invested, they are more likely to internalize and remember new vocabulary.

The effectiveness of games and activities in vocabulary instruction can be explained through several learning theories, including constructivism, cognitive theory, and the affective filter hypothesis. Constructivist theory emphasizes that learners build knowledge through experiences and interaction. Games provide opportunities for learners to encounter new words in meaningful contexts, apply them in various situations, and receive immediate feedback. From a cognitive perspective, games often require the use of memory, attention, and problem-solving skills, all of which contribute to deeper learning. By creating a low-stress, enjoyable learning environment, games can lower the affective filter and make learners more receptive to input.

Numerous studies have supported the role of games in vocabulary acquisition and retention. Research indicates that learners who participate in game-based activities are more likely to retain vocabulary over time, compared to those who rely solely on traditional methods. Moreover, games cater to different learning styles—visual, auditory, and kinesthetic—making them accessible and effective for diverse learners. They can be adapted to suit various age groups, proficiency levels, and classroom settings, including both physical and digital platforms.

Despite their many benefits, the use of games in vocabulary instruction is sometimes overlooked or undervalued in formal educational contexts. Some educators may view games as time-consuming or lacking academic rigor. However, when carefully selected and aligned with learning objectives, games can be powerful tools that complement traditional teaching methods and significantly enhance vocabulary retention.

This article explores the role of games and interactive activities in promoting the retention of English vocabulary. It discusses theoretical foundations, evaluates empirical evidence, and offers practical insights for integrating games into vocabulary instruction to support effective and lasting language learning.

Literature Review

In the past, vocabulary instruction was often overlooked or undervalued in various language teaching approaches. However, contemporary research increasingly emphasizes the essential role vocabulary plays in second language acquisition. As noted by Coady and Huckin (1997), there is now a broad consensus that expanding vocabulary knowledge is fundamental for language learners. Channell (1998) argues that vocabulary instruction deserves to be treated as an independent and important component of foreign language teaching, as it is crucial for achieving higher levels of language proficiency. In support of this, Carter (1992, pp. 152–153) asserts that a significant amount of vocabulary should be explicitly taught, rather than being indirectly addressed through grammar or reading lessons.

Laufer (1997) further contends that fluency should be seen as the ability to communicate ideas clearly and easily, which depends more on the richness and accuracy of vocabulary than on flawless grammar. From this perspective, having an adequate and precise vocabulary base is more vital for effective communication than perfect syntax.

Games have also received attention as a valuable tool in language education. Freeman (1986) highlighted that language games mirror real-life interactions, as they require players to communicate and exchange ideas. Additionally, they offer learners immediate feedback from peers and instructors, creating an interactive learning environment. Richards and Amato (1988, p. 147) emphasized that games can reduce learners' anxiety levels, thereby making it easier for them to absorb and process language input.

Hansen (1994) pointed out that one of the key strengths of language games lies in their capacity to encourage participation among reserved or shy students. Through these games, such students may feel more comfortable contributing to classroom activities. Similarly, Lee (1996) outlined several advantages of language games, describing them as refreshing diversions from traditional instruction, as well as engaging

and intellectually stimulating. Games promote learning through effort, offering practical opportunities to practice different language skills.

From a psychological standpoint, Abdikhah (1998) noted that games are highly beneficial because they reduce learners' hesitation, especially when they are involved in cooperative rather than competitive settings. Shy or introverted students who might be reluctant to engage in regular classroom tasks often become more open and willing participants during game-based activities.

Nguyen and Khuat (2003) also support the integration of games in language learning, emphasizing that a relaxed and enjoyable classroom atmosphere enhances learning. They observed that students are more inclined to participate when games involve friendly competition, which increases motivation and leads to more voluntary engagement in class tasks.

Methodology

Purpose and Importance of the Study

Vocabulary learning is an essential component of acquiring any language, and it is important to consider effective strategies to reach this goal. Traditional methods of teaching new words have often proved ineffective and monotonous, leading to boredom among both students and teachers. In addition, learners increasingly prefer more independent approaches to learning, where they can take greater control of their own progress.

This study aims to explore more effective and engaging methods for learning and retaining vocabulary. One such approach is the use of language games, which not only help students understand and use new words in different contexts but also make the classroom environment more dynamic and enjoyable. Games can break the routine of conventional lessons and make vocabulary learning more interesting.

A key focus of this study is on the importance of long-term vocabulary retention. It examines both the immediate and delayed effects of using games, comparing them with traditional, non-communicative teaching methods. The study seeks to determine whether game-based activities lead to better long-term recall of vocabulary. This aspect is crucial, because if students forget vocabulary soon after learning it, the effectiveness of any teaching method becomes questionable. Long-term memory plays a vital role in truly acquiring and using vocabulary in real-life communication.

Furthermore, using games in language classrooms has practical benefits for teachers, learners, and textbook designers. For teachers, games can serve as valuable teaching tools that promote student engagement and participation. They also challenge the misconception that games are merely time-fillers with no educational value. For students, language games create a more relaxed environment that encourages interaction and healthy competition, helping even shy learners feel more confident in using the language.

Finally, this approach has implications for curriculum development. Textbook authors and course designers can incorporate a variety of language games into lesson plans, enriching the overall learning experience and making vocabulary acquisition more effective and enjoyable.

"Consequently, this study seeks to explore the following research question:
To what extent do language games influence the vocabulary retention of elementary-level EFL learners?"

Participants

This research was carried out with a group of 60 EFL learners, who were studying at Baku Engineering University. To guarantee that the participants had roughly the same level of English proficiency, a purposive sampling technique was used, relying on their placement test outcomes. Once selected, the students were randomly assigned into two equal groups: an experimental group consisting of 30 students and a control group comprising the remaining 30 learners.

Data Analysis

The numerical data collected from the initial test, the post-instruction test, and the delayed test were examined using both paired-samples t-tests and independent-samples t-tests. These statistical methods were employed to identify whether there were significant differences in vocabulary improvement within each group and between the experimental and control groups. Additionally, non-numerical data gathered through classroom observations and student questionnaires were analyzed thematically. This qualitative analysis offered deeper insights into learners' levels of participation, their attitudes toward the learning process, and the overall impact of incorporating games into vocabulary teaching.

Result and discussion

This study set out to explore the effectiveness of language games as a strategy for teaching English vocabulary to learners in Iran. Game-based activities involving social interaction allow students to receive

support from their peers, take part in meaningful and realistic communication, collaborate effectively, build confidence, and become more open to engaging with classmates.

During vocabulary games, learners work together toward a shared objective—identifying new words and competing with other groups. This cooperative setting naturally motivates students to collaborate and consult one another, often using English words and expressions in the process. Because these activities are not linked to formal grading and the teacher takes on more of an observer role, even less confident students participate actively. The challenge of finding the right answer within the game context fosters spontaneous communication and encourages students to practice vocabulary without the fear of being judged.

By participating in such interactive, game-like settings, students experience reduced pressure and anxiety, which often enhances their ability to retain and recall vocabulary. As they engage in dialogue and problem-solving, students co-construct knowledge, which aligns closely with the principles of constructivist learning theory. According to this view, learning is most effective when it occurs through social interaction and shared experiences.

Games encompass many elements that promote effective language learning. Many learners are more responsive to implicit, goal-oriented learning rather than direct instruction. They prefer using the language to achieve meaningful outcomes, which increases their motivation and engagement. In the process of playing vocabulary games, students often find themselves in situations where only one peer knows the target word. When that peer provides hints or explanations, it mirrors Vygotsky's concept of the "zone of proximal development," where learning is supported by more knowledgeable others.

This peer assistance, or scaffolding, leads students to a common understanding through discussion and negotiation. As a result, their cooperative skills are enhanced, and their grasp of vocabulary deepens.

The study also highlights the limitations of traditional language instruction in contrast to game-based learning. Traditional methods often focus heavily on grammar and rules, under the assumption that mastering form equates to mastering the language. However, students frequently find such lessons unengaging. On the other hand, communicative methods—such as using games—emphasize meaning and encourage learners to express themselves freely.

Moreover, conventional activities often rely on repetitive drills aimed at accuracy, which can be time-consuming and less engaging. In contrast, communicative activities promote fluency by focusing on real-life use of language. While traditional teaching often involves immediate correction of errors, communicative approaches prioritize interaction. In this model, errors are often self-corrected through communication as students strive to be understood.

In summary, this study reinforces the idea that games can serve as a powerful alternative to traditional language teaching methods. They foster motivation, support social learning, and ultimately enhance students' ability to learn and retain vocabulary more effectively.

In classrooms that rely heavily on traditional teaching practices, the teacher is typically seen as the sole authority, deciding what should be taught and how activities are conducted. This top-down approach often neglects learners' individual strengths, preferences, and educational needs. On the other hand, in communicative classrooms, the teacher assumes a more supportive role—facilitating learning while ensuring that students remain engaged and focused. In these environments, instruction is more learner-centered, with teachers taking students' interests and needs into account, creating a more relaxed and motivating atmosphere for learning.

These observations suggest that language games offer more advantages than traditional instructional methods. However, it is important to determine whether vocabulary retention significantly differs between these two approaches.

As Nation (2001) explains:

"A word may be noticed and its meaning understood through contextual input, teacher explanation, or the use of a dictionary. If that word is later recalled during a task, its memory is reinforced" (p. 69).

This implies that learners must regularly practice newly acquired vocabulary; otherwise, the words may quickly be forgotten. Supporting this idea, Haycraft (1978), as cited in Uberman (1998), emphasizes that a wide variety of word games are effective tools for reviewing and reinforcing vocabulary once it has been introduced.

The findings of this study support Nation's theory, showing that language games are highly effective for vocabulary instruction. They not only aid in learning new words but also significantly improve students' ability to retain and recall vocabulary over time.

Conclusion

In the context of English language teaching, vocabulary acquisition is a fundamental pillar that supports all other aspects of language proficiency, including reading, writing, listening, and speaking. However, acquiring vocabulary is not sufficient in itself—what is truly essential for effective communication is long-term vocabulary retention. This study set out to investigate how the use of games and interactive activities can enhance the retention of English vocabulary among EFL learners, particularly at the elementary level. The findings provide strong support for the integration of language games into vocabulary instruction, highlighting their effectiveness as pedagogical tools that go beyond mere entertainment.

Traditional vocabulary teaching methods, which are often rooted in teacher-centered practices such as rote memorization, mechanical drilling, and isolated word lists, tend to offer limited success when it comes to long-term retention. These methods, while sometimes effective for short-term recall or test preparation, often fail to support deep learning or practical application of vocabulary in real-world communication. Furthermore, such approaches can lead to decreased motivation, learner disengagement, and even anxiety, especially among students who struggle to memorize or who prefer more interactive and collaborative forms of learning.

In contrast, game-based vocabulary learning introduces elements of fun, spontaneity, and social interaction into the classroom. These features not only make the learning process more enjoyable, but they also significantly improve learners' emotional and cognitive engagement. When students are actively involved in goal-oriented, meaningful tasks—such as identifying words, solving language puzzles, or participating in friendly competition—they are more likely to internalize new vocabulary. Additionally, such tasks often require the use of higher-order thinking skills, such as problem-solving, negotiation, and peer explanation, which contribute to deeper learning and improved retention.

The theoretical underpinnings of this study are grounded in well-established principles of second language acquisition. Nation (2001) emphasizes the importance of repeated exposure and retrieval of vocabulary for memory consolidation. According to his theory, learners must encounter words in context, understand their meanings, and then recall and reuse them over time to strengthen retention. Language games offer exactly this kind of repeated and varied exposure in engaging formats. Likewise, the affective filter hypothesis proposed by Krashen underscores how emotional factors—such as motivation, confidence, and anxiety—can affect language acquisition. Games help to lower the affective filter by creating a supportive and low-stress environment in which learners feel safe to experiment with language. Moreover, Vygotsky’s theory of the zone of proximal development is reflected in the cooperative nature of many classroom games, where learners scaffold one another’s understanding through social interaction and shared tasks.

The results of this study also have important practical implications for language teaching. Teachers can use games not only as supplementary activities but as integral components of lesson plans aimed at vocabulary development. Games allow teachers to reach students with different learning styles—visual, auditory, kinesthetic—and they can be easily adapted to suit various class sizes, age groups, and proficiency levels. For learners, games offer a sense of autonomy, involvement, and purpose, which leads to higher motivation and more effective learning. For textbook writers and curriculum developers, the incorporation of games and task-based activities can enrich instructional materials and help create more learner-centered programs that align with contemporary educational trends.

Ultimately, this study demonstrates that language games are not simply a distraction from "serious" learning but are, in fact, serious tools in their own right—capable of transforming passive learners into active participants. By engaging learners cognitively, emotionally, and socially, games provide an optimal context for vocabulary acquisition and retention. The comparative analysis of the experimental and control groups further confirms that learners who were exposed to game-based instruction retained vocabulary more effectively and for a longer period than those who followed traditional methods.

In conclusion, the use of games and interactive activities in vocabulary teaching is a powerful and necessary shift in modern language education. Such methods promote meaningful learning, support long-term retention, reduce anxiety, and foster motivation. As language classrooms continue to evolve, it is essential that educators embrace and implement innovative, research-backed strategies like language games. By doing so, they can create vibrant, inclusive, and effective learning environments that truly support students in mastering the vocabulary they need for successful communication in English.

References
1. Nation, I. S. P. (2001). *Learning Vocabulary in Another Language*. Cambridge University Press.
Offers comprehensive insights into vocabulary acquisition, including repetition and memory strategies.
2. Carter, R. (1992). *Vocabulary: Applied Linguistic Perspectives*. Routledge.
Emphasizes the need for explicit vocabulary instruction in language learning.
3. Uberman, A. (1998). The Use of Games for Vocabulary Presentation and Revision. *English Teaching Forum*, 36(1), 20–27.
A widely cited article supporting the effectiveness of games in vocabulary instruction.
4.Nguyen, T. T. T., & Khuat, T. T. N. (2003). The Effectiveness of Learning Vocabulary through Games. *Asian EFL Journal*, 5(4).
Offers case study evidence for vocabulary retention via games in EFL contexts.
5.Lee, W. R. (1996). *Language Teaching Games and Contests*. Oxford University Press.
Practical resource on classroom language games with pedagogical commentary.
6. Richards, J. C., & Amato, P. A. (1988). *Approaches and Methods in Language Teaching*. Cambridge University Press.
Discusses communicative language teaching and the use of activities for meaningful learning.
7. Laufer, B. (1997). The Lexical Plight in Second Language Reading. In J. Coady & T. Huckin (Eds.), *Second Language Vocabulary Acquisition: A Rationale for Pedagogy* (pp. 20–34). Cambridge University Press.
Focuses on the essential role of vocabulary in language comprehension and production.
8.Freeman, D. L. (1986). *Techniques and Principles in Language Teaching*. Oxford University Press.
Outlines principles behind communicative language teaching and the role of interaction.
9.Hansen, L. (1994). Retention of Implicit and Explicit Knowledge of a Second Language. *Studies in Second Language Acquisition*, 16(3), 349–382.
Discusses the psychological mechanisms behind language learning and memory.
10.Channell, J. (1998). *Vocabulary in Language Teaching*. Cambridge University Press.
Advocates for more focused vocabulary instruction in language pedagogy.
11.Abdikhah, S. (1998). *Games in Language Learning*. Tehran: Rahnama Publications.
Highlights the psychological benefits of using games for shy or hesitant learners.

EFFECTIVE TEACHING IN AZERBAIJANI SCHOOLS: FACTORS INFLUENCING PROFESSIONAL PRACTICE

KONUL MIKAYILOVA
Graduate of ASPU–GWU Dual Degree Program
Education Management and Human Development and Leadership (2023–2025)
email: konulmikayilovar@gmail.com
Sumgayit, Azerbaijan

Abstract
Teaching in contemporary educational settings is increasingly influenced by technological developments, changing student expectations, and evolving educational priorities. These changes require teachers to adopt more flexible, responsive, and student-oriented approaches to maintain effective learning environments.
This paper draws on existing literature to explore the key factors that shape effective teaching in Azerbaijani schools, with a particular focus on professional practice. Drawing on existing literature, the study analyses the role of student-centred teaching, continuous professional development, administrative support, and the integration of information and communication technologies (ICT).
The findings indicate that effective teaching is not determined by a single method but emerges from the interaction between pedagogical strategies, teacher experience, and institutional conditions. While student-centred approaches enhance engagement and participation, their successful implementation depends on supportive school environments and access to resources.
The paper argues that strengthening these interconnected factors is essential for improving teaching quality and ensuring that educational practices remain relevant in a rapidly changing context.
Keywords*: effective teaching, professional practice, student-centred learning, Azerbaijan, ICT in education*

Introduction

Teaching in the twenty-first century is shaped by rapid technological advancement, globalisation, and changing expectations of learners. The widespread availability of information through digital platforms has transformed how students access and process knowledge, making traditional teaching approaches less effective in maintaining attention and engagement. As a result, teachers are increasingly expected to move beyond the role of knowledge providers and become facilitators of learning who guide, support, and motivate students.

At the same time, modern education places greater emphasis on developing critical thinking, independence, and adaptability. These priorities require a shift towards more interactive and student-centred teaching approaches, where learners actively participate in the educational process. However, implementing such approaches depends not only on teachers' skills but also on the broader educational environment in which they work.

In this context, understanding what makes teaching effective has become an important issue for both researchers and practitioners. Effective teaching is no longer defined solely by subject knowledge but also by the ability to respond to diverse learning needs, integrate technology, and engage in continuous professional development.

This paper explores the factors that influence effective teaching in Azerbaijani schools, with a particular focus on professional practice. It aims to identify the key elements that support teaching effectiveness and to examine how these elements interact within contemporary educational settings.

Methodology

This study is based on a review of selected academic literature related to effective teaching and professional practice. The sources were analysed to identify recurring themes and key factors that contribute to teaching effectiveness.

A literature-based approach allows for the comparison of different perspectives and supports a more comprehensive understanding of the topic. The analysis focuses on how the identified factors interact and influence teaching practices in contemporary educational contexts.

Findings and Discussion

1. Student-Centred Teaching as a Foundation of Effectiveness

One of the central themes in the literature is the transition from teacher-centred to student-centred teaching. Traditional approaches, where the teacher dominates the classroom and students remain passive, may limit engagement and reduce learning effectiveness [1].

In contrast, student-centred approaches encourage active participation, collaboration, and responsibility for learning. Although such environments may appear less structured, they support deeper understanding and more meaningful learning outcomes [2]. This perspective reflects a broader shift in education towards viewing learners as active contributors to the learning process.

2. Continuous Professional Development and Experience

Continuous professional development plays an important role in maintaining teaching effectiveness, as teachers need to respond to ongoing changes in educational practices. Regular participation in training programmes and collaboration with colleagues support professional growth and help improve instructional quality.

Research on teacher retention and professional conditions also suggests that ongoing learning and institutional support contribute to teachers' long-term effectiveness and commitment to the profession [3–8].

At the same time, teaching experience is a key element of professional practice. Through experience, teachers develop a better understanding of classroom dynamics and become more confident in adapting their strategies to different learning situations.

3. The Importance of Administrative Support

Administrative support is another significant factor influencing professional practice. Research shows that teachers who feel supported by school leadership are more likely to remain in the profession and demonstrate higher levels of job satisfaction [3–8].

Supportive school environments not only recognise teachers' efforts but also create conditions that encourage professional growth and collaboration. Access to development opportunities, constructive feedback, and a positive working atmosphere all contribute to strengthening teachers' commitment and enhancing the overall effectiveness of teaching.

4. Integration of Information and Communication Technologies (ICT)

The use of ICT has become an essential aspect of modern teaching. Technology enables teachers to present information in more engaging ways and supports different learning styles.

Studies indicate that ICT integration can enhance student participation and improve learning outcomes [9–12]. It also creates opportunities for more flexible and personalised learning. However, its effectiveness depends on both access to technological resources and teachers' ability to use them appropriately.

5. Responding to Diverse Learning Needs

Effective teaching requires recognising and addressing the diversity of learners. Students differ in their abilities, preferences, and learning styles, which makes it necessary to adopt flexible teaching approaches.

Inclusive practices aim to ensure that all students have equal opportunities to learn. Adapting instruction to meet diverse needs contributes to a more supportive and productive learning environment.

Understanding teacher and student perspectives about their social relationships and the broader social context is necessary for creating inclusive classrooms, which in turn support healthy child development and promote equal opportunities for all students to reach their academic potential and achieve meaningful learning outcomes [13–14].

6. Challenges in Developing Effective Professional Practice

Despite the recognised importance of these factors, their implementation is not always straightforward. Limited access to resources, particularly technology and professional development opportunities, can affect teaching quality. Research indicates that the availability of teaching and learning resources plays a crucial role in ensuring effective instruction, and a lack of such resources can hinder the delivery of quality education. [15-16]

Such challenges highlight the need for broader institutional and policy-level support to ensure that teachers can apply effective practices in different educational contexts. Similarly, studies emphasise that insufficient access to quality educational conditions may limit learners' academic development and reduce opportunities for meaningful participation in society. [16-17]

Conclusion

This paper examined the key factors influencing effective teaching in Azerbaijani schools, with a particular focus on professional practice. The analysis demonstrates that effective teaching cannot be reduced to a single method or approach. Instead, it is shaped by the interaction of multiple factors, including student-centred pedagogy, continuous professional development, teaching experience, administrative support, and the integration of technology.

The findings suggest that an effective teacher is not only knowledgeable in their subject but also adaptable, reflective, and responsive to the needs of diverse learners. Student-centred approaches play a central role in increasing engagement and participation; however, their successful implementation depends on the broader institutional context, including access to resources and supportive school leadership.

In addition, continuous professional development and accumulated teaching experience contribute significantly to the improvement of instructional practices. Teachers who actively engage in learning and reflection are better equipped to respond to changing educational demands. At the same time, administrative support remains a crucial condition that enables teachers to apply innovative methods and sustain motivation in their professional work.

Despite these positive factors, challenges such as limited resources and unequal access to technology may restrict the development of effective teaching practices in certain contexts. Addressing these challenges requires coordinated efforts at both institutional and policy levels.

Overall, effective teaching should be understood as a dynamic and evolving process that requires a balance between individual teacher competencies and systemic support. Strengthening this balance is essential for improving the quality of education and ensuring that teaching practices remain relevant in a rapidly changing world.

References:

[1] Al-Zu'be, A. F. M. (2013). The difference between the learner-centred approach and the teacher-centred approach in teaching English as a foreign language. *Educational Research International.*

[2] Jeanne, S. C. (2009). The Academic Achievement Challenge: What Really Works in the Classroom.

[3] Boyd, D., et al. (2011). The influence of school administrators on teacher retention decisions. *American Educational Research Journal.*

[4] Curtis, C. (2012). Keeping Our Nation's Mathematics Teachers.

[5] Djonko-Moore, C. M. (2016). Teacher attrition and mobility.

[6] Ingersoll, R. M. (2003). Teacher shortages and turnover.
[7] Johnson, S. M., & Birkeland, S. E. (2003). Career decisions of teachers.
[8] Ronfeldt, M., & McQueen, K. (2017). Teacher retention.
[9] Finger, G., & Trinidad, S. (2002). ICTs for learning.
[10] Jorge, C. M. H., et al. (2003). ICT use and perception.
[11] Young, S. C. (2003). ICT in education.
[12] Jamieson-Procter, R., et al. (2013). ICT and student engagement.
[13] DeCuir-Gunby, J. T., & Bindra, V. G. (2022). How does teacher bias influence students? An introduction to the special issue on teachers' implicit attitudes, instructional practices, and student outcomes. Learning and Instruction, 78, 101523. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2021.101523
[14] Starck, J. G., Riddle, T., Sinclair, S., & Warikoo, N. (2020). Teachers are people too: Examining the racial bias of teachers compared to other American adults. Educational Researcher, 49(4), 273–284. https://doi.org/10.3102/0013189X20912758
[15] Mulkeen, A. (2017). Recruiting, retaining secondary school teachers and principals in Sub-Saharan Africa. Washington, DC: World Bank.
[16] UNESCO (2018). Global education monitoring report: Education in a rapidly changing world. Paris: UNESCO.
[17] World Bank (2017). Service delivery indicators: Education and health services in Kenya. Washington, DC: World Bank.

ALİ TƏHSİL MÜƏSSİSƏLƏRİNDƏ SORĞU ƏSASLI GERİBİLDİRİM MEXANİZMLƏRİNİN TƏHSİL KEYFİYYƏTİNƏ TƏSİRİNİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ
EVALUATION OF THE IMPACT OF SURVEY-BASED FEEDBACK MECHANISMS ON THE QUALITY OF EDUCATION IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

DÜRDANƏ ƏLİYEVA
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Cəlilabad, Azərbaycan
durdanaaliyeva23@gmail.com

Xülasə: Bu tədqiqat ali təhsil müəssisələrində sorğu əsaslı geribildirim mexanizmlərinin təhsil keyfiyyətinin artırılmasında rolunu və effektivliyini qiymətləndirməyə həsr olunmuşdur. Tədqiqat analitik-təsviri yanaşma əsasında hazırlanmış və ali təhsil mühitində müxtəlif dövrlərdə aparılmış tələbə sorğularının nəticələrinin təhlilinə əsaslanmışdır. Araşdırma çərçivəsində sorğuların nəticələrinin qərarvermə prosesinə təsiri və tədris keyfiyyətində yaratdığı dəyişikliklər analiz edilmişdir. Nəticələr göstərir ki, sorğular keyfiyyət təminatı sistemində mühüm alət olsa da, onların real təsiri əsasən əldə olunan məlumatların necə istifadə olunmasından asılıdır.
Açar sözlər: ali təhsil, keyfiyyət təminatı, tələbə sorğuları, geribildirim, təhsil keyfiyyəti
Abstract: This study is devoted to evaluating the role and effectiveness of survey-based feedback mechanisms in improving the quality of education in higher education institutions. The research is based on an analytical-descriptive approach and relies on the analysis of student survey results conducted at different periods within the higher education environment. Within the scope of the study, the impact of survey results on decision-making processes and the changes they have brought about in teaching quality were examined. The findings indicate that although surveys are an important tool in quality assurance systems, their real impact largely depends on how the collected data are utilized.
Keywords: higher education, quality assurance, student surveys, feedback, quality of education

GİRİŞ

Tədqiqat sualı: Sorğu əsaslı geribildirim mexanizmləri ali təhsil müəssisələrində keyfiyyətin real artırılmasına xidmət edirmi, yoxsa formal idarəetmə aləti kimi qalır?

Müasir ali təhsil sistemində keyfiyyət təminatı mexanizmləri universitetlərin fəaliyyətinin ayrılmaz tərkib hissəsinə çevrilmişdir. Qloballaşma, rəqabət mühitinin güclənməsi və akkreditasiya tələblərinin artması ali təhsil müəssisələrini daha şəffaf və hesabatlı idarəetmə sistemləri qurmağa vadar edir. Bu kontekstdə sorğu əsaslı geribildirim mexanizmləri tələbə və digər maraqlı tərəflərin fikirlərinin öyrənilməsi üçün geniş istifadə olunur.

Tələbə sorğuları tədris prosesinin keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi, müəllim fəaliyyətinin təhlili və institusional inkişaf strategiyalarının formalaşdırılması baxımından mühüm informasiya mənbəyi hesab olunur. Lakin mövcud tədqiqatlar göstərir ki, bu mexanizmlərin effektivliyi birmənalı deyil və bir çox hallarda onların tətbiqi formal xarakter daşıyır.

Bu baxımdan, tədqiqatın məqsədi sorğu əsaslı geribildirim mexanizmlərinin ali təhsil müəssisələrində təhsil keyfiyyətinə real təsirini qiymətləndirməkdir.

METODOLOGİYA

Ali təhsildə sorğu əsaslı geribildirim mexanizmlərinin effektivliyi ilə bağlı ədəbiyyatda iki əsas yanaşma mövcuddur.

Birinci yanaşmaya görə, tələbə sorğuları tədrisin keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi və təkmilləşdirilməsi üçün effektiv alət hesab olunur. Bu yanaşmanı müdafiə edən tədqiqatçılar qeyd edirlər ki, tələbələr təhsil prosesinin əsas iştirakçıları kimi tədrisin keyfiyyəti barədə birbaşa və dəyərli məlumat təqdim edə bilirlər. Bu baxımdan sorğular institusional qərarvermə üçün mühüm informasiya mənbəyi rolunu oynayır.

İkinci yanaşma isə sorğuların etibarlılığına tənqidi yanaşır. Bu mövqeyə görə, tələbə məmnuniyyəti subyektiv amillərdən, o cümlədən qiymətləndirmə nəticələrindən və şəxsi gözləntilərdən asılı olaraq dəyişə bilər. Nəticədə, sorğular hər zaman tədrisin real keyfiyyətini obyektiv şəkildə əks etdirməyə bilər.

Müasir yanaşmalarda sorğular yalnız məlumat toplama aləti kimi deyil, həm də davamlı təkmilləşdirmə dövrünün bir hissəsi kimi nəzərdən keçirilir. Bu kontekstdə əsas məsələ geribildirimin real dəyişikliklərə çevrilməsidir.

Bu tədqiqat analitik-təsviri yanaşma əsasında hazırlanmış və təcrübəyə əsaslanmışdır. Araşdırma çərçivəsində fəaliyyət göstərilən ali təhsil mühitində müxtəlif dövrlərdə tələbələr arasında aparılmış sorğuların nəticələri ümumiləşdirilmiş və təhlil edilmişdir.

Araşdırma çərçivəsində 2022–2025-ci illər ərzində müxtəlif ixtisasları əhatə edən sorğuların nəticələri nəzərdən keçirilmişdir. Bu sorğular tədris keyfiyyəti, müəllim fəaliyyəti və təşkilati məsələləri əhatə etmişdir.

Tədqiqat zamanı tələbələrin rəy və təklifləri analiz olunmuş, eyni zamanda bu geribildirimlər əsasında qəbul edilmiş qərarlar və onların tədris prosesinə təsiri müşahidə edilmişdir. Bundan əlavə, təhlili dəstəkləmək məqsədilə müvafiq institusional sənədlər, o cümlədən daxili hesabatlar və keyfiyyət təminatı materialları nəzərdən keçirilmişdir.

TƏHLİL NƏTİCƏLƏRİ VƏ DİSKUSSİYA

Təhlil nəticəsində aşağıdakı əsas məqamlar müəyyən edilmişdir:

1. **İlkin mərhələdə formal yanaşma:** Sorğulara həm tələbələr, həm də idarəetmə səviyyəsində ilkin mərhələdə formal yanaşma müşahidə edilmişdir.
2. **Geribildirimin qərarverməyə inteqrasiyası:** Sonrakı mərhələdə tələbə rəyləri qərarvermə prosesində nəzərə alınmış və bu, tədris prosesində konkret dəyişikliklərlə nəticələnmişdir.
3. **Davranış dəyişikliyi:** Tələbələr öz rəylərinin real nəticələrə səbəb olduğunu müşahidə etdikdən sonra sorğulara daha ciddi yanaşmağa başlamışlar.
4. **Etimadın formalaşması:** Sorğuların təsirli olması tələbələrdə institusional etimadın artmasına gətirib çıxarmışdır.
5. **Dövri təsir mexanizmi:** Geribildirim mexanizmlərinin effektivliyinin xətti deyil, "geribildirim–qərar–dəyişiklik–etimad" zənciri əsasında formalaşdığı müəyyən edilmişdir.

Əldə olunan nəticələr göstərir ki, sorğu əsaslı geribildirim mexanizmləri potensial olaraq effektiv alət olsa da, onların real təsiri institusional yanaşmadan asılıdır. Sorğular yalnız formal hesabat məqsədilə istifadə edildikdə onların keyfiyyətə təsiri məhdud qalır.

Tədqiqat göstərir ki, geribildirimin effektivliyi yalnız məlumatın toplanması ilə deyil, onun sistemli təhlili, şəffaf paylaşılması və konkret qərarlarla nəticələnməsi ilə bağlıdır.

Eyni zamanda, əldə olunan nəticələr ədəbiyyatda mövcud olan iki yanaşmanı uzlaşdırır: sorğular müəyyən məhdudiyyətlərə malik olsa da, düzgün tətbiq olunduqda təhsil keyfiyyətinin artırılmasına real töhfə verə bilər.

Tövsiyələr

- Sorğu nəticələrinin sistemli təhlil mexanizmləri gücləndirilməlidir
- Tələbələrə geribildirim nəticələri barədə məlumat verilməlidir
- Qərarvermə prosesində şəffaflıq artırılmalıdır
- Sorğuların keyfiyyəti və etibarlılığı yüksəldilməlidir

Tədqiqatın məhdudiyyətləri

Bu tədqiqat bir institusional mühit çərçivəsində aparılmış və təcrübəyə əsaslanan təhlilə söykənmişdir. Məlumatlar sistemli empirik tədqiqat dizaynı əsasında toplanmadığı üçün nəticələr ümumiləşdirilmiş xarakter daşıyır.

NƏTİCƏ

Tədqiqat göstərir ki, sorğu əsaslı geribildirim mexanizmləri yalnız məlumat toplama aləti deyil, həm də institusional davranış və iştirakçılıq mədəniyyətini formalaşdıran mühüm vasitədir. Bu mexanizmlərin effektivliyi onların nəticələrinin qərarvermə prosesinə inteqrasiyası ilə birbaşa bağlıdır. Əks halda, sorğular formal xarakter daşıyaraq keyfiyyət təminatı prosesinə real töhfə vermir.

Ədəbiyyat

[9] Harvey, L. (2003). Student feedback. *Quality in Higher Education, 9*(1), 3–20.
[10] Ramsden, P. (2003). *Learning to teach in higher education* (2nd ed.). Routledge.
[11] Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for quality learning at university* (4th ed.). Open University Press.
[12] University internal documents. (2022–2025). *Quality assurance reports and student survey results* [Unpublished institutional documents].

AI INTEGRATION IN ELT: TRANSFORMING PEDAGOGY THROUGH BLOOM'S TAXONOMY AND THE FLIPPED CLASSROOM MODEL

IRADA MAMMADOVA
Department of Foreign Languages
Baku Engineering University,
Baku, Azerbaijan
imemmedova@beu.edu.az

Abstract: *The rapid integration of technology in education has prompted educators globally to explore innovative pedagogical approaches that enhance student learning outcomes. In English Language Teaching (ELT), the shift from conventional teacher-centered pedagogies—which often do not favor active student interaction—towards technology-enhanced models is becoming a necessity for digital transformation. This article provides an extensive and comprehensive analysis of the integration of Artificial Intelligence (AI) through the dual lens of Bloom's Taxonomy and the Flipped Classroom model. The study explores how AI-driven tools, ranging from adaptive learning platforms to immersive metaverse environments, can significantly improve student performance, levels of engagement, and self-regulated learning in higher education settings. By examining the synergy between these frameworks, the paper offers a practical roadmap for educators to implement digital tools even in resource-constrained environments while maintaining high pedagogical standards. The findings suggest that AI-supported flipped classrooms significantly outperform traditional models in both cognitive retention and linguistic fluency, offering a 24/7 personalized support system that caters to diverse learner needs.*

Keywords: *Artificial Intelligence, ELT, Bloom's Taxonomy, Flipped Classroom, Student Engagement, Digital Transformation, Immersive Learning, Higher Education.*

1. Introduction

The global educational landscape is undergoing a radical and irreversible shift due to the emergence of Artificial Intelligence (AI) and immersive technologies. Traditional English Language Teaching (ELT) methods, particularly in post-Soviet and developing educational contexts, have historically relied on the "sage on the stage" approach. In this model, the instructor remains the primary source of information, leading to passive student roles and limited opportunities for authentic language production. However, empirical evidence from modern linguistic studies suggests that this model is increasingly ineffective in the digital age, especially in regions facing high classroom sizes and resource scarcity.

The necessity for a digital transformation in pedagogy is no longer a matter of choice; it is a prerequisite for preparing a competitive, globally-oriented workforce. The Flipped Classroom (FC) model has emerged as a cornerstone of this transformation. By reversing the traditional lecture-homework cycle, it prioritizes active learning during face-to-face sessions. When integrated with AI, the FC model becomes a dynamic, adaptive system capable of addressing individual student needs in real-time. This article examines how this integration aligns with Bloom's Taxonomy to foster higher-order thinking skills, particularly in the context of Azerbaijani higher education at institutions.

2. The Theoretical Framework: The Flipped Classroom Model

The fundamental principle of the Flipped Classroom is to move direct instruction from the collective learning space to the individual learning space. In an ELT context, this means that grammar explanations, vocabulary introductions, and basic comprehension tasks happen at home via digital platforms, while precious class time is reserved for high-level communication, debates, and collaborative projects.

2.1. AI as an Engine for Personalization

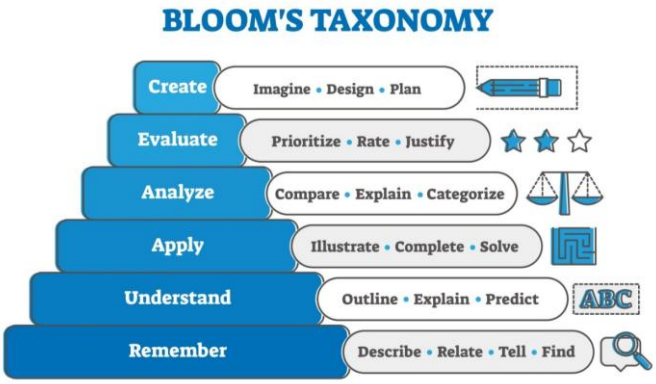
AI significantly enhances the Flipped Classroom by providing "Adaptive Content Delivery." Unlike static video lectures, AI-driven platforms can modify the difficulty of a task based on the student's previous answers. This ensures that the student is always learning in their "Zone of Proximal Development." For example, if a student demonstrates mastery over basic verb tenses in a pre-class AI module, the system automatically introduces more complex conditional structures, ensuring no time is wasted on redundant information.

2.2. Self-Regulated Learning (SRL) and Student Agency

Self-regulated learning is a critical psychological component of success in foreign language acquisition. AI tools enable students to monitor their progress through visual dashboards, instant feedback loops, and personalized goals. Studies conducted in similar educational environments indicate that when students take ownership of their learning pace—viewing AI as a tool they control rather than a system that controls them—their engagement metrics increase by an average of 15-20%. In environments where teacher-to-student ratios are high, AI acts as a 24/7 personal tutor, providing the necessary scaffolding for students to master basic concepts before entering the physical classroom.

3. Strategic Alignment with Bloom's Taxonomy

To maximize the impact of AI in ELT, it must be strategically aligned with the cognitive levels of Bloom's Taxonomy. This alignment ensures that technology serves a pedagogical purpose rather than being used for its own sake.



3.1. Lower-Order Thinking Skills (LOTS): Remembering and Understanding

In the flipped phase, AI-powered tools are exceptionally effective at the base of the pyramid.

Remembering: AI flashcard systems (such as Anki or Quizlet) use spaced repetition algorithms to ensure long-term vocabulary retention.

Understanding: AI-driven video lectures can be supplemented with automated interactive quizzes that clarify meanings of complex idioms or grammatical structures. This removes the "passive listener" barrier, as students must interact with the content to progress.

3.2. Middle-Order Thinking Skills (MOTS): Applying and Analyzing

Once students enter the classroom, the focus shifts to the middle of the pyramid.

Applying: Students use the language patterns acquired at home in real-world role-plays or collaborative problem-solving tasks. AI tools like real-time pronunciation evaluators provide immediate data for corrective application.

Analyzing: Students can use AI to analyze large sets of language data (corpora) to identify stylistic differences between academic and colloquial English. This stage transitions students from rote memorization to functional, analytical literacy.

3.3. Higher-Order Thinking Skills (HOTS): Evaluating and Creating

At the pinnacle of Bloom's Taxonomy—"Evaluating" and "Creating"—the instructor's role becomes absolutely central. At this level, AI is merely a technical assistant, while the instructor acts as a strategist and digital mentor.

Evaluating: The Instructor as a Critical Guide While AI can generate a text in seconds, the ability to evaluate that text for linguistic accuracy, ethical considerations, and cultural nuance is a human skill.

Instructor-Led Analysis: The teacher guides students to peer-review AI-generated content, teaching them to identify "hallucinations" or logical gaps. This process teaches students not to follow AI blindly but to use their linguistic knowledge to critique and improve digital output.

Cultural Expertise: The instructor moves beyond the dry logic of AI to explain the emotional and cultural weight of specific phrases, helping students evaluate if a digital suggestion is truly appropriate for a specific social context.

Creating: Instructor-Guided Creative Production The "Creating" stage is the ultimate goal of ELT. Here, the instructor is the "scriptwriter" of the learning experience.

Mentorship in Digital Narratives: The instructor designs complex projects, such as research papers or digital stories. AI may provide an initial outline or help with technical formatting, but the creative direction and the final linguistic choices are made by the student under the instructor's mentorship.

Moderating Immersive Simulations: In Metaverse environments (such as virtual international summits), the instructor acts as a moderator. They set the challenges and guide the students through real-world problem-solving scenarios. This instructor-led "mimesis" (imitation and internalization) allow students to practice high-level communication in a safe yet demanding professional simulation.

4. Addressing Implementation Barriers

Successful integration requires addressing local challenges. In regions with internet instability or "load shedding," instructors must be creative, providing offline AI modules or mobile-first solutions. Furthermore, institutional support is vital. Universities must recognize that while AI reduces the time spent on lecturing, it increases the time required for high-quality pedagogical design and individual student mentorship.

5. Conclusion

AI integration into the ELT framework provides profound opportunities for academic excellence. However, the technology is only as effective as the pedagogy behind it. By automating lower-level cognitive tasks, we allow the instructor to focus on the human side of teaching—fostering critical thought, empathy, and creative expression. The future of ELT is a synergy where AI provides the efficiency, but the teacher provides the wisdom and the strategy.

References

1. Bergmann, J., & Sams, A. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day.* International Society for Technology in Education.
2. Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
3. Garrison, D. R., & Kanuka, H. (2004). Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education. *The Internet and Higher Education*, 7(2), 95-105.
4. Hattie, J. (2008). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement.* Routledge.

5. Luckin, R. (2018). *Machine learning and human intelligence: The future of education in the 21st century*. UCL Press.
6. Mansoor, S. (2021). *Traditional versus progressive pedagogy: Perspectives from Pakistan.* Oxford University Press.
7. PwC (2019). *Seeing is believing: How VR and AR will transform business and the economy.* PricewaterhouseCoopers.
8. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes.* Harvard University Press.
9. Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64-70.

İBTİDAİ SİNİFLƏRDƏ OXU DƏRSLƏRİ VASİTƏSİLƏ NİTQ İNKİŞAFININ FORMALAŞDIRILMASI

KÖNÜL ZAUR QIZI ŞIXƏLIYEVA
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Məktəbəqədər təhsilin pedaqogikası/Pedaqogika
Bakı,Azərbaycan
konul.eliyeva.17@mail.ru
0009-0001-2641-985X

Xülasə

Bu məqalədə ibtidai siniflərdə oxu dərsləri vasitəsilə şagirdlərin nitq inkişafının formalaşdırılması məsələləri araşdırılır. Oxu prosesi yalnız mətnin qavranılması ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda şagirdlərin şifahi və yazılı nitq bacarıqlarının inkişafında mühüm rol oynayır. Məqalədə oxu dərslərində istifadə olunan metod və strategiyaların nitq inkişafına təsiri təhlil edilir. Dialoq, sual-cavab, mətnin müzakirəsi və ifadəli oxu kimi fəaliyyətlərin şagirdlərin söz ehtiyatını artırdığı və fikirlərini daha düzgün ifadə etməyə kömək etdiyi vurğulanır. Nəticə olaraq, oxu dərslərinin məqsədyönlü təşkili nitq bacarıqlarının inkişafında effektiv vasitə kimi qiymətləndirilir.

Açar sözlər*: oxu dərsləri, nitq inkişafı, ibtidai siniflər, söz ehtiyatı, kommunikativ bacarıqlar.*

Giriş.

İbtidai siniflərdə tədris prosesinin əsas məqsədlərindən biri şagirdlərin nitq bacarıqlarının inkişaf etdirilməsidir. Nitq insanın fikirlərini ifadə etməsi, ünsiyyət qurması və ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqədə olması üçün əsas vasitədir. Bu baxımdan, oxu dərsləri şagirdlərin nitq inkişafında xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Oxu prosesi yalnız mətnin oxunması və başa düşülməsi ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda şagirdlərin söz ehtiyatının zənginləşdirilməsi, düzgün cümlə qurma bacarıqlarının formalaşdırılması və fikirlərin ardıcıl ifadə edilməsi üçün mühüm imkanlar yaradır.

Müasir təhsil yanaşmalarında oxu dərsləri interaktiv metodlarla təşkil edilir və bu da şagirdlərin fəallığını artırır. Sual-cavab, müzakirə, ifadəli oxu və mətn üzərində fikir bildirmə kimi fəaliyyətlər onların şifahi nitqini inkişaf etdirir. Eyni zamanda, oxu dərsləri şagirdlərin düşünmə qabiliyyətini stimullaşdıraraq, analitik və yaradıcı düşüncənin formalaşmasına şərait yaradır. Bu baxımdan, oxu dərslərinin düzgün təşkili ibtidai sinif şagirdlərinin nitq inkişafında mühüm rol oynayır və onların gələcək təhsil uğurlarına zəmin yaradır.

Tədqiqat metodu.

Bu tədqiqatda ibtidai siniflərdə oxu dərsləri vasitəsilə şagirdlərin nitq inkişafının formalaşdırılması prosesini öyrənmək üçün təsviri və analitik tədqiqat metodlarından istifadə edilmişdir. Təsviri metod vasitəsilə oxu dərslərinin təşkili, tətbiq olunan fəaliyyət növləri (ifadəli oxu, sual-cavab, mətnin müzakirəsi və s.) araşdırılmış, analitik metodla isə bu fəaliyyətlərin şagirdlərin nitq bacarıqlarına təsiri təhlil edilmişdir. Eyni zamanda pedaqoji müşahidə və müqayisə metodları da tətbiq olunaraq müxtəlif siniflərdə oxu

dərslərinin təşkili formaları müqayisə edilmişdir. Bu yanaşma şagirdlərin söz ehtiyatının artması, fikrin ardıcıl ifadəsi və kommunikativ bacarıqlarının inkişafı baxımından effektiv nəticələr əldə etməyə imkan vermişdir. Vygotsky-nin sosial interaksiyaya əsaslanan inkişaf nəzəriyyəsinə görə, uşaqların dil və nitq bacarıqları sosial mühitdə ünsiyyət vasitəsilə formalaşır [1]. Bu yanaşma oxu dərslərində aparılan müzakirə və dialoq fəaliyyətlərinin şagird nitqinin inkişafında mühüm rol oynadığını təsdiqləyir. **Məncə, bu fikir oxu dərslərinin yalnız oxuma bacarığı deyil, eyni zamanda ünsiyyət və düşünmə qabiliyyətini inkişaf etdirən mühüm pedaqoji vasitə olduğunu elmi şəkildə əsaslandırır.** İbtidai siniflərdə oxu dərsləri şagirdlərin nitq inkişafında mühüm rol oynayır və bu proses sistemli pedaqoji yanaşma tələb edir. Oxu zamanı şagirdlər yeni sözlərlə tanış olur, onların mənasını kontekstdə dərk edir və bu sözləri nitqdə istifadə etməyi öyrənirlər. Bu, söz ehtiyatının zənginləşməsinə və fikirlərin daha düzgün ifadə olunmasına şərait yaradır. Eyni zamanda, ifadəli oxu və mətnin şərhi şagirdlərin şifahi nitq bacarıqlarını gücləndirir.

Tomlinson [2] qeyd edir ki, diferensial təlim yanaşması şagirdlərin fərdi xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla onların öyrənmə və kommunikativ bacarıqlarını inkişaf etdirir. **Məncə, bu fikir oxu dərslərində müxtəlif səviyyəli tapşırıqların verilməsinin vacibliyini əsaslandırır və hər bir şagirdin nitq inkişafına fərdi yanaşmanın effektiv olduğunu göstərir.** Digər tərəfdən, Piaget [3] idrak inkişafı nəzəriyyəsində uşaqların düşünmə prosesinin mərhələli şəkildə formalaşdığını vurğulayır. Onun fikrinə görə, uşaqlar aktiv öyrənmə və təcrübə vasitəsilə bilikləri daha yaxşı mənimsəyirlər. **Bu yanaşma mənim fikrimcə oxu dərslərində praktik fəaliyyətlərin, müzakirələrin və sual-cavab metodlarının tətbiqinin nə qədər vacib olduğunu elmi şəkildə izah edir, çünki bu fəaliyyətlər şagirdlərin həm düşünmə, həm də nitq bacarıqlarını eyni zamanda inkişaf etdirir.**

Nəticə

İbtidai siniflərdə oxu dərsləri şagirdlərin nitq inkişafının formalaşmasında mühüm rol oynayır. Bu dərslər vasitəsilə şagirdlər düzgün, aydın və məntiqi danışıq bacarıqlarına yiyələnir, söz ehtiyatlarını zənginləşdirir və fikirlərini sərbəst ifadə etməyi öyrənirlər. Oxu materiallarının düzgün seçilməsi, müəllimin məqsədyönlü fəaliyyəti və müxtəlif interaktiv metodların tətbiqi nitqin inkişafını daha da sürətləndirir. Eyni zamanda, oxu prosesində mətnin təhlili, müzakirəsi və yenidən ifadə olunması şagirdlərin həm şifahi, həm də yazılı nitq bacarıqlarının inkişafına şərait yaradır. Beləliklə, oxu dərsləri ibtidai təhsil mərhələsində şagirdlərin hərtərəfli nitq inkişafının əsas vasitələrindən biri kimi çıxış edir və onların gələcək təhsilində uğurlu ünsiyyət qurmasına zəmin yaradır.

Ədəbiyyat siyahısı

[1] Lev Vygotsky. Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.

[2] Carol Ann Tomlinson. The Differentiated Classroom: Responding to the Needs of All Learners. 2nd ed., Alexandria, VA: ASCD, 2014.

[3] Jean Piaget. Science of Education and the Psychology of the Child. New York: Orion Press, 1970.

İBTİDAİ SİNİF ŞAGİRDLƏRİNİN OXU BACARIQLARININ İNKİŞAFINDA MÜƏLLİMİN ROLU

NURAY ANAR QIZI RZA
BQU-nun I kurs magistrantı
nurayrza04@gmail.com

Xülasə

Məqalədə ibtidai sinif şagirdlərinin oxu bacarıqlarının formalaşdırılmasında müəllimin rolu geniş şəkildə təhlil olunur. Qeyd edilir ki, oxu bacarığı yalnız texniki oxu deyil, həm də mətnin dərk edilməsi, təhlili və şərh olunması ilə bağlı kompleks bir prosesdir. Bu baxımdan ibtidai təhsil mərhələsi şagirdlərin oxu vərdişlərinin inkişafı üçün həlledici əhəmiyyət daşıyır.

Tədqiqatda müəllimin oxuya motivasiya yaratmaq, diferensial yanaşmanı tətbiq etmək, oxu texnikasını formalaşdırmaq və müasir təlim metodlarından istifadə etmək kimi əsas funksiyaları vurğulanır. Eyni zamanda, qiymətləndirmə və əks-əlaqənin, eləcə də mətn üzərində işin şagirdlərin analitik düşünmə qabiliyyətinin inkişafına təsiri qeyd olunur.

Məqalədə həmçinin müəllimin peşəkar hazırlığı, pedaqoji ustalığı və valideynlərlə əməkdaşlığının oxu bacarıqlarının inkişafına müsbət təsir göstərdiyi əsaslandırılır. Nəticə etibarilə, müəllimin məqsədyönlü və şagirdyönümlü fəaliyyəti ibtidai sinif şagirdlərində oxu bacarıqlarının səmərəli formalaşmasının əsas şərti kimi qiymətləndirilir.

Açar sözlər: *İbtidai təhsil, oxu bacarığı, müəllimin rolu, motivasiya, diferensial təlim, qiymətləndirmə.*

İbtidai təhsil mərhələsi şagirdlərin həm idrak, həm də şəxsiyyət baxımından formalaşmasında mühüm rol oynayır. Bu mərhələdə əldə olunan bilik, bacarıq və vərdişlər onların gələcək təhsil həyatının əsasını təşkil edir. Bu baxımdan oxu bacarığı ibtidai təhsilin ən vacib komponentlərindən biri kimi çıxış edir.

Oxu yalnız hərflərin və sözlərin səsləndirilməsi deyil, həm də mətnin məzmununun dərk edilməsi, təhlili, müqayisəsi və şərh olunması prosesidir. Müasir pedaqoji yanaşmalar oxunu şagirdin düşünmə, analiz etmə və nəticə çıxarma qabiliyyətləri ilə sıx əlaqələndirir.

Bu səbəbdən ibtidai siniflərdə oxu bacarıqlarının formalaşdırılması məqsədyönlü və sistemli şəkildə həyata keçirilməlidir. Bu prosesdə müəllimin rolu xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Müəllim yalnız bilik ötürən deyil, həm də şagirdin inkişafını istiqamətləndirən, onun potensialını üzə çıxaran əsas fiqurdur.

Oxuya motivasiyanın formalaşdırılması

Oxu bacarığının inkişafı ilk növbədə şagirdin oxuya olan marağından asılıdır. Maraq olmadıqda oxu prosesi mexaniki xarakter daşıyır və istənilən nəticəni vermir. Buna görə də müəllimin əsas vəzifələrindən biri şagirdlərdə oxuya qarşı müsbət motivasiya yaratmaqdır.

Müəllim dərs prosesində yaş səviyyəsinə uyğun, məzmun baxımından maraqlı və düşündürücü mətnlərdən istifadə etməlidir. Nağıllar, hekayələr, şeirlər və dialoqlar şagirdlərin diqqətini cəlb edir və onların oxuya olan həvəsini artırır. Oyun elementlərinin və interaktiv üsulların tətbiqi isə oxu fəaliyyətini daha cəlbedici edir.

Bununla yanaşı, sinifdənkənar mütaliənin təşkili, kitab müzakirələri və təqdimatlar şagirdlərdə davamlı oxu vərdişlərinin formalaşmasına kömək edir.

Fərdi yanaşma və diferensial təlim

İbtidai sinif şagirdləri fərqli idrak və psixoloji xüsusiyyətlərə malikdirlər. Bu fərqlər onların oxu sürətində, mətnin qavranılmasında və yadda saxlanılmasında özünü göstərir. Bu səbəbdən müəllim təlim prosesində diferensial yanaşmanı tətbiq etməlidir.

Zəif oxuyan şagirdlərlə əlavə məşğələlər təşkil edilməli, onlar üçün daha sadə və anlaşılan mətnlər seçilməlidir. Güclü şagirdlər üçün isə daha mürəkkəb və analitik düşünmə tələb edən tapşırıqlar təqdim olunmalıdır.

Bu yanaşma şagirdlərin fərdi inkişaf tempini nəzərə almağa imkan verir, onların özünə inamını artırır və təlim prosesində fəal iştirakını təmin edir.

Oxu texnikasının formalaşdırılması

Oxu bacarığının mühüm komponentlərindən biri düzgün oxu texnikasıdır. Bu texnikaya düzgün tələffüz, intonasiya, vurğu, fasilələrə riayət və məna üzrə oxu daxildir.

Müəllim bu sahədə nümunəvi rol oynayaraq şagirdlərə düzgün oxunun necə həyata keçirildiyini göstərməlidir. Şagirdlərin oxu zamanı etdikləri səhvlər vaxtında düzəldilməli və onlara fərdi tövsiyələr verilməlidir.

Ucadan oxu, səssiz oxu, rollu oxu və zəncirvari oxu kimi metodlar şagirdlərin həm texniki, həm də məzmun üzrə oxu bacarıqlarının inkişafına müsbət təsir göstərir. Xüsusilə ifadəli oxu şagirdlərin nitq mədəniyyətinin və emosional ifadə qabiliyyətinin inkişafında mühüm rol oynayır.

Müasir təlim metod və texnologiyalarının tətbiqi

Müasir təhsil mühiti innovativ yanaşmaların tətbiqini tələb edir. Oxu bacarıqlarının inkişafında interaktiv metodların istifadəsi şagirdlərin fəallığını artırır və onların dərs prosesinə daha aktiv qoşulmasını təmin edir.

Sual-cavab, müzakirə, beyin həmləsi, problemli situasiyalar, klaster və konsept xəritələri kimi metodlar şagirdlərin düşünmə və analiz etmə bacarıqlarını inkişaf etdirir. Bu metodlar vasitəsilə şagirdlər yalnız oxumaqla kifayətlənmir, həm də oxuduqlarını dərk edir və şərh edirlər.

İnformasiya-kommunikasiya texnologiyalarının tətbiqi də oxu prosesini daha effektiv edir. Elektron resurslar, audio və video materiallar, interaktiv tapşırıqlar şagirdlərin marağını artırır və onların öyrənmə prosesini asanlaşdırır.

Oxu bacarıqlarının inkişafında qiymətləndirmə və əks-əlaqənin rolu

Oxu bacarıqlarının formalaşdırılması prosesində qiymətləndirmə mühüm yer tutur. Qiymətləndirmə yalnız şagirdin nailiyyətlərini ölçmək üçün deyil, həm də onun inkişaf istiqamətlərini müəyyənləşdirmək üçün istifadə olunmalıdır. Bu baxımdan formativ qiymətləndirmə xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Müəllim oxu prosesində şagirdlərin fəaliyyətini davamlı olaraq izləməli, onların güclü və zəif tərəflərini müəyyən etməlidir. Oxu sürəti, düzgünlük, ifadəlilik və məzmunun qavranılması kimi göstəricilər qiymətləndirmənin əsas meyarlarını təşkil edir.

Əks-əlaqə şagirdlərin inkişafında mühüm rol oynayır. Müəllim şagirdlərə konkret və aydın tövsiyələr verməli, onların səhvlərini düzgün şəkildə izah etməlidir. Bu zaman tənqidi yanaşma ilə yanaşı, motivasiyaedici ifadələrdən də istifadə olunmalıdır.

Düzgün qurulmuş qiymətləndirmə sistemi şagirdlərin öz inkişafını izləməsinə, özünüqiymətləndirmə bacarıqlarının formalaşmasına və daha məsuliyyətli yanaşmasına şərait yaradır.

Mətn üzərində iş və analitik bacarıqların inkişafı

Oxu bacarığı yalnız texniki proses deyil, həm də mətnin dərk olunmasını və təhlilini əhatə edir. Şagirdlər oxuduqları mətni anlamağı, əsas ideyanı müəyyən etməyi, hadisələr arasında əlaqə qurmağı və nəticə çıxarmağı bacarmalıdırlar.

Müəllim şagirdlərə mətn üzrə müxtəlif tipli suallar verməli, onları müstəqil düşünməyə və fikir bildirməyə təşviq etməlidir. Açıq suallar, müqayisə və ümumiləşdirmə tapşırıqları şagirdlərin analitik düşünmə qabiliyyətini inkişaf etdirir.

Mətnin planının tərtibi, əsas fikrin müəyyən edilməsi və məzmunun yenidən ifadə olunması kimi fəaliyyətlər şagirdlərin həm oxu, həm də nitq bacarıqlarını inkişaf etdirir.

Müəllimin peşəkar hazırlığı və pedaqoji ustalığı

Oxu bacarıqlarının formalaşdırılması müəllimin peşəkar səviyyəsindən birbaşa asılıdır. Müəllim müasir pedaqoji yanaşmaları mənimsəməli, innovativ metodlardan istifadə etməli və daim öz üzərində işləməlidir.

Peşəkar müəllim şagirdlərin fərdi xüsusiyyətlərini düzgün qiymətləndirir, onların ehtiyaclarına uyğun təlim mühiti yaradır və öyrənmə prosesini effektiv şəkildə təşkil edir.

Bundan əlavə, müəllimin kommunikativ bacarıqları, səbrli və dəstəkləyici münasibəti şagirdlərin motivasiyasına və ümumi inkişafına mühüm təsir göstərir.

Ailə və mühit amillərinin oxu bacarıqlarına təsiri

İbtidai sinif şagirdlərinin oxu bacarıqlarının inkişafı yalnız məktəbdə aparılan təlimlə məhdudlaşmır. Bu prosesdə ailə və sosial mühit də mühüm rol oynayır.

Ailədə kitab oxuma mühitinin olması, valideynlərin uşaqlarla birlikdə mütaliə etməsi və onları oxumağa təşviq etməsi şagirdin bu sahədə inkişafına müsbət təsir göstərir. Valideynlərin uşağın oxu fəaliyyətinə maraq göstərməsi onun motivasiyasını artırır və oxu vərdişlərinin möhkəmlənməsinə kömək edir.

Eyni zamanda, müasir dövrdə texnologiyanın təsiri də nəzərə alınmalıdır. Elektron resurslar və rəqəmsal materiallar düzgün istiqamətləndirildikdə oxu bacarıqlarının inkişafına kömək edə bilər. Lakin nəzarətsiz istifadə hallarında bu, əks təsir də göstərə bilər.

Bu baxımdan müəllim və valideyn əməkdaşlığı xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Onların birgə fəaliyyəti şagirdin oxu bacarıqlarının daha effektiv şəkildə inkişaf etməsinə şərait yaradır.

Nəticə etibarilə, ibtidai sinif şagirdlərinin oxu bacarıqlarının inkişafında müəllimin rolu çoxşaxəli və həlledicidir. Müəllim bu prosesdə həm motivasiyaedici, həm istiqamətləndirici, həm də təşkilatçı funksiyanı yerinə yetirir.
Onun tətbiq etdiyi metodlar, fərdi yanaşması və pedaqoji ustalığı oxu bacarıqlarının formalaşmasına birbaşa təsir göstərir. Müasir təhsil tələbləri müəllimdən davamlı inkişafı, yeniliklərə açıq olmağı və şagirdyönümlü yanaşmanı tələb edir.
Yalnız bu halda ibtidai sinif şagirdlərində oxu bacarıqları yüksək səviyyədə formalaşa və onların ümumi inkişafına mühüm töhfə verə bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1) Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi (2013). Ümumi təhsil pilləsinin dövlət standartı və proqramları (kurikulumlar). Bakı.
2) Azərbaycan Respublikası Təhsil İnstitutu (2018). İbtidai təhsil səviyyəsi üzrə Azərbaycan dili fənn kurikulumu. Bakı.
3) Azərbaycan Respublikası Təhsil İnstitutu (2020). İbtidai siniflərdə təlimin təşkili metodikası. Bakı.
4) Əliyar Əliyev (2015). İbtidai siniflərdə Azərbaycan dilinin tədrisi metodikası. Bakı: Elm və Təhsil.
5) Fərrux Rüstəmov (2010). Pedaqogika. Bakı: Nurlan.
6) Əliabbas Abbasov (2016). Təlim nəzəriyyəsi və praktikası. Bakı.
7) Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi (2019). Azərbaycan dili (I–IV siniflər üçün dərsliklər və müəllim üçün vəsaitlər). Bakı.
8) Dövlət İmtahan Mərkəzi (2021). Ümumi təhsil üzrə qiymətləndirmə materialları və metodik tövsiyələr. Bakı.
9) Azərbaycan Müəllimlər İnstitutu (2017). İbtidai siniflərdə oxu və yazı bacarıqlarının inkişafı üzrə metodik vəsait. Bakı.
10) Azərbaycan Respublikası Təhsil İnstitutu (2022). Müasir təlim metodları və pedaqoji texnologiyalar. Bakı

İBTİDAİ SİNİF MÜƏLLİMLİYİNDƏ MÜASİR TƏLİM METODLARININ TƏTBİQİ VƏ MÜƏLLİMİN PEŞƏKAR İNKİŞAFI

Məhbubə Ərziman qızı Məmmədova
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, elmlər doktoru proqramı üzrə dissertant
ORCID: 0009-0009-4916-4982
E-mail: pedagogmm57@gmail.com

Xülasə
Məqalədə ibtidai sinif müəllimliyində müasir interaktiv təlim metodlarının tətbiqi məsələləri araşdırılır. İbtidai təhsil pilləsinin şagird şəxsiyyətinin formalaşmasındakı xüsusi rolu əsaslandırılır, müəllimin pedaqoji ustalığı, yaradıcılığı və peşəkar inkişafının keyfiyyətli təhsilin əsas şərtləri olduğu vurğulanır. Beyin həmləsi, müzakirə, rollu oyun, layihə fəaliyyəti kimi fəal metodların tətbiqi şagirdlərin idrak fəallığını, tənqidi təfəkkürünü və müstəqilliyini inkişaf etdirdiyini göstərir. Bunlarla yanaşı, rəqəmsal texnologiyaların tədrisə inteqrasiyasının müəllimdən davamlı özünüinkişafı tələb etdiyi qeyd olunur. Nəticə etibarilə müasir ibtidai sinif müəlliminin innovativ yanaşmaları şagirdyönümlü fəaliyyəti şərtləndirir və gələcəkdə cəmiyyət üçün yaradıcı, savadlı vətəndaşların yetişdirilməsinə xidmət edir.
Açar sözlər: ibtidai sinif müəllimi, müasir təlim metodları, interaktiv təlim, peşəkar inkişaf, pedaqoji yaradıcılıq, şagirdyönümlü yanaşma.

APPLICATION OF MODERN TEACHING METHODS IN PRIMARY SCHOOL EDUCATION AND TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT

Abstract

This article examines the application of modern interactive teaching methods in primary school education. The pivotal role of primary education in shaping student personality is substantiated, and it is emphasized that pedagogical mastery, creativity, and continuous professional development of the teacher are key conditions for quality education. The use of active methods such as brainstorming, discussion, role-play, and project-based learning is shown to develop students' cognitive activity, critical thinking, and independence. Additionally, the integration of digital technologies into teaching is noted to require teachers' ongoing self-improvement. It is concluded that the innovative approaches of the modern primary school teacher determine student-centered learning and contribute to the formation of creative and literate citizens for future society.

Keywords: primary school teacher, modern teaching methods, interactive learning, professional development, pedagogical creativity, student-centered approach.

GİRİŞ

Təhsil sisteminin müxtəlif ölkələrdə, o cümlədən Azərbaycanda inkişafı onun beynəlxalq səviyyədə tanınması və keyfiyyətinin yüksəldilməsi baxımından müasir dövrün ən mühüm məsələlərindən biridir. Təhsil sahəsində həyata keçirilən islahatlar, xüsusilə də təlim prosesində yeni yanaşmaların tətbiqi, cəmiyyətin intellektual potensialının formalaşmasına və gələcək nəslin hərtərəfli inkişafına xidmət edir. Bu baxımdan ibtidai təhsil pilləsi xüsusi əhəmiyyət daşıyır, çünki şagird şəxsiyyətinin formalaşmasının, təlimə marağının yaranmasının və əsas bilik, bacarıq və vərdişlərin mənimsənilməsinin təməli məhz ibtidai siniflərdə qoyulur.

ƏSAS HİSSƏ

Azərbaycan Respublikasında həyata keçirilən təhsil islahatları çərçivəsində fəal və interaktiv təlim metodlarının tətbiqi ibtidai sinif müəllimlərinin fəaliyyətində mühüm istiqamətlərdən birinə çevrilmişdir. Bu metodlar şagirdlərin təlim prosesində passiv dinləyici deyil, fəal iştirakçı kimi çıxış etmələrinə şərait yaradır. İbtidai sinif müəllimi dərs prosesini elə təşkil etməlidir ki, hər bir şagird müstəqil düşünə, araşdıra, müşahidə edə və əldə etdiyi nəticələri təqdim edə bilsin. Bu yanaşma uşaqlarda tədqiqatçılıq bacarıqlarının, yaradıcı təfəkkürün və problem həll etmə qabiliyyətinin inkişafına kömək edir [1; 2; 3].

İbtidai sinif müəlliminin əsas vəzifələrindən biri şagirdlərin yaş və fərdi xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq təlim prosesini maraqlı və səmərəli təşkil etməkdir. Müasir dərs yalnız bilik ötürülməsi ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda şagirdlərin fəallığını, təşəbbüskarlığını və müstəqilliyini inkişaf etdirməyə yönəlir. Bu məqsədlə müəllim beyin həmləsi, müzakirə, rollu oyun, qruplarla iş, layihə fəaliyyəti, problemli situasiyalar və digər interaktiv metodlardan istifadə etməlidir [1; 4]. Belə metodlar şagirdlərin dərsə marağını artırmaqla yanaşı, onların ünsiyyət və əməkdaşlıq bacarıqlarının formalaşmasına da xidmət edir.

İnteraktiv təlim mühitində müəllim və şagird arasında əməkdaşlığa əsaslanan subyekt-subyekt münasibətləri formalaşır. Ənənəvi dərslərdə əsas informasiya mənbəyi müəllim olduğu halda, müasir dərsdə şagird də biliklərin əldə olunması və müzakirəsi prosesinin fəal iştirakçısına çevrilir [4; 6]. Bu isə ibtidai siniflərdə uşaqların öz fikirlərini sərbəst ifadə etmələrinə, tənqidi düşünmələrinə və müstəqil qərar qəbul etmələrinə imkan yaradır.

Müasir ibtidai sinif müəllimi yalnız fənn biliklərinə malik olmaqla kifayətlənməməli, həm də yüksək pedaqoji ustalıq, metodik hazırlıq və yaradıcılıq nümayiş etdirməlidir. Dərsə hazırlıq zamanı istifadə olunacaq metod və vasitələrin düzgün seçilməsi, təlim məqsədlərinin dəqiq müəyyənləşdirilməsi, əyanilikdən və informasiya-kommunikasiya texnologiyalarından səmərəli istifadə olunması müəllimin peşəkarlığının göstəricilərindən hesab olunur [2; 3; 5]. Xüsusilə ibtidai siniflərdə vizual materiallar, didaktik oyunlar, elektron resurslar və praktik fəaliyyətlər uşaqların mövzunu daha yaxşı mənimsəməsinə kömək edir.

Müasir dövrdə ibtidai sinif müəlliminin peşəkar inkişafı da xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Təhsil sistemində baş verən yeniliklər, kurikulumun tələbləri, rəqəmsal texnologiyaların tədrisə inteqrasiyası müəllimdən davamlı olaraq öz üzərində işləməyi, bilik və bacarıqlarını təkmilləşdirməyi tələb edir [3; 7; 8]. Peşəkar inkişaf müəllimin pedaqoji səriştələrinin yüksəlməsinə, təlim prosesinin keyfiyyətinin artırılmasına və şagird nailiyyətlərinin yaxşılaşmasına şərait yaradır. Tədris materialının mənimsənilməsi birbaşa müəllimin nəzəri bilikləri və peşəkarlıq səviyyəsinin inkişafının perspektivləri arasında olan əlaqələrdən asılıdır [3; 8].

Müəllimin yaradıcılıq qabiliyyəti həmçinin onun peşə imkanlarından lazımi qədər istifadə etməsini zəruri edir. Yüksək məsuliyyət və gərgin əmək tələb edən pedaqoji fəaliyyətlə ancaq həvəsli, yüksək dərəcədə

estetik zövqə sahib, istedadlı və qabiliyyətli şəxslər məşğul ola bilərlər [3; 5]. Müəllimin pedaqoji yaradıcılığı dedikdə, onun dərs prosesinə hazırlığı, tətbiq etdiyi metodlar, üsul və vasitələr, o cümlədən tətbiq etdiyi didaktik oyunlar, onların tərbiyəvi və təhsilləndirici əhəmiyyəti başa düşülür.

NƏTİCƏ

Beləliklə, ibtidai sinif müəllimliyində müasir təlim metodlarının tətbiqi, müəllimin yaradıcılığı və peşəkar inkişafı keyfiyyətli təhsilin təmin olunmasının əsas şərtlərindəndir. Müəllimin pedaqoji ustalığı, innovativ yanaşmaları və şagirdyönümlü fəaliyyəti ibtidai təhsilin səmərəliliyini artırmaqla yanaşı, gələcəkdə cəmiyyət üçün savadlı, yaradıcı və fəal vətəndaşların yetişdirilməsinə mühüm töhfə verir. Müəllim sahib olmalı olduğu bilik, bacarıqlar, humanizm, əxlaqi xüsusiyyətlər vasitəsilə şagirdlərə düzgün davranış, mədəniyyət və həyata düzgün yanaşma bacarıqlarını aşılayır.

ƏDƏBİYYAT

1. İsmayılova N.R. Fəal təlim metodlarından təlim prosesində istifadə məsələləri // 6th International Education and Innovative Sciences Congress, November 24-26, 2022, Burdur Mehmet Akif Ersoy University.
2. Kvalifikasiya standartı: ibtidai sinif müəllimliyi. Bakı, yanvar, 2019.
3. Məmmədov Ş.M. İbtidai sinif müəlliminin pedaqoji fəaliyyətə hazırlanmasının pedaqoji əsasları. Dərs vəsaiti. Bakı: Mütərcim, 2018. 152 s.
4. Həsənov A.X. Azərbaycan məktəblərində fəal/interaktiv təlim metodları. Bakı: Elm və təhsil, 2020. 210 s.
5. Qasımov C.M. Müəllimin pedaqoji ustalığı və yaradıcılığı. Bakı: ADPU nəşri, 2018. 156 s.
6. Abbasov İ.Ə. İnteraktiv təlim: nəzəriyyə və praktika. Bakı: Təhsil, 2021. 198 s.
7. Fullan M. The New Meaning of Educational Change. 5th ed. New York: Teachers College Press, 2016. 340 p.
8. Darling-Hammond L. Preparing Teachers for a Changing World. San Francisco: Jossey-Bass, 2005. 512 p.